

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
ИННОВАЦИОННЫЙ ЕВРАЗИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

МАГИСТРАТУРА

Кафедра «Электроэнергетика»

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ
ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ МОЩНОСТЬЮ 5 КВТ

6N0718 «Электроэнергетика»

Магистрант _____ С.М. Леонов
(подпись, дата)

Научный руководитель

к.т.н., профессор _____ А.В. Дробинский
(подпись, дата)

Допущен к защите:

Зав. кафедрой «Электроэнергетика»

д.т.н., профессор _____ Е.В. Иванова
(подпись, дата)

Павлодар, 2011

СОДЕРЖАНИЕ

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	4
ВВЕДЕНИЕ	5
1 СОСТОЯНИЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА	12
1.1 Характеристика ветроэнергетического потенциала	12
1.2 Мощность ветра	15
1.3 Энергия, отнимаемая у ветра	16
1.4 Оценка потенциала ветровой энергии Казахстана и Павлодарской области	17
1.5 Положение ветроэнергетики в мире	19
1.6 Развитие ветроэнергетики в странах СНГ	21
Выводы по главе 1	22
2 СУЩЕСТВУЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ ВЭУ МАЛОЙ И СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ	23
2.1 Современное развитие ветроэлектростанций	23
2.2 Классификация и основные типы ветряных электроустановок	24
2.2.1 Классификация ВЭУ	24
2.2.2 Системы регулирования и ограничения мощности	28
2.2.3 Системы торможения	29
2.2.4 Выбор места установки	29
2.2.5 Средства для определения скорости ветра	30
2.3 Типы конструкций ВЭУ	31
2.4 Основные компоненты ветроэнергетических установок промышленного применения	43
2.5 ВЭУ башенного типа	44
2.6 Ветроэнергетическая установка роторного типа	51
2.6.1 Узлы ветроэнергетической установки	51
2.6.2 Дополнительное полезное оборудование	54
2.6.3 Электрооборудование	54
2.6.4 Выбор инвертора и аккумуляторной батареи	55
2.6.5 Мачты	58
2.7 Гибридная энергетическая система	59
2.7.1 Ветро - дизельные системы	59
2.7.2 Гибридная ветро - солнечная система	63
Выводы по главе 2	66
3 ВЕТРОЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ РОТОРНОГО ТИПА	67
3.1 Этапы развития ВЭУ роторного типа	67
3.2 Принцип действия	67
3.3 Вертикально - осевые ветродвигатели «подъемной силы»	68
3.4 ВО ВЭУ «дифференциального лобового сопротивления»	71
3.5 Энергетические характеристики	73
3.6 Тенденции развития вертикально-осевых ВЭУ	74
4 РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ВЕТРОУСТАНОВКИ РОТОРНОГО	77

ТИПА	
4.1	Преимущества роторной установки перед пропеллерной 77
4.2	Разработка конструкции автономной ветроэнергетической установки 78
4.2.1	Разработка конструкции ветродвигателя 78
4.2.2	Устройство и конструкция, разрабатываемой ВЭУ роторного типа 81
4.3	Выбор оптимального варианта ветродвигателя, привода и электрической части схемы ветроэнергетической установки 83
4.3.1	Выбор электрического оборудования 83
4.3.2	Выбор передаточного механизма 84
4.4	Устройство, усиливающее ветровой поток 85
4.5	Стоимость ветроэнергетической установки 87
4.6	Расчеты мощности разрабатываемой ВЭУ роторного типа 87
	Выводы по главе 4 88
5	СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЕРТИКАЛЬНО - РОТОРНЫХ И ГОРИЗОНТАЛЬНО - ПРОПЕЛЛЕРНЫХ ВЕТРОУСТАНОВОК 89
5.1	Сопоставительный анализ отличительных особенностей роторной и пропеллерной ВЭУ 89
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ 97
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 98

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

В данной магистерской работе использовались следующие обозначения и сокращения:

- ВУ** - ветровая установка;
- ВЭУ** - ветровая энергетическая установка;
- ВИЭ, НВИЭ** - возобновляемые и нетрадиционные возобновляемые источники энергии;
- АИЭ** - альтернативные источники энергии;
- ЭУ** - энергетическая установка;
- ТЭС, ГЭС, АЭС** - тепловые, гидравлические и атомные электростанции;
- КИЭВ** - коэффициент использования энергии ветра;
- КПД** – коэффициент полезного действия;
- ВЭС** – ветроэлектростанция;
- БВЭУ** - башенная ветроэнергетическая установка;
- АКБ** - аккумуляторная батарея;
- БА** - блок автоматики;
- К** - коммутатор;
- ДЭС** - дизельэлектрическая система;
- ДА** - дизельагрегат;
- ВДЭУ** – ветро-дизельная энергоустановка;
- ИАП** - инверторный агрегат питания;
- РУ** - распределительное устройство;
- СГ** - синхронный генератор;
- ВУ** - выпрямительное устройство;
- ТА** - теплоаккумулятор;
- ГО ВЭУ** - горизонтально-осевая ветроэнергетическая установка;
- АЭК** - автономный энергетический комплекс;
- ОАЭ** - объект автономного энергокомплекса;
- САР** - система автоматического регулирования;
- ИБП** - источник бесперебойного питания;
- КУ** - коммутационное устройство;
- ЭБ** - электробойлер;
- БУ АО** - блок управления аварийным охладителем;
- ТРМ** - тиристорный регулятор мощности;
- Z** – быстроходность ветроколеса;
- Ср, ξ** - коэффициент использования ветровой энергии;
- ВО ВЭУ** - вертикально-осевая ветроэнергетическая установка.

ВВЕДЕНИЕ

Потепление, разрушение озонового слоя атмосферы, опустынивание – является результатом ухудшения экологической обстановки по причине интенсивного загрязнения окружающей среды. На планете «Земля» особенно сильно загрязнена воздушная и водная среды. Практически все составляющие техногенного потенциала: производство, транспорт, энергетика, коммунальное хозяйство городов - во многих регионах стран мира имеют низкий экологический уровень, не обеспечивают необходимый уровень очистки сбросов, выбросов, утилизации всех видов отходов.

Возрастающие потребности энергии удовлетворяются за счет использования не возобновляемых источников энергии, что приводит к росту выбросов диоксида углерода в атмосферу, расширению озоновых дыр в атмосфере. Одним из путей сохранения окружающей среды на земле и ее экологии, является путь использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии.

Есть много типов возобновляемой энергии. Понятие «возобновляемая энергия», означает, что эту энергию мы получаем из источника, который возобновляется и не заканчивается, это естественный источник, который является бесконечным (если мерить масштабами человеческой жизни или цивилизации). Это источник энергии доступный и бесплатный, такой как солнечная энергия, энергия ветра, энергия воды - волн и приливов.

Не возобновляемую энергию, получают используя нефть, газ, уголь и поскольку их ограниченные запасы, то они конечны. К примеру, известных запасов угля осталось менее чем на 50 лет. Что касается нефти и газа, то возможно мы уже достигли пика их добычи, а потребность в них все растет. Это происходит из-за близорукости автомобильных предприятий и большинства людей вообще, не понимающих ситуации и в угоду своему комфорту и привычному образу жизни бездумно расходующих природные ресурсы. И поскольку потребности растут, то запасы углеродного топлива – нефти, газа и угля закончатся через несколько десятилетий. Это факт. Запасы углеродного топлива закончатся еще при жизни большинства живущих сейчас людей. А ведь мы могли бы использовать сейчас возобновляемые источники энергии и сберечь, углеродное сырье для более полезных целей. Ведь нефть, газ и уголь используются при производстве сотен полезных вещей, а не только для производства энергии, мы могли бы сберечь их для будущих поколений наших потомков, используя альтернативную энергию из возобновляемых источников энергии.

Вот примеры возобновляемой энергии – геотермальная энергия недр планеты, энергия ветра, солнечная энергия, биотопливо (биогаз) и многое

другое. Альтернативная энергия – эта фраза, которая часто используется как равнозначная возобновляемой энергии, но не всегда это одно и то же.

Альтернативная энергия – это аккумуляторные батареи в автомобилях и водородные топливные элементы для автомобилей, но это не IV поколение атомных электростанций, способных использовать свои же отходы. Понятие альтернативная энергия используется для описания возобновляемой энергии солнца и ветра. Они мало используемые виды естественной энергии и значит они альтернативны.

Чрезмерно используемые виды энергии – ископаемое топливо и использование его вызывает нехорошие изменения климата. 99% ученых климатологов согласны с этим утверждением. Поэтому, чтобы не позволить произойти непоправимым изменениям климата и не зависеть от ограниченных источников ископаемого топлива (зачастую импортируемого из-за рубежа) необходимо создавать сеть источников альтернативной энергии и отказываться от использования углеродных ресурсов для получения энергии.

Вот основные источники альтернативной энергии, доступные для использования уже сейчас:

- Солнечная энергия (солнечные панели для получения электричества и термальные коллекторы для нагрева);
- Энергия ветра (ветрогенераторы и ветротурбины для добычи электроэнергии и механической энергии);
- Гидроэнергия (гидроэлектростанции на реках);
- Геотермальная энергия (тепловая энергия недр для отопления и производства электричества);
- Биотопливо (как топливо для транспорта и сырье для заводов);
- Энергия приливов (приливные электростанции).

Энергия ветра использовалась человечеством еще с давних времен. Тогда она служила для бытовых нужд, например для помола зерна или в качестве движущей силы парусных судов.

Это звучит невероятно, но планета предоставляет нам практически неисчерпаемые источники возобновляемой энергии: ветер и солнце. Ресурсы только ветровой энергии многократно больше, чем все запасы ископаемого топлива, накопившиеся за миллионы лет в земной коре. Мы буквально живем на дне океана энергии. Пока существует планета и ее газовая оболочка, нагреваемая Солнцем, будет происходить перемещение воздушных масс. И любой может производить электричество буквально из воздуха! Прорыв в технологиях композитных материалов позволил увеличить мощность ветротурбин за последнее десятилетие в 50 раз. По прогнозам Европейского Совета по возобновляемым источникам энергии, мощность, получаемая от ветроэнергетических установок, к 2030 году должна покрыть более 30% общемировой потребности.

На сегодняшний день необходимость внедрения возобновляемых источников энергии обуславливается следующими факторами: в первую очередь экологическая чистота. Все традиционные источники энергии, за исключением некоторых, характеризуются выбросами вредных газов, в частности CO_2 в атмосферу, как следствие этого разрушается озоновый слой атмосферы, увеличивается озоновая дыра, усиливается парниковый эффект.

Для Казахстана необходимость использования обусловлена тем, что страна имеет очень большую территорию, невероятную разбросанность больших и малых населенных пунктов, фермерских хозяйств, отгонных пастбищ, электроснабжение которых от энергосистемы экономически нецелесообразно и поэтому есть потребность в повсеместном внедрении ВЭУ.

Перспективы использования ветроэнергетики определяются наличием соответствующих ветроэнергетических ресурсов. На сегодня в структуре электроэнергетики около 60 стран мира имеют ветроэлектростанции (ВЭС). При этом 43 страны имеют свои Национальные Программы развития ветроэнергетики с установкой сотен и тысяч мегаватт (МВт) мощности в ближайшей и среднесрочной перспективе. Для снижения стоимости электрической энергии, данные программы предусматривают развитие собственной базы ветростроения. И в снижении стоимости оборудования, равно, как и стоимости электроэнергии достигнут значительный прогресс [Л5].

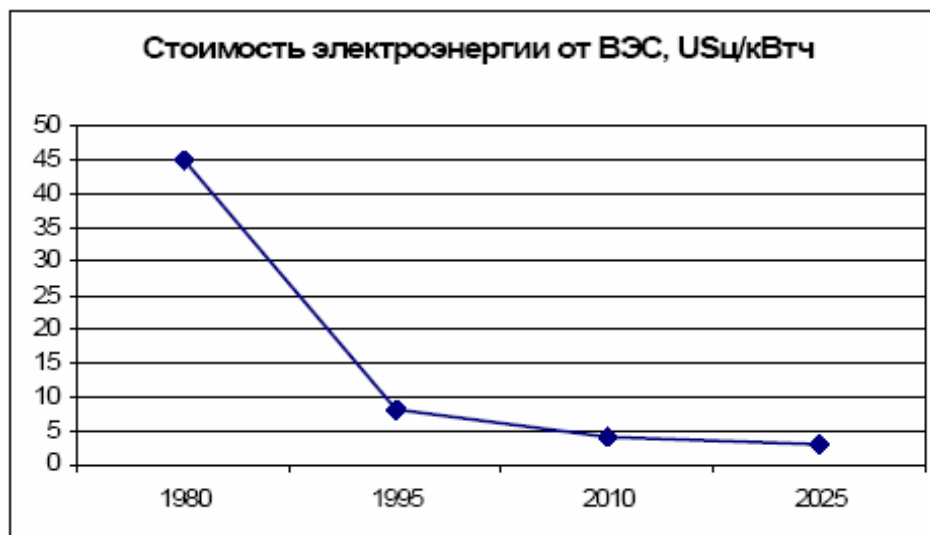


Рисунок 1 - График прогресса по снижению стоимости электроэнергии от ВЭС в мире

В настоящее время установленная мощность ВЭС составляет 60 000 МВт. Предполагается, что уже к 2013 году установленная мощность ВЭС в мире составит около 150 000 МВт. Ветроэнергетика рассматривается не только как экологически «чистый» источник энергии. Ветроэнергетика поддерживает

социально-экономическое развитие, энергетическую безопасность и снижает зависимость экономик от мировых энергетических рынков.

По своему географическому положению РК находится в ветровом поясе северного полушария и на значительной части территории Казахстана наблюдаются, достаточно, сильные воздушные течения, преимущественно Северо-восточного, Юго-западного направлений. В ряде районов Казахстана среднегодовая скорость ветра составляет более 6 м/с, что делает эти районы привлекательными для развития ветроэнергетики.

В этих районах начато поэтапное пилотное строительство ВЭС. По экспертным оценкам, ветроэнергетический потенциал Казахстана оценивается как 1820 млрд. кВт электроэнергии в год.

По регионам Казахстана баланс электроэнергии выглядит следующим образом.

Северная зона, куда входят Акмолинская, Восточно-Казахстанская, Карагандинская, Павлодарская области и, где сосредоточены основные генерирующие мощности Казахстана, является энергоизбыточной. Здесь планируется ввод новых мощностей порядка 1035 МВт для замещения выбывающих мощностей и передачи электроэнергии в энергодефицитные регионы Казахстана, а также для экспорта в Россию.

В Западной зоне (Актюбинская, Атырауская и Западно - Казахстанская области) имеется дефицит электроэнергии в объеме порядка 0,84 млрд. кВтч, который покрывается экспортом электроэнергии из России. Для покрытия возрастающего потребления электроэнергии в этой быстроразвивающейся зоне планируется ввод около 1300 МВт новых мощностей на газе. Однако, с учетом повышения цен на газ, стоимость электроэнергии в этом регионе может значительно повыситься.

В Южной зоне (Алматинская, Жамбылская, Кызылординская и Южно-Казахстанская области) имеется дефицит электроэнергии.

Национальной Программой предусмотрено вовлечение в энергетический баланс страны значительных ветроэнергетических ресурсов и, таким образом, поддержке планов по снижению энергоемкости экономики и увеличению доли альтернативных источников энергии в общем энергетическом балансе страны до 5% к 2024г. и стабилизации выбросов парниковых газов на уровне 1990 годов.

Первые восемь комбинированных ВЭУ уже работают в отдалённых точках на территории Казахстана. Казатомпром налаживает серийный выпуск отечественных ветроэнергоустановок. Разработаны комбинированные ВЭУ с установленной мощностью до 500 кВт. Программой развития ветроэнергетики предусматривается к 2024 году на ВЭС, выработка около 5 млрд. кВтч электроэнергии в год, около 3% от общего объёма производства

электроэнергии в РК. Это приведёт к значительному сокращению вредных выбросов в атмосферу и уменьшению количества складируемых золошлаковых отходов от деятельности энергетических предприятий.

В области обмена опытом, передаче технологий и создания совместных производств международные институты развития заинтересованы в поддержке казахстанских партнеров. Создание совместных предприятий поможет обеспечить финансирование и передачу опыта и технологий, что позволит снизить стоимость ветротурбин и освоить производство турбин, или их компонентов при наличии достаточного рынка.

Актуальность работы. Перспективы развития ветроэнергетики Казахстана обусловлены высоким потенциалом ветровой энергии в РК и «Стратегия эффективного использования энергии и возобновляемых ресурсов Республики Казахстан в целях устойчивого развития до 2024 года» [Л17], согласно которой намечены мероприятия по проработке вопроса развития ветроэнергетики в регионах, обладающих значительным потенциалом ветровой энергии. На данный период времени работы по использованию энергии ветра ведутся преимущественно на территориях с хорошими ветровыми условиями. Разработка и создание ветроэлектрических установок (ВЭУ) для большей части территории Казахстана со среднегодовой скоростью ветра менее 6 м/с, частыми перепадами его скорости и требуют поиска новых технических решений, обеспечивающих энергоэффективность ВЭУ вкупе с их невысокой стоимостью и небольшими массогабаритными размерами.

Произведён сопоставительный анализ ВЭУ роторного и пропеллерного типа. Разработана конструкция ветродвигателя. Простота изготовления элементов предлагаемой конструкции ветродвигателя, позволяет использовать стандартное оборудование в электрической части ветроэнергетической установки дает широкие возможности её использования, в качестве автономного источника энергии, даже при низких скоростях ветра.

Целью работы является исследование энергетического потенциала различных конструкций ВЭУ малой и средней мощности. Разработка конструкции автономной ВЭУ для электроснабжения бытовых потребителей.

Задачи исследования. Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи: 1) исследование положения ветроэнергетики в мире; 2) исследование активности ветра на территории Казахстана и Павлодарской области; 3) исследование возможностей полезного использования энергии потока ветра на территории Павлодарской области; 4) разработка конструкции ветроэнергетической установки небольшой мощности для электроснабжения бытовых потребителей.

Методы: В процессе выполнения исследований использовались последние наработки в данной сфере наук взятые из авторитетных источников

научно-технических изданий, а также использовались компьютерные программы Coral Draw, Microsoft Excel.

Новизна исследования: 1) исследована активность ветра на территории Павлодарской области; 2) построена гистограмма средних скоростей ветра в течение года и установлено, что в зимний период скорость ветра выше среднегодовой; 3) произведён сопоставительный анализ ВЭУ роторного и пропеллерного типа; 4) разработана конструкция ветроэнергетической установки, небольшой мощности, предназначенной для электроснабжения бытовых потребителей.

На защиту выносятся:

- 1) Исследования энергетического потенциала ВЭУ малой мощности и составление сравнительных характеристик.
- 2) Конструкция ветроэнергетической установки небольшой мощности с ветродвигателем роторного типа и с раструбом, усиливающим скорость потока ветра поступающего на лопасти ветродвигателя.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций диссертации обеспечиваются математической обоснованностью, проводимыми сравнительными характеристиками и расчётами при помощи компьютерных программ, достаточным объёмом теоретических и практических исследований, а также сформулированные выводы и заключения дополняют научную обоснованность проведённой работы.

Область практического использования. Ветроэнергетические установки малой мощности целесообразно использовать в качестве автономного источника питания для электроснабжения бытовых потребителей. Например, на отгонных пастбищах, на полевых станах, отдаленных жилых домах, для освещения улиц и т.д.

В ИнЕУ проводится работа по разработке и внедрению возобновляемой энергетики. При поддержке Европейского союза в ИнЕУ смонтирована лаборатория «Возобновляемой энергетики», которая оснащена современным лабораторным оборудованием по солнечной и ветровой энергетике (см. рисунок ниже). В лаборатории производится регистрация солнечной активности и скорости ветрового потока.

Энергия вырабатываемая фотопреобразователями и ветрогенератором аккумулируется и используется в качестве основного источника питания интернет сервера и АТС.



Рисунок 2 - Лаборатория «Возобновляемой энергетики» в ИНЕУ

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на X Республиканской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых преподавателей: «Творчество молодых – инновационному развитию Казахстана» (г. Усть-Каменогорск, ВКГТУ им. Д. Серикбаева, 22-23 апреля 2010 г.); Региональной научно-технической конференции молодых ученых, студентов, аспирантов (с международным участием): «Новые технологии на транспорте в энергетике и строительстве» (г. Омск, 2 – 3 декабря, 2010 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 2 научных труда:

- 1) Статья «Перспективы использования ветроэнергетики Казахстана», г. Усть-Каменогорск, ВКГТУ им. Д. Серикбаева, 22-23 апреля 2010 г.).
- 2) Современное развитие ветроэнергетических систем в Казахстане и мире, сборник трудов «Новые технологии на транспорте в энергетике и строительстве», г. Омск, 2 – 3 декабря, 2010 года.

1 СОСТОЯНИЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА

1.1 Характеристика ветроэнергетического потенциала

Ветер — это движение воздуха относительно земной поверхности, обусловленное разностью атмосферного давления и направленное от высокого давления, к низкому. Причиной неравномерного распределения давления атмосферы является неодинаковый нагрев воздуха, в основном, за счет солнечной радиации. Ветер характеризуется скоростью (v_v) и направлением. Скорость выражается в м/с, км/ч или приблизительно в баллах по шкале Бофорта (см. Таблицу 1.1).

Таблица 1.1 - Сила ветра по шкале Бофорта и ее влияние на работу ВЭУ

Балл	Скорость ветра, м/с	Характер ветра	Наблюдаемые признаки действия ветра	Условия для работы ВЭУ
0	0...0,2	Безветрие	Дым поднимается вертикально	Отсутствуют
1	0,3...1,5	Почти безветрие	Дым поднимается почти вертикально. На воде рябь	Отсутствуют
2	1,6...3,3	Легкий ветерок	Ветер едва ощутим	Практически отсутствуют
3	3,4...5,4	Слабый ветер	Колышутся листья, флаги	Начинают работать тихоходные ВЭУ
4	5,5...7,9	Умеренный ветер	Качаются тонкие ветки деревьев, полощутся флаги	Хороши для тихоходных ВЭУ
5	8,0...10,7	Свежий ветер	Начинают раскачиваться деревья, волны в барашках	Хорошие для всех ВЭУ
6	10,8...13,8	Сильный ветер	Слышен шум ветра, гудят провода	Очень хорошие для всех ВЭУ
7	13,9...17,1	Крепкий ветер	Тонкие деревья качаются. С гребней волн летит пена	Предельно допустимые
8	17,2...20,7	Шквальный ветер	Трудно идти. Качаются толстые деревья	Недопустимые

Продолжение таблицы 1.1

9	20,8...24,4	Шквал	С крыш срывается черепица, шифер	Недопустимые
---	-------------	-------	----------------------------------	--------------

10	24,5...28,4	Буря (шторм)	Выворачивает деревья	Недопустимые, нужна защита
11	28,5...32,6	Сильная буря	Разрушаются постройки	Недопустимые, нужна защита
12	Свыше 32,6	Ураган	Опустошает обширные местности	Недопустимые, нужна защита

Ветроэнергетика - это отрасль энергетики, связанная с разработкой методов и средств, для преобразования энергии ветра в механическую, тепловую или электрическую энергию. Важной особенностью энергии ветра, как и солнечной, является то, что она может быть использована практически повсеместно. Ветродвигатель - устройство, преобразующее кинетическую энергию ветра в механическую энергию. Ветроэнергетическая установка (ВЭУ) представляет собой комплекс технических устройств, для преобразования энергии ветра в другие виды: механическую, электрическую или тепловую. Ветродвигатель является неотъемлемой частью ВЭУ. В ее состав также могут входить рабочие машины (электрогенератор, тепловой генератор), аккумулирующие устройства, системы автоматического управления и регулирования и др. Ветровая энергия представляет собой возобновляемый источник энергии, являющийся вторичным по отношению к солнечной энергии. Причиной возникновения ветра являются разности температур в атмосфере, образующиеся в результате действия солнечного излучения, которые, в свою очередь, обуславливают возникновение различных давлений. Ветер возникает в процессе рассеяния энергии, накопившейся вследствие наличия этих различных давлений. Ветроэнергетическая установка, расположенная на площадке, где среднегодовая удельная мощность воздушного потока составляет около 500 Вт/м² (скорость воздушного потока при этом равна 7 м/с), может преобразовать в электроэнергию около 175 из этих 500 Вт/м². Энергия, содержащаяся в потоке движущегося воздуха, пропорциональна кубу скорости ветра. Теоретически коэффициент полезного использования (КПИ) энергии воздушного потока может быть равен 59,3%. На практике максимальный КПИ энергии ветра в реальном ВЭУ равен приблизительно 50 % [Л2], однако и этот показатель достигается не при всех скоростях, а только при оптимальной скорости, предусмотренной проектом. Кроме того, часть энергии воздушного потока теряется при преобразовании механической энергии в электрическую, которое осуществляется с КПД, обычно 75—95 %.

Учитывая все эти факторы, удельная электрическая мощность, выдаваемая реальным ветроэнергетическим агрегатом, видимо, составляет 30—40 % мощности воздушного потока при условии, что этот агрегат работает устойчиво в диапазоне скоростей, предусмотренных проектом. Скорость ветра

бывает настолько низкой, что ВЭУ совсем не может работать, или настолько высокой, что ВЭУ необходимо остановить и принять меры по его защите от разрушения. Если скорость ветра превышает номинальную рабочую скорость, часть извлекаемой механической энергии ветра не используется, с тем чтобы не превышать номинальной электрической мощности генератора. Учитывая эти факторы, удельная выработка электрической энергии в течение года составляет 15—30% энергии ветра, или даже меньше, в зависимости от местоположения и параметров ВЭУ.

К основным техническим характеристикам ВЭУ относятся: номинальная мощность; номинальная (расчетная) скорость ветра; минимальная скорость ветра; максимальная рабочая скорость ветра; номинальная частота вращения ветроколеса. Номинальная мощность (P_n кВт) — это мощность ВЭУ, развиваемая при скорости ветра в пределах от номинальной (расчетной) до максимальной рабочей. Значение P_n указывается изготовителем в паспорте на ветродвигатель. Номинальная (расчетная) скорость ветра (v_p м/с) - скорость ветра, при которой ВЭУ развивает номинальную мощность. Для различных конструкций ветроэнергетических установок эта скорость различна. Минимальная скорость ветра (v_0 м/с) - скорость ветра, при которой ВЭУ вступает в работу. Для тихоходных установок эта скорость не превышает 2...3 м/с, для быстроходных $v_0 \geq 7$ м/с. Максимальная рабочая скорость ветра (v_m м/с) - скорость ветра, превышение которой может привести к разрушению ВЭУ. При $v > v_m$ производят так называемое штормовое (или буревое) отключение ВЭУ. Значение v_m для различных типов ВЭУ лежит в пределах 25...60 м/с.

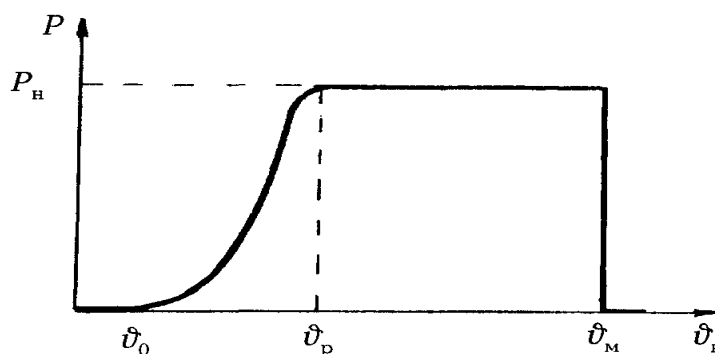


Рисунок 1.1 - Зависимость выходной мощности ВЭУ от скорости ветра при регулировании скорости вращения ветроколеса

Номинальная частота вращения ветроколеса ($n_{нчв}$, об./мин) - это такая скорость вращения, при которой ВЭУ развивает номинальную мощность. Для большинства, современных ВЭУ частоту вращения ветроколеса регулируют с целью обеспечения постоянства этого параметра при изменении скорости ветра.

1.2 Мощность ветра

Мощность ветра численно равно энергии, которую можно отнять у него за секунду. Поставим на пути ветра, перпендикулярно вектору его скорости поверхность площадью S . Тогда за 1 с воздух передаст поверхности свою механическую энергию, содержащуюся в объеме νS . Кинетическая энергия этого объема воздуха плотностью ρ составит

$$\rho \nu S \cdot \nu^2 / 2 = \rho S \cdot \nu^3 / 2 \quad (1.1)$$

Таким образом, мощность, которую можно отнять у ветра, пропорциональна кубу его скорости, его плотности, а также площади останавливающей ветер поверхности. Из формулы следует, что влажный воздух может нести, на несколько процентов больше энергии, чем сухой, а лопасти ветрогенераторов необходимо делать как можно больше.

Длина лопастей современного ветрогенератора мощностью 1 МВт составляет около 50 м, что соответствует площади потока воздуха, у которого они отнимают энергию, 2300 м². Принимая решения об установке того или иного ветрогенератора, необходимо знать, какая максимальная мощность вам требуется.

Например, вы хотите использовать ветер, чтобы поднимать воду из колодца, для чего не требуется большой мощности, но требуется, чтобы генератор работал при малом ветре. Для этих целей подойдет ветряк с большим количеством лопастей и невысокой стойкой, т.к. в сильном ветре нет необходимости. При сильном ветре он может просто сломаться. Если, поставлена задача, извлечь как можно больше энергии из ветра, то необходимо поднимать лопасти ветрогенератора высоко и делать их такими, чтобы сильный ветер не опрокинул всю конструкцию. Кроме того, для оценки максимальной мощности будущей ветроэлектростанции необходимо знать не только среднегодовую скорость ветра в данном месте, но и частоту появления конкретной скорости.

Другими словами, надо знать, сколько дней в году в этом месте средняя скорость ветра лежит в одном из 26 диапазонов: 0 - 0,5м/с; 0,5 - 1м/с; 1 - 1,5м/с и т.д. до 12,5 - 13м/с. Полученный набор чисел называется распределением значений скорости ветра за год.

Таблица 1.2 - Классификация ветроэнергетических ресурсов, в зависимости от среднегодовой скорости ветра на высоте 10 и 50 м от поверхности земли

класс	Высота 10м		Высота 50м	
	скорость ветра, м/с	удельная мощность, Вт/м ²	скорость ветра, м/с	удельная мощность, Вт/м ²

1	0,4-4,4	0-100	0-5,6	0-200
2	4,4-5,1	100-150	5,6-6,4	200-300
3	5,1-5,6	150-200	6,4-7,0	300-400
4	5,6-6,0	200-250	7,0-7,5	400-500
5	6,0-6,4	250-300	7,5-8,0	500-600
6	6,4-7,0	300-400	8,0-8,8	600-800
7	7,0-9,4	400-1000	8,8-11,9	800-1200

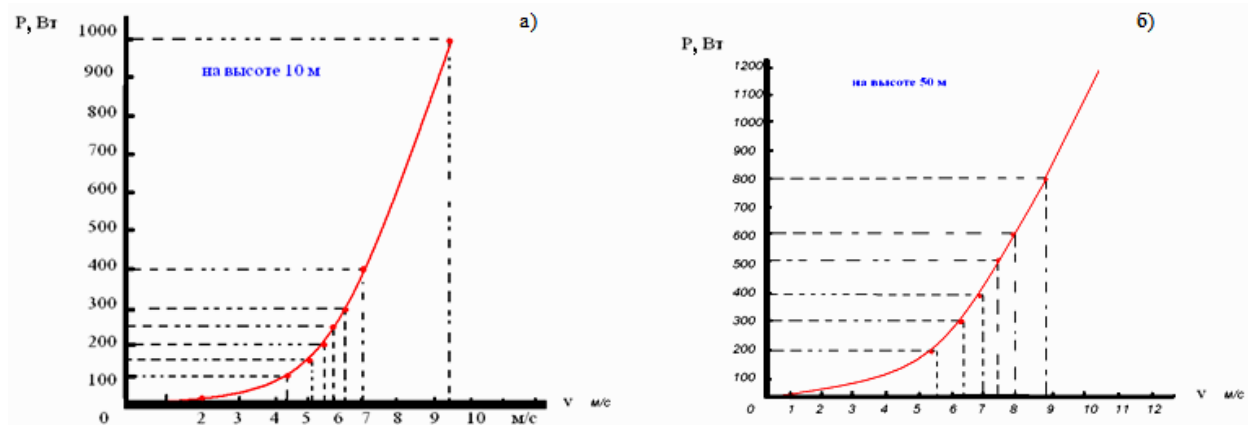


Рисунок 1.2 - График зависимости ветроэнергетических ресурсов, от среднегодовой скорости ветра от поверхности земли
а) на высоте 10 м; б) на высоте 50 м

1.3 Энергия, отнимаемая у ветра

Из закона сохранения энергии следует, что если мы отнимем у ветра всю его энергию, то воздушный поток остановится, поэтому мы не можем отнять энергию у следующей его части. Значит, отнимать энергию надо с умом, замедляя его скорость до такой степени, чтобы процент извлечения ветровой энергии был максимальный. Немецкий физик А. Бец в 1919 г. доказал, что ветряк может извлечь не более $16/27$ мощности ветра, он утверждал, что максимальная эффективность ветряка (59%) соответствует тому случаю, когда скорость ветра за ветряком уменьшается в 3 раза. Вот так выглядит это простое доказательство.

Допустим, через лопасти ветряка воздух движется со средней скоростью, равной полусумме скоростей до и после ветряка

$$(v_1 + v_2)/2. \quad (1.2)$$

Тогда за 1 с через ветряк поперечной площадью S проходит масса воздуха,

$$m = \rho S \frac{v_1 + v_2}{2}, \quad (1.3)$$

где ρ - плотность воздуха. Мощность, отбираемая ветряком у ветра, равна

$$P = m \frac{v_1^2 - v_2^2}{2} = \frac{\rho S}{4} (v_1^2 - v_2^2) \cdot (v_1 + v_2). \quad (1.4)$$

Если нормировать мощность P на величину мощности ветра

$$P_0 = \rho S v_1^3 / 2, \quad (1.5)$$

то окажется, что

$$\frac{P}{P_0} = \frac{1}{2} \left[1 - \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^2 \right] \cdot \left(1 + \frac{v_2}{v_1} \right). \quad (1.6)$$

1.4 Оценка потенциала ветровой энергии Казахстана и Павлодарской области

В Казахстане разработаны инвестиционные проекты строительства ветроэлектростанций (ВЭС) общей мощностью 1,5 млрд кВт/ч в год. В настоящее время составлен ветровой атлас страны, согласно которому наибольший ветровой потенциал отмечается в центральном и прикаспийском регионах, а также на юге и востоке страны.

При использовании лишь 0,1 процента этих территорий можно получить до 30% электроэнергии от общего энергобаланса Казахстана. При этом значительно сократятся вредные выбросы в атмосферу двуокиси серы, окислов азота и углекислого газа.

Территория Казахстана характеризуется относительно богатыми ветроэнергетическими ресурсами. Теоретический потенциал в сотни раз превышает современное электропотребление. Расчеты показали, что на высоте 10м от поверхности земли энергия, заключенная в 1м² сечения воздушного потока, составляет порядка 4000 кВт·ч/м² в год. Наиболее значительными являются ветроэнергоресурсы Джунгарских ворот (17000 кВтч/м²).

Из других перспективных районов можно отметить Ерементай-3700 кВтч (Акмолинская область), Форт-Шевченко-4300 кВтч-4300 кВтч/м² Побережье Каспийского моря), Курдай-4000 кВтч/м², (Жамбыльская область) и некоторые другие.

Анализ данных по ветроэнергетическим ресурсам показывает, что значительная доля энергии приходится на холодное время года, когда

потребность энергии возрастает, по причине холодного времени года и темном длительном времени суток.

Наиболее перспективным районом Казахстана по использованию энергии ветра является район Джунгарских ворот. Этот район представляет собой горную долину длиной 20 км, шириной 10-15 км. Здесь наблюдаются сильные и продолжительные бури, со значительными скоростями ветра, чаще всего в холодные периоды года.

Продолжительность отдельных бурь составляет 50-100 часов. Максимальные скорости ветра 40-60 м/с. В этом районе могут быть размещены около 1100 агрегатов ВЭУ мощностью по 100-200 кВт, с диаметром ветроколеса 25 м. Выработка одной такой установки ориентировочно составляет 600 тыс. кВт часов в год.

Основная часть территории Республики относится к районам средней интенсивности ветра (среднегодовая скорость от 3,5 до 6 м/с), районы сильных ветров (6м/с и выше) находятся на западе страны (плато Мангышлак). На юге Казахстана (Алматинская область) расположены районы слабой интенсивности ветра (от 1,5 до 3,5м/с) [16].

Павлодарская область обладает представленными ветроресурсами (таб.1.3). По данным Павлодарского Гидрометеорологического центра среднегодовая скорость ветра в разных районах области различна и колеблется от 3,4 м/с до 4,3 м/с, в то время как максимальная скорость ветра изменяется по районам от 28 до 40 м/с. Анализ годового распределения среднесуточных скоростей ветра (рис. 1.3) показывает, что в области имеет место сезонное увеличение скоростей ветра в зимний период и практический безветрие в летний.

Таблица 1.3 - Статистические данные средних скоростей ветра по месяцам за 2010 год по Павлодарской области по данным Павлодарской метеослужбы

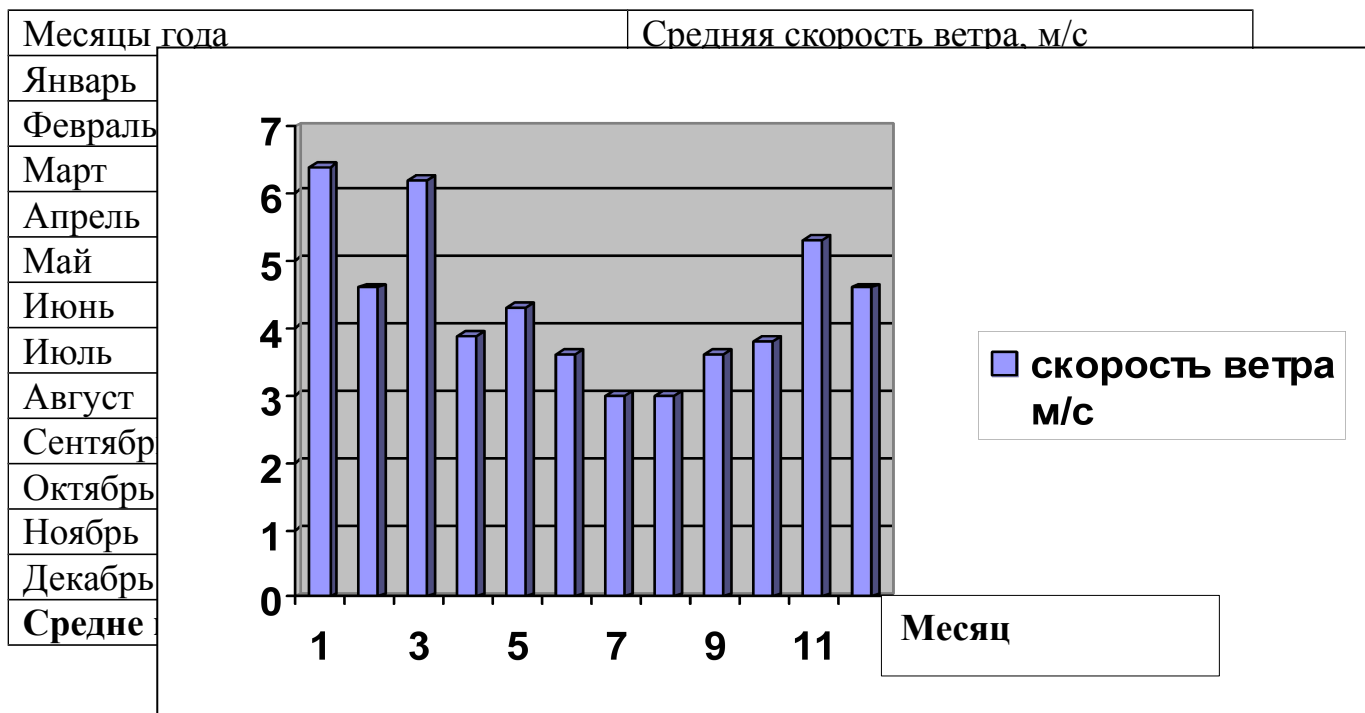


Рисунок 1.3 - Гистограмма среднемесячной скорости ветра в Павлодарской области

1.5 Положение ветроэнергетики в мире

Одним из наиболее динамично развивающихся коммерческих видов возобновляемых источников энергии (ВИЭ) является ветроэнергетика. В 2003 году установленная мощность ветроэлектростанций (ВЭС) составляла 60 000 МВт. В настоящее время установленная мощность ВЭС составляет свыше 121 000 МВт. Предполагается, что уже к 2013г. установленная мощность ВЭС в мире превысит 150 000 МВт. Ветроэнергетика рассматривается не только как экологически «чистый» источник энергии. Ветроэнергетика поддерживает социально-экономическое развитие, энергетическую безопасность и снижает зависимость экономик от мировых энергетических рынков [Л5].

По состоянию к концу 2009 г. началу 2010 г. мировая ветроэнергетика вырабатывала 340 ТВт/ч э/э, что соответствует 2% глобального электропотребления. Этот объем эквивалентен электропотреблению Италии (население 60 млн человек), занимающей 7 место среди лидеров мировой экономики.

В некоторых странах ветер играет существенную роль в поддержании энергетического баланса. Доля ветроэнергетики в электроснабжении в Дании составляет 20%, Португалии - 15%, Испании - 14%, Германии - 9%.

В 2009 г. наивысший в мире темп роста ветровых мощностей продемонстрировала Мексика. Установленная мощность ВЭС в стране увеличилась в четыре раза. Хорошую динамику роста также продемонстрировали Турция (132%), Китай (113%), а также Марокко (104%). Десятку лидеров замыкают Бразилия (77.3%), Венгрия (58.3%), Новая Зеландия (52.9%), Швеция (48%), Бельгия (44.6%) и Польша (41.1%).

Но значительно большее впечатление производят физические объемы ветроэнергетических мощностей, введенные мировыми экономическими лидерами.

Тут впору ввести новую единицу измерения - 1 ЗАЭС (самая мощная АЭС в Украине), что эквивалентно 6 000 МВт. Итак, в 2009 г. Китай ввел в эксплуатацию 13 800 МВт ветроэнергетических мощностей, или 2.3 ЗАЭС, США - 9 922 МВт (1.65 ЗАЭС), Испания - 2 460 МВт (0.41 ЗАЭС), Германия - 1 880 МВт (0.31 ЗАЭС), Индия - 1 338 МВт (0.23 ЗАЭС), Италия и Франция - около 1 115 МВт (0.18 ЗАЭС). Еще почти десяток стран вводят за год 500-900 МВт ветроэнергетических мощностей.

Например, испанская Iberdrola Renovables ввела в эксплуатацию новую ВЭС Пинаскал (Penascal) в штате Техас (США). С мощностью 404 МВт данная ВЭС стала самой большой из всех эксплуатируемых ветростанций компании в мире. Новации ВЭС включают специальные радары для определения приближения больших стай мигрирующих птиц и выключения ВЭУ из работы. Ибердролла сообщила, что потратила более 4000 часов на изучение поведения птиц в данном районе.

Комплекс ветроэнергетической станции Penascal расположен в графстве Kenedy штат Техас и включает в себя две ВЭС: Penascal I и Penascal II по 201,6 МВт каждая.

На объекте всего установлено 168 ВЭУ Mitsubishi MHI 92, каждый мощностью 2,4 МВт. Количество новых рабочих мест на объекте - 20 в сфере эксплуатации и обслуживания ветростанций. В ходе строительства компания Mortenson Construction использовала около 200 человек.

Эксплуатация ВЭС на полную мощность началась в апреле 2010 и после запуска ВЭС Iberdrola Renovables получила от американского правительства

грант в размере 114 млн. долларов в рамках мер поддержки, принятых в сентябре 2009.

1.6 Развитие ветроэнергетики в странах СНГ

Фирма Siemens и Правительство Республики Калмыкия подписали Протокол о сотрудничестве и партнерстве. Этот документ определяет параметры сотрудничества в сфере производства энергии из возобновляемых источников. На основании достигнутых договоренностей Siemens совместно с Правительством Калмыкии будет развивать ветроэнергетические проекты в республике.

Согласно Протоколу, «Сименс» осуществит поставку современного оборудования для строительства ветроэлектростанций (ВЭС). Кроме того, стороны разработают и реализуют совместные проекты по организации сборки компонентов для ветроэнергетических установок на территории Калмыкии.

«Данный Протокол является первым шагом на пути плодотворного сотрудничества между Республикой Калмыкия и концерном Siemens», - заявил руководитель Департамента «Энергия из возобновляемых источников» Siemens д-р Рене Умлауфт. - Реализация проектов по ветроэнергетике могла бы способствовать развитию инфраструктуры и созданию новых рабочих мест в регионе. Обладая ветропотенциалом порядка 10 ГВт, Калмыкия может стать лидером в развитии ветроэнергетики в Российской Федерации".

По оценкам международных экспертов, 21% сухопутных ветровых ресурсов мира приходится на долю Российской Федерации, стран СНГ и Балтии, благодаря чему в этих странах прогнозируется активное развитие ветроэнергетики - до 130 ГВт суммарной установленной мощности ВЭС к 2020 г.

Украинская малая ветроэнергетика неожиданно не только выбилась в лидеры по динамике развития среди стран СНГ, но и опередила некоторых европейских соседей. Только за последние полтора года количество установленных ВЭУ удвоилось.

Кризис замедлил развитие рынка альтернативных видов энергетики, но все же сегменту в целом удалось сохранить неплохую динамику. По данным исследования, подготовленного Украинской ветроэнергетической ассоциацией (УВЭА), за годы независимости Украины (1991-2009 гг.) в стране установлено около 1170 ВЭУ мощностью до 10 кВт.

При этом половина из них были установлены за последние полтора года. По результатам проведенного мониторинга суммарная установленная мощность работающих в стране ВЭУ достигает 1200 кВт.

Участники рынка сходятся во мнении, что наиболее востребованными являются ВЭУ мощностью 1-2 кВт. Основными заказчиками являются владельцы загородных коттеджей, фермерских хозяйств, а также баз отдыха. Словом, все те, кто удален от энергосети.

Выводы по главе 1

1) Исследования показали, что территория Казахстана характеризуется относительно богатыми ветроэнергетическими ресурсами. Теоретический потенциал в сотни раз превышает современное электропотребление. Основная часть территории Республики относится к районам средней интенсивности ветра (среднегодовая скорость от 3,5 до 6 м/с), районы сильных ветров (6м/с и выше) находятся на западе страны (плато Мангышлак). На юге Казахстана (Алматинская область) расположены районы слабой интенсивности ветра (от 1,5 до 3,5м/с).

2) Павлодарская область обладает представленными ветроресурсами. По данным Павлодарского Гидрометеорологического центра среднегодовая скорость ветра в разных районах области различна и колебания от 3,4 м/с до 4,3 м/с, в то время как максимальная скорость ветра изменяется по районам от 28 до 40 м/с. Анализ годового распределения среднесуточных скоростей ветра (рис. 1.3) показывает, что в области имеет место сезонное увеличение скоростей ветра в зимний период и практический безветрие в летний.

3) Проведенные в данной главе исследования имеющихся ресурсов ветра в Павлодарской области, позволяют сделать вывод о возможности широкого использования ВЭУ на территории области. На основании данных Гидрометеорологического центра построена гистограмма среднегодовых значений скорости ветра по Павлодарской области. Данные полученные из Гидрометеорологического центра Павлодара, ничем не отличаются от данных лаборатории «Возобновляемой энергетики» расположенной в ИнЕУ.

2 СУЩЕСТВУЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ ВЭУ МАЛОЙ И СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ

2.1 Современное развитие ветроэлектростанций

Современные ВЭУ - это машины, которые преобразуют энергию ветра в механическую энергию вращающегося ветроколеса, а затем в электрическую энергию. Состоят ВЭУ из ветроагрегата (ветродвигателя в комплекте с одной или несколькими рабочими машинами), устройства, аккумулирующего энергию или резервирующего мощность, а также в ряде случаев дублирующего двигателя (большой частью теплового, как, например, в ветроэлектрических станциях). Мощность ветроэнергетической установки от 100 Вт до нескольких МВт. КПД ветродвигателей, применяемых в ветроэнергетической установке, достигает 48%.

Ветроэнергетические установки достигли сегодня уровня коммерческой зрелости и в местах с благоприятными скоростями ветра могут конкурировать с традиционными источниками электроснабжения.

Из всевозможных устройств, преобразующих энергию ветра в механическую работу, в подавляющем большинстве случаев используются лопастные машины с горизонтальным валом, устанавливаемым по направлению ветра. Намного реже применяются устройства с вертикальным валом.

Установка ВЭУ оказывается целесообразной только в местах, где среднегодовые скорости ветра достаточно велики.

КПД достигает для лучших ветровых колес примерно 0,45. Это означает, например, что ветровое колесо с длиной лопасти 10 м при скорости ветра 10 м/с может иметь мощность на валу в лучшем случае 85 кВт.

Наибольшее распространение из установок, подсоединяемых к сети, сегодня получили ветроэнергетические установки с единичной мощностью от 100 до 500 кВт. Удельная стоимость ВЭУ мощностью 500 кВт составляет сегодня около 1200 доллар/кВт и имеет тенденцию к снижению.

Расчетная скорость ветра для больших ВЭУ обычно принимается на уровне 11-15 м/с. Вообще, как правило, чем больше мощность агрегата, тем на большую скорость ветра он рассчитывается. Однако в связи с непостоянством скорости ветра большую часть времени ВЭУ вырабатывает меньшую мощность. Считается, что если среднегодовая скорость ветра в данном месте не менее 5-7 м/с, а эквивалентное число часов в году, при котором вырабатывается номинальная мощность не менее 2000 Вт, то такое место благоприятно для установки крупной ВЭУ и даже ветровой фермы.

Автономные установки киловаттного класса, предназначенные для энергоснабжения сравнительно мелких потребителей, могут применяться и в районах с меньшими среднегодовыми скоростями ветра.

2.2 Классификация и основные типы ветряных электроустановок

2.2.1 Классификация ВЭУ

1) Ветроколёса можно разделить на устройства с горизонтальной и вертикальной осью вращения, быстроходные и тихоходные. Они существенно различаются по своей конструкции и эффективности использования энергии ветра.

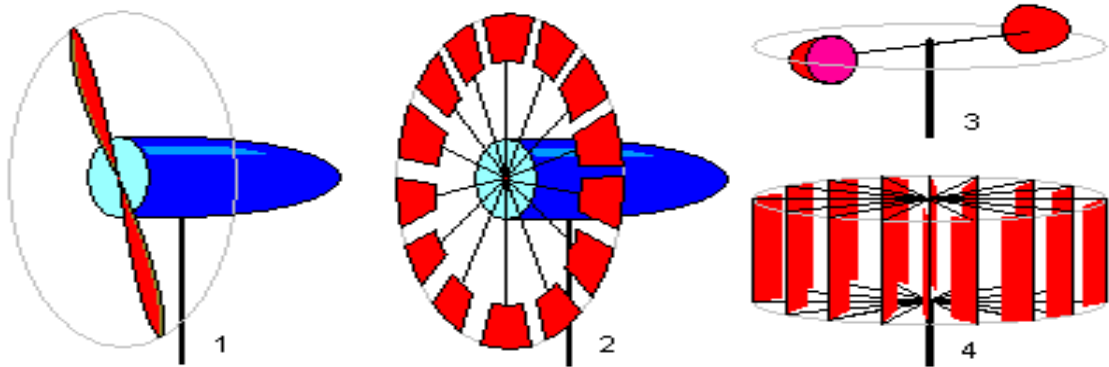


Рисунок 2.1 - Виды циклических ветряных двигателей:

1 – быстроходный, с горизонтальной осью вращения, 2 – тихоходный, с горизонтальной осью вращения, 3 - с вертикальной осью вращения чашечного типа (обычно используется в анемометрах), 4 - с вертикальной осью вращения роторного типа

Ветряные двигатели с горизонтальной осью вращения, как правило, имеют постоянную ориентацию рабочих поверхностей относительно потока воздуха и могут собирать энергию ветра со всей площади окружности вращения элементов. Снижение эффективности отбора энергии ближе к оси вращения из-за уменьшения линейной скорости перемещения элементов может быть скомпенсировано изменением угла наклона рабочей поверхности элемента к потоку воздуха по сравнению с более дальними участками элементов, где линейные скорости выше. Однако у этой схемы имеются и недостатки.

Во-первых, для эффективной работы ось вращения должна быть сориентирована точно по направлению потока воздуха. Поэтому рабочее колесо не только должно постоянно вращаться в вертикальной плоскости, но и иногда (при смене направления ветра) поворачиваться в горизонтальной плоскости. Наличие двух осей вращения усложняет конструкцию и снижает её надёжность, - а ведь ветряк должен выдерживать не только рабочие усилия, но и экстремальные нагрузки при штормовых порывах ветра.

Во-вторых, при размещении нескольких подобных устройств в одной плоскости полностью использовать весь воздушный поток не удастся -

примерно четверть его попадает на промежутки между омахиваемыми элементами колёс окружностями и проходит впустую.

Кстати, обратите внимание на то, что на рисунке двигатели с горизонтальной осью показаны без «оперения», ориентирующего их по ветру. Это не случайность. В современных конструкциях ориентация обычно осуществляется за счёт ветрового сопротивления самого колеса, которое размещается не с наветренной, а с подветренной стороны относительно вертикальной оси. На рисунке 2.1, это соответствует ветру, дующему справа налево.

Наиболее эффективными часто считают быстроходные горизонтальные двигатели с несколькими узкими лопастями, профиль которых близок к профилю лопастей самолётного пропеллера. Однако их эффективность в полной мере проявляется лишь при высоких скоростях воздушного потока от 10-15 м/с и выше. Благодаря относительно небольшой площади лопастей, ВЭУ не слишком чувствительны к сильным порывам ветра, однако, по той же причине, в принципе не могут собрать всю энергию ветра, проходящего через омахиваемую лопастями площадь, частички воздуха, проходящие в огромные промежутки между лопастями, не взаимодействуют с ними, и их энергия не используется непосредственно (максимум, что можно от них получить - это косвенное влияние, заключающееся в том, что своим присутствием они не дают разлетаться в стороны непосредственно взаимодействующим с лопастями молекулам воздуха так быстро, как это произошло бы в вакууме). Наиболее эффективными считаются трёхлопастные колёса, у них каждая лопасть работает с наибольшей отдачей. У лучших конструкций промышленного изготовления КИЭВ может достигать 25-30%. Казалось бы, этого не может быть, ведь отношение площади лопастей к площади омахиваемой ими окружности намного меньше, но тут дело заключается в сложном взаимодействии лопасти с воздушным потоком, в конце концов сводящемся к упомянутому выше косвенному влиянию удалённых от лопасти областей потока. Для обеспечения такого взаимодействия необходим тщательно рассчитанный, и не менее тщательно изготовленный, профиль лопасти, поэтому для любительских конструкций этого типа, в которых лопасти изготавливаются по лекалам в кустарных условиях, весьма неплохим результатом считается достижение КИЭВ хотя бы в 15-20%. Другим необходимым условием подобного взаимодействия является достаточно узкий рабочий диапазон соотношений скорости вращения лопасти и скорости набегающего потока.

В реальной эксплуатации все эти особенности приводят к тому, что при слабом ветре подобные ветроколёса практически не взаимодействуют с воздушным потоком и, соответственно, стоят на месте. Кроме того, даже при достижении ветром номинальной скорости запуск колеса затруднён, поскольку

оно ещё не вращается и не выполняется оптимальное соотношение скоростей ветра и лопасти.

В связи с этим практически обязательным элементом таких ВЭУ являются устройства, обеспечивающие отключение нагрузки (генератора) от вала ветроколеса в момент запуска вплоть до достижения колесом определённой скорости вращения. Иногда их даже оснащают специальным мотором-стартером для начальной раскрутки ветроколеса. Аналогичная ситуация возникает и при кратковременных ослаблениях ветра или при замедлении вращения вала вследствие возрастания нагрузки -соотношение скоростей лопасти и воздуха становится неоптимальным, происходит срыв потока с лопасти, КИЭВ падает в разы и колесо, даже если не остановится окончательно, будет работать в совершенно неэффективном режиме. Так что и здесь необходимо снимать нагрузку с вала, чтобы дать колесу вновь набрать скорость и вернуться в рабочий режим. Наконец, срыв потока с лопастей может произойти не только при ослаблении, но при слишком резком усилении ветра, хотя в этом случае подобное явление может быть и благом, поскольку не позволит колесу разогнаться слишком быстро. В общем, на мой взгляд использование подобных ветроколёс оправдано лишь тех в местах, где почти всегда дует сильный ровный ветер. При порывистом ветре, даже достаточно крепком, значительную часть времени им придётся «ловить режим» с отключённой нагрузкой.

Ещё одна неприятная особенность быстроходных ветроколёс заключается в том, что тангенциальная скорость концов их лопастей во много раз превышает скорость ветра и может составлять десятки метров в секунду. В результате даже при не очень сильном ветре их работа сопровождается значительным аэродинамическим шумом, воем и свистом. Вряд ли кого обрадует постоянный вой, подобный звуку падающей авиабомбы из старых кинофильмов. Но хозяин ветряка при этом хотя бы получает энергию.

Заканчивая обзор быстроходных ветродвигателей, следует отметить, что увеличение количества лопастей снижает отдачу с каждой лопасти, но повышает общую отдачу ветроколеса и стабильность его взаимодействия с ветровым потоком. Почему не идут этим путём? Необходимость высокой точности изготовления лопастей быстроходных ветроколёс делает их весьма дорогими, и потому добавление каждой лопасти заметно увеличивает стоимость установки. Когда площадь лопастей начинает составлять значительную часть омахиваемой ими окружности, такое колесо по сути переходит в разряд тихоходных, а там к лопастям предъявляются несколько иные, не столь жёсткие требования.

Тихоходные горизонтальные двигатели традиционно считаются менее эффективными, но при слабых ветрах их эффективность заметно выше, чем у

быстроходных, поскольку площадь лопастей перекрывает если не всю омахиваемую ими окружность, то большую её часть. В результате степень их взаимодействия с воздушным потоком довольно мало зависит, как от его скорости, так и от отклонения профиля лопастей от идеала, и нет большой надобности в устройствах отключения нагрузки при запуске колеса, или при резком изменении силы ветра, или при возрастании усилия на валу.

Да и погрешности профиля при изготовлении лопастей здесь влияют на эффективность меньше, чем у быстроходных вариантов. Более того, в отличие от быстроходных двигателей, в тихоходных конструкциях с большой площадью лопастей уменьшение скорости вращения при возрастании нагрузки может приводить не к срыву потока с остановкой колеса, а к увеличению отбора мощности у воздушного потока. Однако с этим связан и главный недостаток подобных конструкций - очень большая парусность, делающая их уязвимыми к сильным порывам ветра и требующая специальных защитных элементов, которые бы снимали ветровую перегрузку в подобных случаях (например, складывали лопасти или разворачивали их вдоль воздушного потока).

Ещё один плюс тихоходных колёс - это относительно малая скорость их вращения, так что тангенциальная скорость концов лопастей сравнима со скоростью ветра. Это сразу сильно снижает уровень аэродинамического шума во время работы.

Здесь особое внимание я хочу обратить на парусные ветроколёса Gravió, конструкция которых хорошо продумана и является практически идеальной для самостоятельного изготовления. Они максимально эффективно отбирают энергию слабых ветров, и в то же время мягкие лопасти-паруса не позволяют колесу набрать слишком большую скорость при сильных порывах ветра, резко снижая свою эффективность. Для особо сильных и внезапных шквалов в конструкции предусмотрен специальный предохранитель-чека, при разрушении которого от ветровой перегрузки паруса-лопасти переходят в режим флага и более не воспринимают существенных ветровых нагрузок, спасая основную конструкцию от разрушения. По окончании бури это ветроколесо легко снова привести в рабочее состояние. По данным Gravió, конструкция успешно эксплуатировалась при скоростях ветра до 50 м/с (это уже ураган, места, где возможны такие ветры, ещё надо поискать; при дальнейшем усилении ветра, срабатывает предохранитель). В то же время Gravió замечает, что при достаточно свежем ветре позади ветроколеса может гореть открытая свеча — это говорит о хорошей степени утилизации такими ветроколесами кинетической энергии набегающего потока воздуха.

2) По количеству лопастей: ветряные электрогенераторы с 2-3 лопастями считаются быстроходными и имеют более высокий КПД и частоту вращения, но при этом низкий стартовый момент ротора.

3) По установленной мощности:

- ВЭУ малой мощности (установленная мощность до 100кВт);
- ВЭУ средней мощности (установленная мощность от 100 до 1000 кВт);
- ВЭУ мегаваттного класса или ВЭУ большой мощности (P больше 1000 кВт).

4) По наличию, отсутствию редуктора (мультипликатора): редукторные ветроэлектростанции, как правило ВЭС мощностью более 50 кВт. В безредукторной ВЭС шум и КПД намного меньше, в связи с чем многие компании-производители стремятся к созданию именно безредукторных ВЭС.

5) По типу потребителей: различают автономные и ВЭУ сетевого назначения. В первом случае ВЭУ осуществляют энергоснабжение удаленных от центральных электросетей потребителей. Во втором случае сооружаются ветроэлектростанции, которые насчитывают несколько десятков или сотен крупных ветроэнергетических установок, которые отдают энергию в сеть. Как правило, сетевые установки имеют мощность более 100 кВт, а автономные менее 100 кВт.

2.2.2 Системы регулирования и ограничения мощности

1. Центробежно-пружинное регулирование.

Регулирование осуществляется за счет изменения угла установки лопастей под воздействием центробежных сил. Обеспечивает регулирование частоты вращения ротора в пределах 5-10%. Используется для автономных ВЭУ мощностью от 5 до 50 кВт. Для обеспечения защиты от бури лопасти могут выводиться автоматически в положение (угол установки близок к 90 град) флюгера при скорости ветра более 25-30 м/с.

2. Вывод ротора в косой поток.

Регулирование осуществляется за счет изменения угла косого потока (угла между нормалью к плоскости ротора и направлением ветра). Используется для автономных ВЭУ мощностью до 10 кВт, предназначенных для заряда АКБ. При работе ВЭУ на выпрямитель не нужна стабильная частота электрического тока, а, следовательно, и стабилизация частоты вращения ротора. Данная система регулирования обеспечивает автоматическую защиту от бури, поскольку при скорости ветра 25-30 м/с угол косого потока ротора близок к 90 град, при этом мощность и частота вращения даже меньше, чем в номинальном режиме. Основное преимущество данной системы – простота и надежность, поскольку используются неповоротные лопасти.

3. Активное регулирование.

Регулирование осуществляется за счет изменения угла установки лопастей электрическим или гидравлическим приводом по команде от

автоматической системы управления. Используется для ВЭУ мощностью более 50 кВт.

Для обеспечения защиты от бури лопасти выводятся автоматически в флюгер (угол установки близок к 90 градусам) при скорости ветра более 25-30 м/с.

4. Электродинамическое регулирование.

Используется в малых ВЭС мощностью до 20 кВт. Реализовано в виде динамического изменения нагрузки генератора при увеличении скорости ветра с сохранением оборотов на уровне не больше максимальных.

2.2.3 Системы торможения

Существуют следующие системы торможения ВЭУ (данные системы могут быть дополнены фрикционными тормозными устройствами главного вала).

1) Вывод лопастей в положение флюгера. Данная система позволяет резко снизить частоту вращения ротора ВЭУ, она может применяться для ВЭС с поворотными лопастями.

2) Поворот флюгера на 90 град. Данная система позволяет резко снизить частоту вращения ротора ВЭУ, её возможно использовать для ВЭС у которых лопасти не поворотные.

3) Короткое замыкание генератора. Данная система позволяет резко снизить частоту вращения ротора ВЭУ, применяется для ВЭС с генератором на постоянных магнитах.

4) Вывод лопастей на отрицательные углы установки. Данная система позволяет остановить вращение ротора ВЭУ, используется для ветроэнергетических систем с поворотными лопастями.

2.2.4 Выбор места установки

При выборе места установки мачты для ВЭС, нужно учитывать желательные для нее условия. К этим условиям можно отнести: большую среднегодовую скорость ветра в данной местности, отсутствие высоких препятствий с подветренной стороны на расстоянии, которое определяется высотой препятствия.

Для выбора места расположения мачты нужно использовать следующие рекомендации:

- ось ветряного электрогенератора должна располагаться на 10 м выше любые препятствия в радиусе 100 м;
- предпочтительными местами расположения ВЭС это открытые пространства, особенно на берегах крупных водохранилищ;

- в холмистой местности ВЭС следует располагать на наветренной стороны пологой возвышенности (если известно доминирующее направление ветра);
- в горной местности следует располагать в горных проходах, на пологих безлесных склонах, по возможности, на меньшей высоте над уровнем моря, вдали от обрывов и других резких изменений рельефа;
- следует избегать мест с вогнутой формой рельефа, а также мест возле леса, жилых домов и производственных объектов которые могут помешать беспрепятственному подходу воздушных масс к ВЭС.

Мощность ВЭС пропорциональна кубу скорости ветра. Это означает, что на территории, где предполагается установить ВЭС, должно быть выбрано место с наивысшей скоростью ветра. Выбор места для ВЭС достаточно просто сделать для равнинной местности, сложнее в случае гористой или холмистой местности.

Факторы, которые нужно учитывать при выборе места расположения мачты:

- а) Торможение возле земли: ветер уменьшается вблизи земли и этот эффект усиливается, если поверхность не ровная.
- б) Турбулентность: возникает позади зданий, деревьев, гребней и т.д.
- в) Орфография местности: ускорение потока на вершинах холмов, гребней и т.д.

2.2.5 Средства для определения скорости ветра

Движение воздуха относительно земной поверхности называется ветром. Как правило, при этом имеется в виду горизонтальная составляющая движения. Иногда говорят о восходящий или нисходящий ветер. Учитывают вертикальную составляющую этого движения. Ветер характеризуется вектором скорости. Известно, что всякий вектор определяется абсолютной величиной и направлением. Когда говорят о скорости ветра, подразумевают только числовое ее значение, то есть путь, проходной индивидуальным объемом воздуха за единицу времени относительно земной поверхности. Направление вектора скорости называется направлением ветра. За направление ветра берется азимут точки, откуда дует ветер, который отсчитывается от точки севера через восток. Скорость ветра выражается в метрах в секунду (м/с).

Скорость ветра является наиболее важным фактором, влияющим на количество энергии, которую ВЭС может превратить в электроэнергию. Большая скорость ветра увеличивает объем воздушных масс, которые проходят. Поэтому с увеличением скорости ветра растет и количество электроэнергии, вырабатываемой ВЭУ. Энергия ветра изменяется пропорционально кубу

скорости ветра. Таким образом, например, если скорость ветра удваивается, кинетическая энергия, полученная ротором, увеличивается в восемь раз.

Различают, сглаженную скорость ветра, то есть некую среднюю величину скорости за некоторое обычно небольшой промежуток времени, в течение которого проводятся наблюдения, и мгновенную скорость ветра в данный момент (измеряемую очень малоинерционным прибором).

Мгновенная скорость ветра отмечает порывы и внезапное ослабление ветра. Она очень сильно колеблется по сравнению со сглаженной скоростью, время может быть значительно меньше или больше.

На метеорологических станциях обычно измеряют сглаженную скорость ветра, и в дальнейшем речь пойдет о ней.

Средние скорости ветра у земной поверхности близкие к 5 – 10 м/с и редко превышают 12 – 15 м/с. У сильных атмосферных вихрях и штормах умеренных широт, скорости могут превышать 30 м/с, а в отдельных порывах достигать 60 м/с. В тропических ураганах скорости ветра доходят до 65 м/с, а отдельные порывы, судя по разрушениям, выше 100 м/с.

Скорость ветра у земной поверхности измеряется анемометры различной конструкции или флюгером Вильда.

Наибольшее распространение получили анемометры с приемными частями в виде вертушек (чашечный анемометр, мельничный анемометр), которые вращаются с большей или меньшей скоростью в зависимости от давления на них ветра. В флюгере Вильда давление, предоставляемое ветром, отклоняет от положения равновесия металлическую доску, вертикально висящую. По скорости вращения вертушки или по отклонению доски можно определить скорость ветра. Есть конструкции, основанные на манометрическом принципе (трубка Пито) или на измерении величины охлаждения нагретого тела под действием ветра (термоанемометры). Есть ряд конструкций самопишущих приборов, например анемограф.

2.3 Типы конструкций ВЭУ

Ниже, приведены различные конструкции ВЭУ пропеллерного и роторного типа.

**Горизонтальная ось.
Установки движимые подъемной силой**

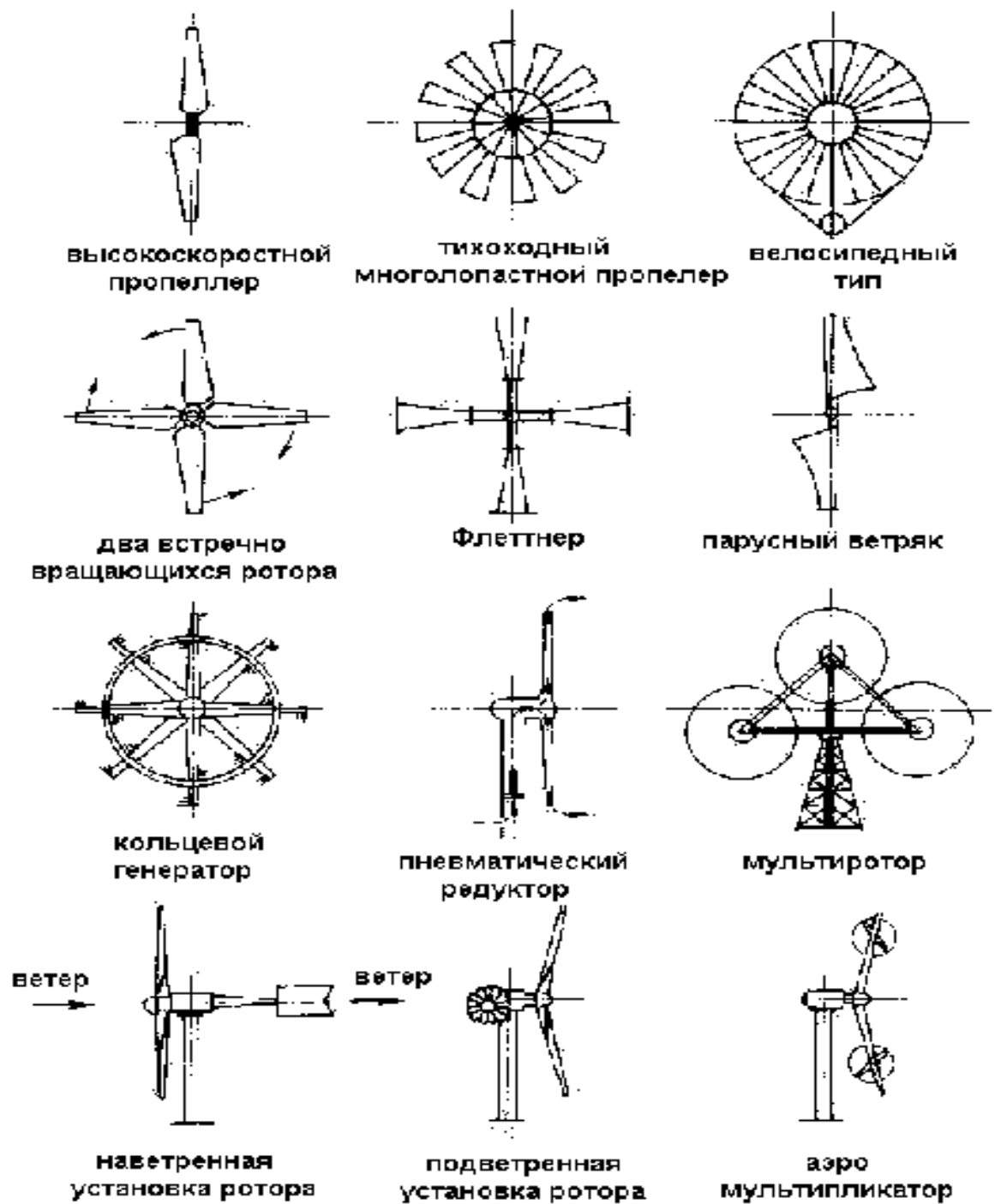
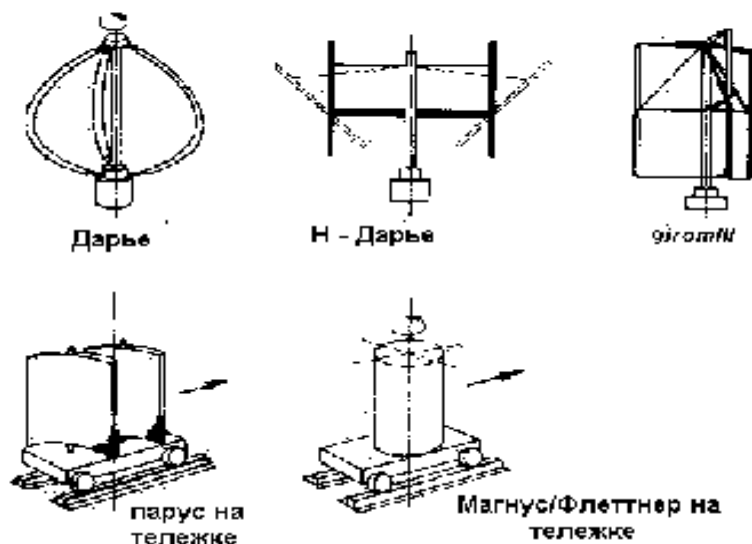


Рисунок 2.2 – ВЭУ с горизонтальной осью движимые подъёмной силой

Вертикальная ось



Концентраторы

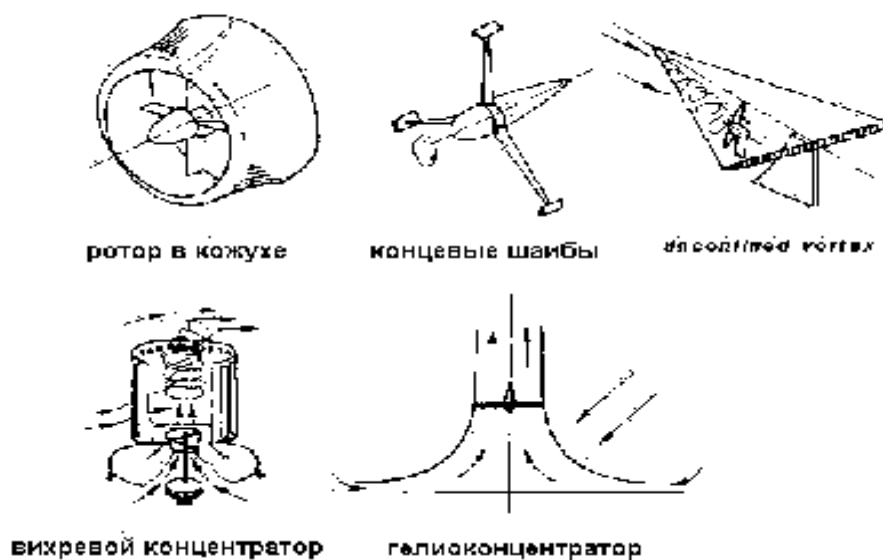


Рисунок 2.3 – ВЭУ роторного типа

В настоящее время известно много различных типов ветроэнергетических установок. Широкое распространение имеют ВЭУ с крыльчатыми ветроколесами и горизонтальной осью вращения (рис. 2.4). Среди них наибольшее развитие получили двух- и трехлопастные ветроколеса. Вращающий момент ветроколеса создается подъемной силой, образующейся при обтекании профиля лопастей воздушным потоком. В результате кинетическая энергия воздушного потока в пределах площади, ометаемой лопастями, преобразуется в механическую энергию вращения ветроколеса.

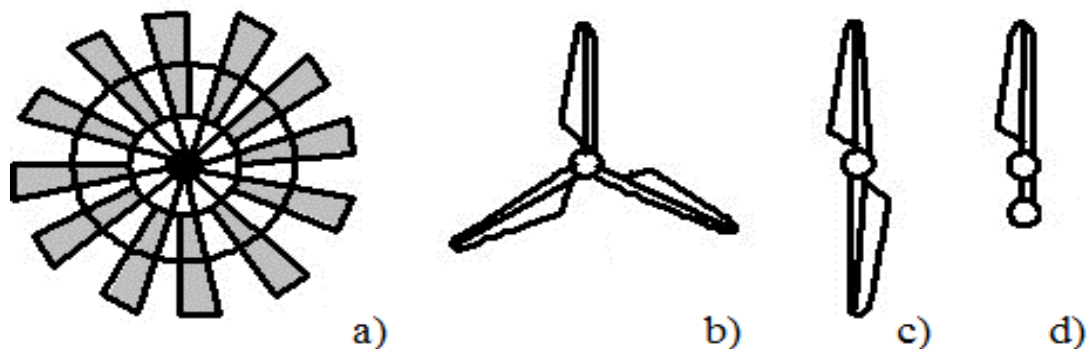


Рисунок 2.4 - Ветроколеса крыльчатых ветроустановок
 а) – многолопастное, б) – трехлопастное, в) – двухлопастное,
 г) – однолопастное с противовесом

Мощность, развиваемая на оси ветроколеса, пропорциональна квадрату его диаметра и кубу скорости ветра. По классической теории Н.Е. Жуковского для идеального ветроколеса коэффициент использования энергии ветра $\xi = 0,593$. То есть идеальное ветроколесо (с бесконечным числом лопастей) может извлечь 59,3% энергии, проходящей через его поперечное сечение. Реально на практике у лучших быстроходных колес максимальное значение коэффициента использования энергии ветра доходит до 0,45 - 0,48, а у тихоходных до 0,36 - 0,38.

Важной характеристикой ветроколеса является его быстроходность Z , представляющая отношение скорости движения конца лопасти к скорости ветрового потока. Конец лопасти обычно движется в плоскости ветроколеса со скоростью, которая в несколько раз выше скорости ветра. Оптимальные значения быстроходности двухлопастного колеса - 5-7, трехлопастного - 4-5, шестилопастного - 2,5 - 3,5.

Из конструктивных характеристик, на мощность ветроколеса основное влияние оказывают его диаметр, а также форма и профиль лопастей. Мощность мало зависит от числа лопастей. Частота вращения ветроколеса пропорциональна быстроходности и скорости ветра и обратно пропорциональна диаметру. На величину мощности влияет также высота расположения центра колеса, так как скорость ветра зависит от высоты.

Мощность ВЭУ, как отмечалось, пропорциональна скорости ветра в третьей степени. При расчетной скорости ветра и выше обеспечивается работа ВЭУ с номинальной мощностью. При скоростях ветра ниже расчетной мощность ветроэнергетической установки может составлять 20 – 30% от номинальной и менее. При таких режимах работы происходят большие потери энергии в генераторах, вследствие их низких к.п.д. на малых нагрузках, а в асинхронных генераторах возникают, кроме того, большие реактивные токи, которые необходимо компенсировать.

Для исключения этого недостатка в некоторых ВЭУ применяют 2 генератора с номинальными мощностями 100 и 20 - 30% от номинальной мощности ветроэнергетической установки. При слабых ветрах первый генератор отключается.

В некоторых ВЭУ малый генератор обеспечивает также возможность работы установки при малых скоростях ветра при пониженных оборотах с высоким значением коэффициента использования энергии ветра.

Установка ветроколеса на ветер, т.е. перпендикулярно к направлению ветра, производится в агрегатах очень малой мощности, с помощью хвоста (хвостового оперения), в агрегатах небольшой и средней мощности – посредством механизма виндроз, а в современных крупных установках – специальной системой ориентирования, получающей управляющий импульс от датчика направления ветра (флюгера), установленного наверху на гондоле ВЭУ. Механизм виндроз представляет собой одно или два небольших ветроколеса, плоскость вращения которых перпендикулярна к плоскости вращения основного колеса, работающих на привод червяка, поворачивающего платформу головки ветродвигателя до тех пор, пока виндрозы не будут лежать в плоскости, параллельной направлению ветра.

Крыльчатое ветроколесо с горизонтальной осью вращения может располагаться перед башней и за ней. В последнем случае лопасть подвергается постоянному многократному воздействию переменных сил при прохождении в тени башни, что одновременно значительно повышает уровень шума. Для регулирования мощности и ограничения частоты вращения ветроколеса применяется ряд способов, в том числе поворот лопастей или их части вокруг своей продольной оси, а также закрылки, клапаны на лопастях и другие способы.

Основными преимуществами ветроэнергетических установок с горизонтальной осью вращения ветроколеса является то, что условия обтекания лопастей воздушным потоком постоянны, не изменяются при повороте ветроколеса, а определяются только скоростью ветра. Благодаря этому, а также достаточно высокому значению коэффициента использования энергии ветра, ВЭУ крыльчатого типа в настоящее время получили наибольшее распространение.

Другой разновидностью ветроколеса является ротор Савониуса (рис. 2.5 и 2.6). Вращающий момент возникает при обтекании ротора потоком воздуха за счет разного сопротивления выпуклой и вогнутой частей ротора. Колесо отличается простотой, но имеет очень низкий коэффициент использования энергии ветра – всего 0,1 – 0,15 [Л8].

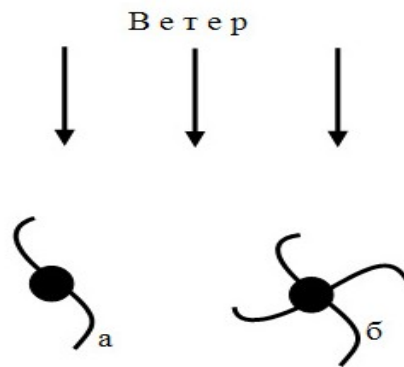


Рисунок 2.5 - Ротор Савониуса
а) - двухлопастный, б) – четырёхлопастный

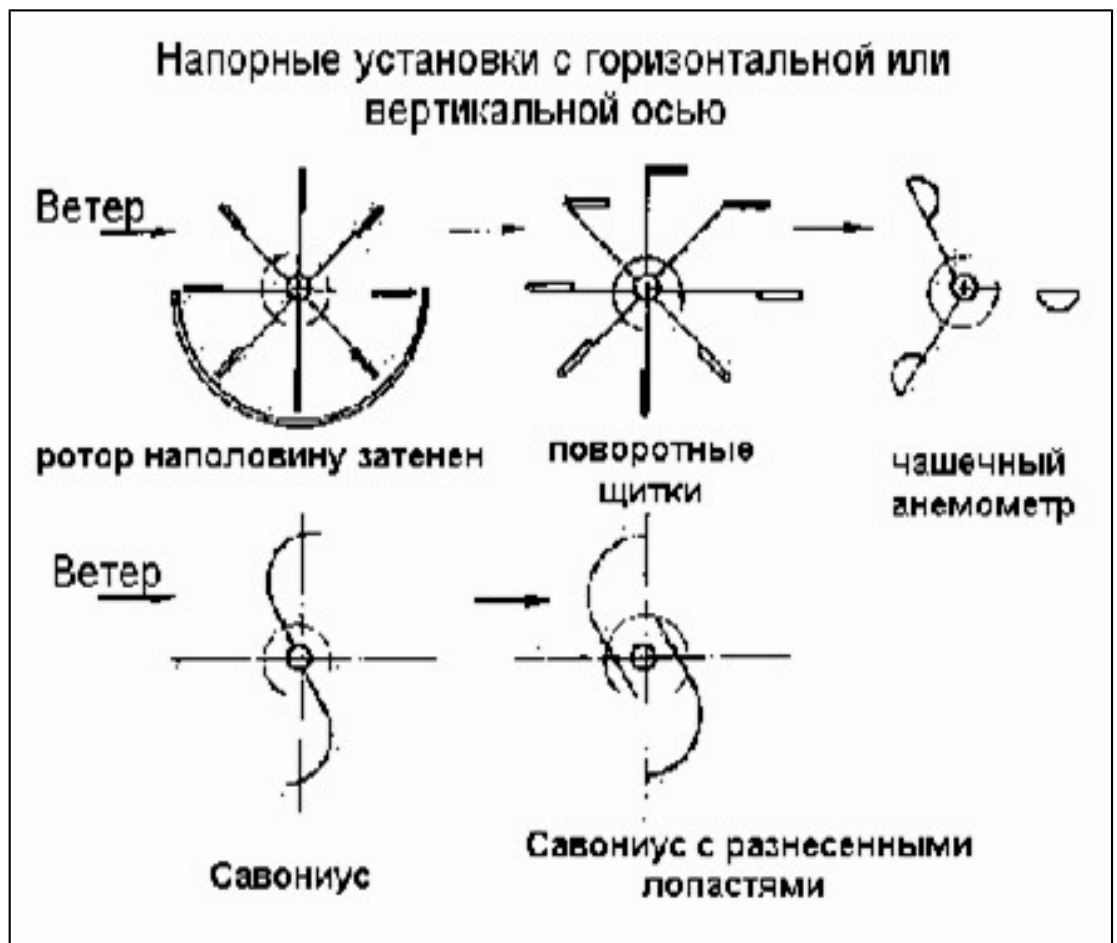


Рисунок 2.6 – Напорные ВЭУ

В последние годы в ряде зарубежных стран, особенно в Канаде, начали заниматься разработкой ветродвигателя с ротором Дарье, предложенным во Франции в 1920г. Этот ротор имеет вертикальную ось вращения и состоит из двух или четырех изогнутых лопастей (рис. 2.7). Лопасти образуют пространственную конструкцию, которая вращается под действием подъемных сил, возникающих на лопастях от ветрового потока.

В роторе Дарье коэффициент использования энергии ветра достигает значений 0,30 - 0,35. В последнее время проводятся разработки роторного двигателя Дарье с прямыми лопастями (рис. 2.7 б, в). Главным преимуществом ВЭУ Дарье является то, что они не нуждаются в механизме ориентации на ветер. У них генератор и другие механизмы размещаются на незначительной высоте возле основания. Все это существенно упрощает конструкцию. Однако серьезным органическим недостатком этих ветродвигателей является значительное изменение условий обтекания крыла потоком за один оборот

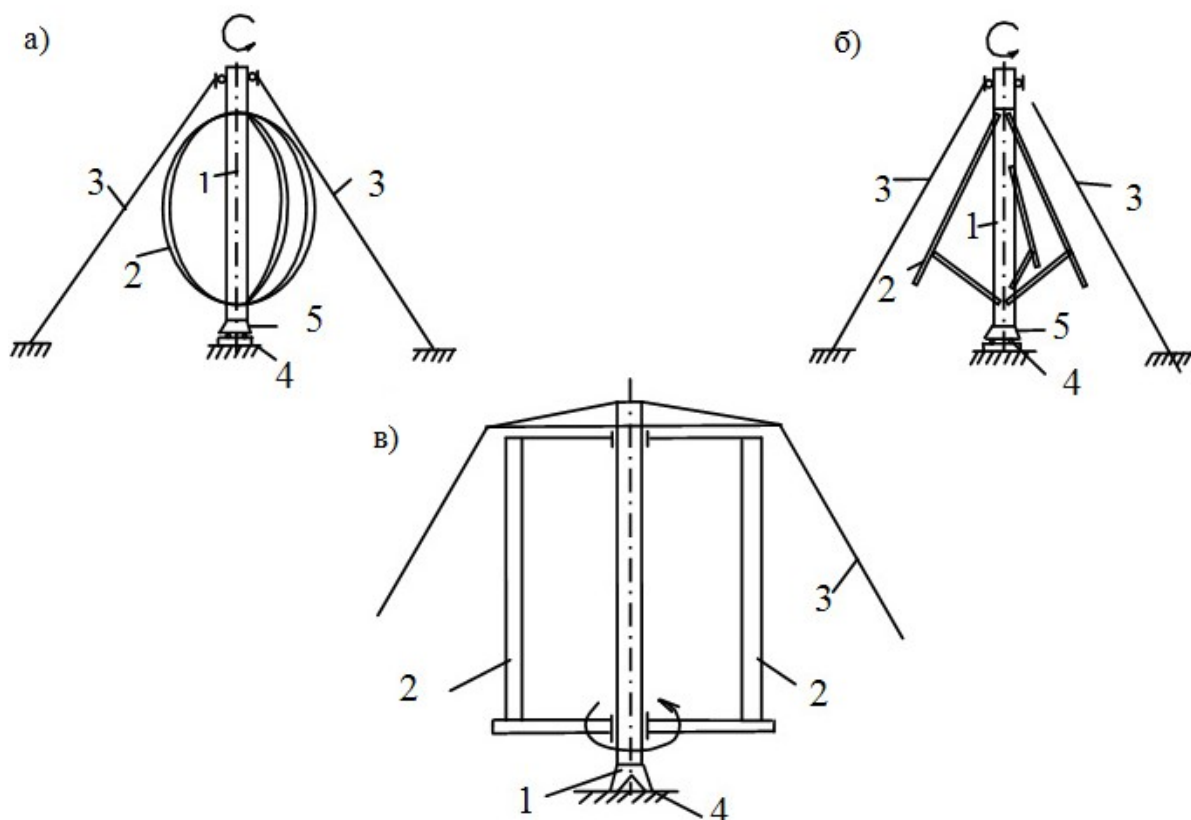


Рисунок 2.7 - ВЭУ Дарье с вертикальным ротором
а - Φ - образный, б - D - образный, в - с прямыми лопастями:
1 - башня (вал), 2 - ротор, 3 - растяжки, 4 - опора, 5 - передача
вращающего момента ротора

Это может вызывать усталостные явления и приводить к разрушению элементов ротора и серьезным авариям, что должно учитываться при конструировании ротора (особенно при больших мощностях ВЭУ). Кроме того, для начала работы их требуется раскрутить.

Зависимости коэффициента использования энергии ветра ξ , от быстроходности Z для различных типов ветроколес приведены на рисунке 2.8.

Видно, что наибольшее значение ξ имеют двух- и трехлопастные колеса с горизонтальной осью вращения. Для них высокое ξ сохраняется в широком диапазоне быстроходности Z . Последнее существенно, так как ВЭУ

приходится работать при скоростях ветра, изменяющихся в больших пределах. Именно поэтому установки этого типа получили в последние годы наибольшее распространение.

Ветроэнергетические установки, состоящие из вращающихся вокруг вертикальной оси ветроприемных лопастей, где крутящий момент образуется за счет разности давлений ветрового потока на лопасти, движущиеся по кругу за потоком и против.

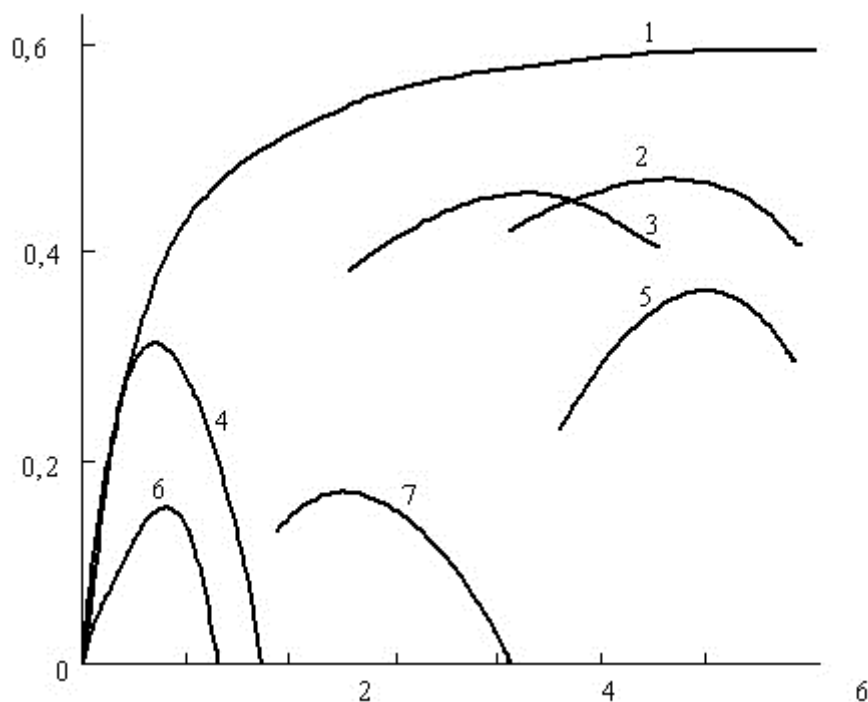


Рисунок 2.8 - Типовые зависимости коэффициента использования энергии ветра ξ от быстроходности ветроколеса Z

1 - идеальное крыльчатое ветроколесо; 2,3 и 4 - двух-, трех и многолопастные крыльчатые ветроколеса; 5 - ротор Дарье; 6 - ротор Савониуса; 7 - четырехлопастное ветроколесо датской мельницы

Известен аэродинамический движитель, содержащий вертикальный вал вращения, лопасти, симметрично расположенные вокруг вала вращения и шарнирно установленные на осях, параллельно валу вращения, где каждая лопасть выполнена в виде двух не равных по площади частей относительно собственной оси вращения.

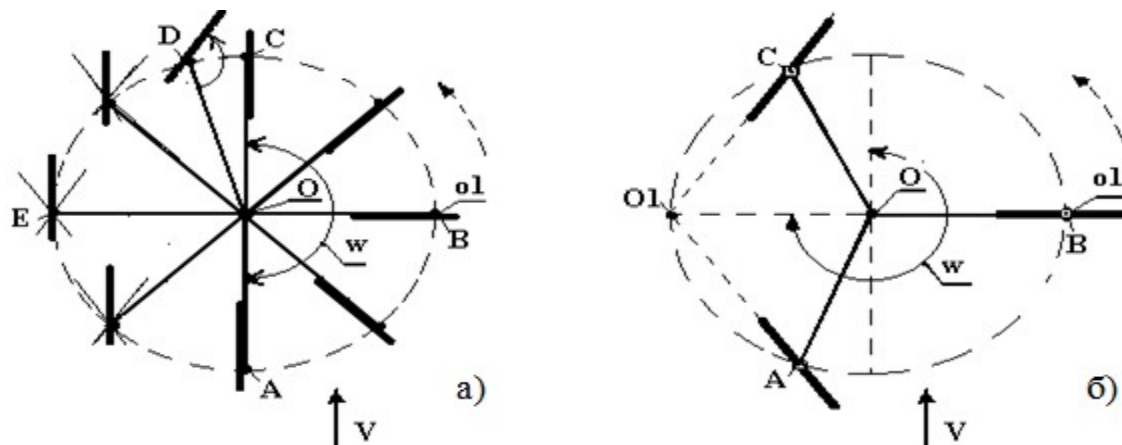


Рисунок 2.9 – ВЭУ, с лопастямидвигающимися по кругу за потоком ветра и против

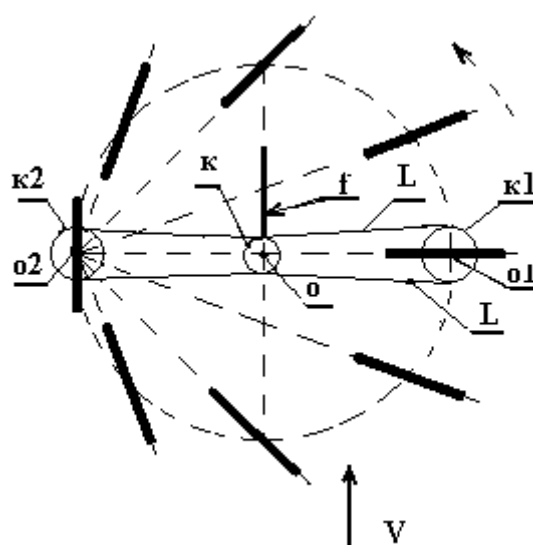


Рисунок 2.10 - Аэродинамический движитель с вертикальной осью вращения

На рисунке 2.9, а, показана аналогичная установка (вид сверху), где вал вращения с центром - O соединен с осями, на концах которых, крепятся ветроприемные лопасти, имеющие свои оси вращения - $o1$. Лопасти укреплены не симметрично относительно их осей вращения: большая по площади часть лопасти расположена ближе к центру - O в радиусе поворота - w . При прохождении лопастями оставшейся части круга - $CDEA$ происходит разворот лопастей на 180° градусов вокруг их собственных осей вращения (см. точка D на рис. 2.9, а). Крутящий момент возникает из-за разности поперечного сечения площадей лопастей при прохождении участка круга - w , равного 180° и участка $CEA=180^\circ$. После прохождения точки C набегающий поток разворачивает лопасть на 180° (точка D).

Под действием сил инерции при повороте лопасти вокруг собственной оси вращения и центробежных сил при повороте лопасти вокруг оси - O

происходит разворот лопасти на угол больший, чем 180° и лопасть оказывает сопротивление набегающему потоку, что при движении лопастей в угол поворота - СЕА приводит к возникновению колебательных движений, уменьшающих крутящий момент и возникновению шума вокруг работающей установки.

Целью изобретения является повышение коэффициента полезного действия устройства и снижение его шумовых характеристик.

Предлагаемое устройство содержит также вращающийся вал ротора, с центром вращения - O , радиально и симметрично по углу расположенные и скрепленные свалом несущие оси, на концах которых шарнирно укреплены лопасти, с центром вращения - $o1$ (см. рис. 2.9, б). Количество лопастей может быть две и более. На рисунке показан случай применения трех лопастей. Лопасти крепятся симметрично по отношению от осей вращения - $o1$, как показано на рис. 2.11, где площади правой и левой половины лопасти равны. Необходимый разворот лопастей вокруг центра вращения - $o1$ при движении по кругу с центром вращения - O (см. рис. 2.10) производится введенным следящим устройством: командоаппаратом, чувствительным к изменениям направления ветра - V .

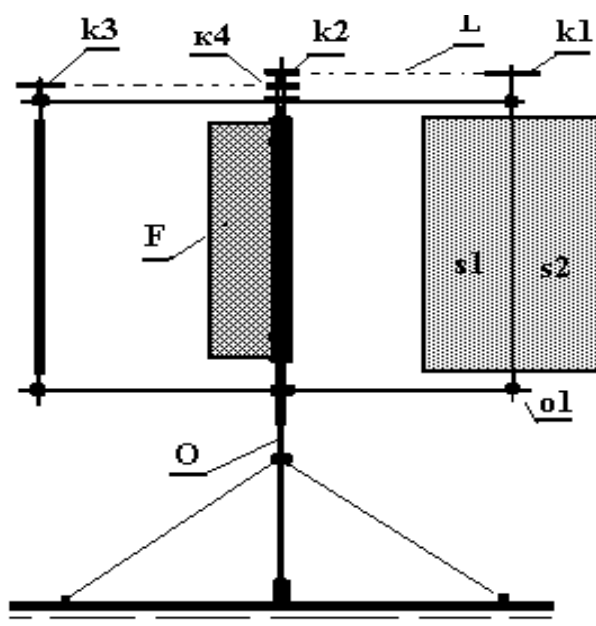


Рисунок 2.11 - Ветроприёмник со стороны набегающего потока ветра

Командоаппарат состоит из шкива - k , расположенного в центре вращения ротора - O , связанного гибкой передачей - L со шкивом - $k1$, который в свою очередь, жестко связан с осью вращения лопасти - $o1$. Центральный шкив жестко связан с датчиком направления ветра - f и может поворачиваться в зависимости от направления ветра.

На рисунке 2.11 показан вид устройства со стороны набегающего потока, где $k1, k3$ - шкивы лопастей, а $k2$ и $k4$ - центральные шкивы. Диаметры шкивов $k1$ и $k3$, а также $k2$ и $k4$ равны. При выбранном коэффициенте передачи $k/k1$, равном 0,5, обеспечивается необходимый разворот лопастей, как показано на рисунке 2.9. При начальной установке плоскости каждой лопасти вдоль оси $o2-O-o1$, при прохождении ней точки - $o1$ выполняется условие: при движении по окружности с центром - O лопасти ориентируются так, что касательные к их плоскостям образуют точку схождения - $o2$.

На рисунке 2.12 приведен вариант возможного исполнения следящего устройства - командоаппарата на шестеренчатой передаче через удлинительный вал - 2, где показано: F - флюгер, 1,3,4,7 - шестерни, s - лопасть, 6 - несущая ось, 8 - опорная мачта.

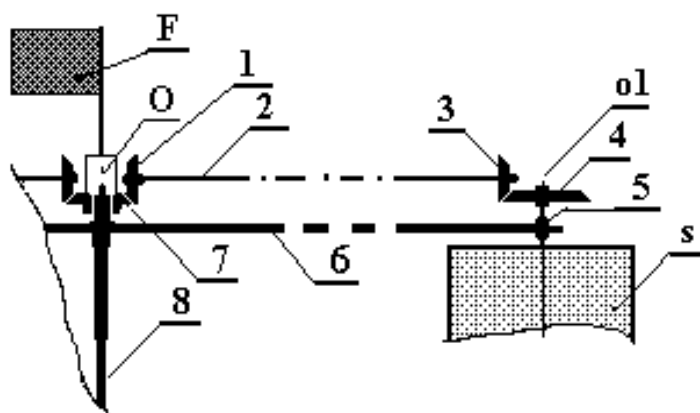


Рисунок 2.12 - Следящее устройство командо-аппарата на шестеренчатой передаче через удлинительный вал

На рисунке 2.13 приведен вариант исполнения, где вращение передается по валу - 2, пропущенному в трубе - 3, являющейся несущей осью.

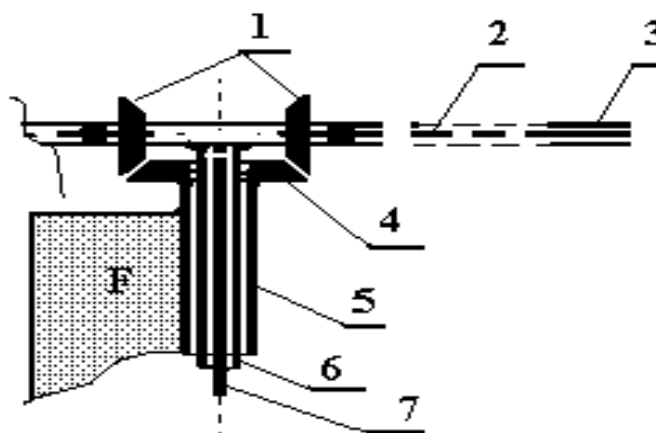


Рисунок 2.13 - Следящее устройство, где вращение передаётся по валу пропущенному в трубу

ВЭУ отличается большим КПД, т.к. вращающий момент увеличивается со 180° (рис. 2.9, а) до 270° (рис. 2.9, б) - на рисунках обозначен – w . Кроме того, в случае применения трехлопастного и более устройства, в оставшемся угле в 90° происходит затенение лопасти на не работающем участке: лопасть А затеняет лопасть С (рис. 2.9, б). Отсутствуют ударные нагрузки при поворотах лопастей. Принудительный разворот лопастей обеспечивает уменьшение шума вокруг работающего устройства.

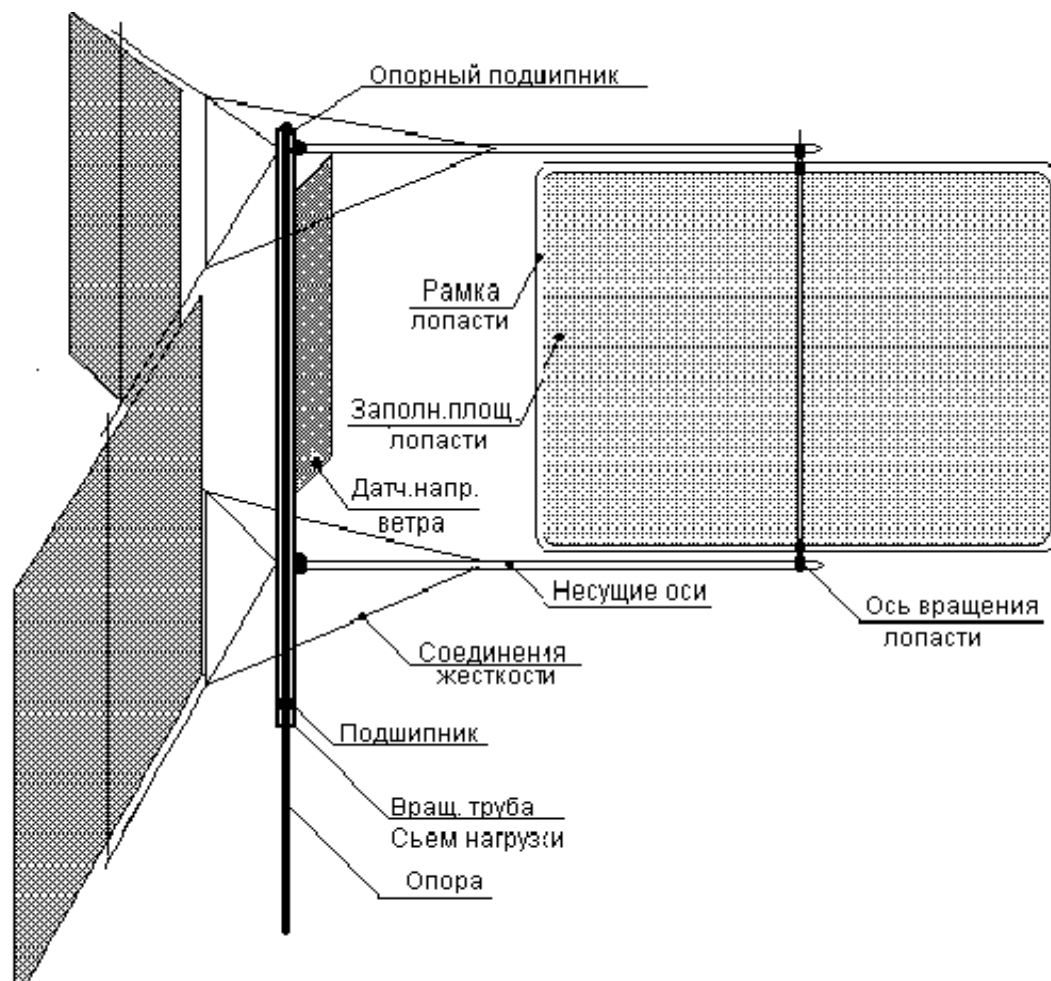


Рисунок 2.14 - Общий вид ветроэнергетической установки

Введение коррекции в передаточное отношение в зависимости от угла поворота лопасти позволяет выполнить устройство, с наперед заданными характеристиками (применение эллипсных шкивов).

Устройство может быть применено, как преобразователь движущегося потока воздушной, водной среды в механическую энергию вращающегося вала в ветро- и гидроэнергетических установках, как с вертикальным, так и горизонтальным расположением вала.

Особый интерес может представлять применение его в качестве судового движителя, как дополнительного, так и основного. В последнем случае может обеспечиваться движение судна против ветра.

Формула изобретения: 1. Роторная ветроэнергетическая установка, состоящая с вала, соединенных с ним, симметрично расположенных вокруг него несущими осями, на концах которых шарнирно укреплены ветроприемные лопасти, отличающаяся тем, что с целью увеличения коэффициента полезного действия и снижения шума работающего устройства, лопасти укреплены симметрично относительно их осей вращения, а ориентировка лопастей при их движении вокруг вала производится следящим устройством - командоаппаратом, чувствительным к изменениям направления ветра.

2.4 Основные компоненты ветроэнергетических установок промышленного применения

Ниже (рис. 2.15) приведена конструкция горизонтально-пропеллерной ветровой энергетической установки.

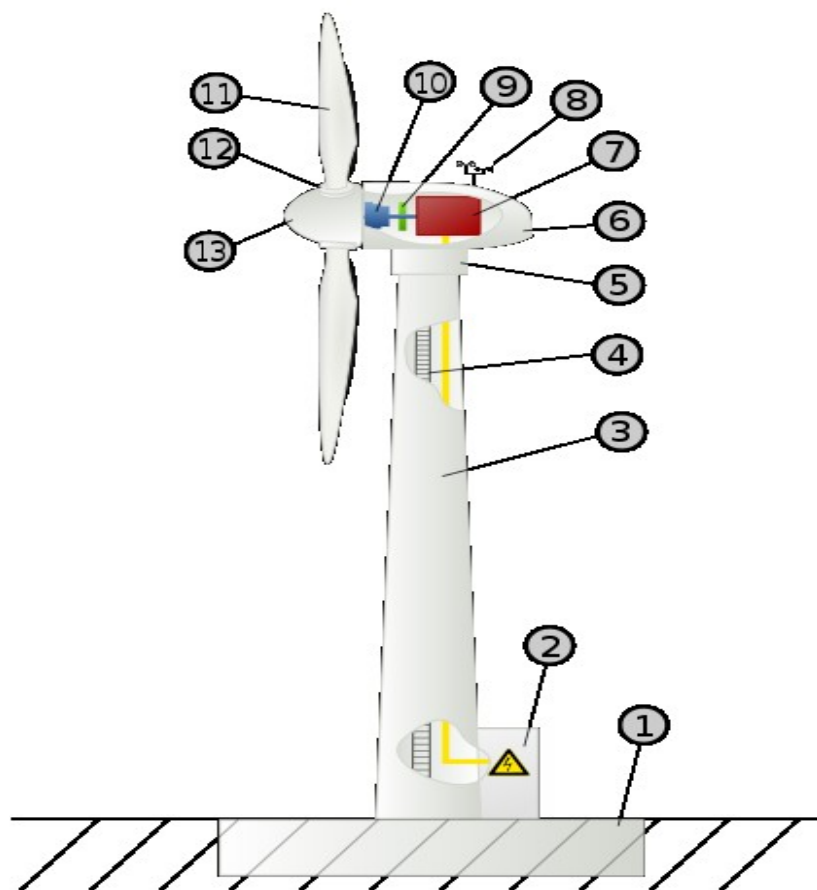


Рисунок 2.15 - ВЭУ с горизонтальной осью вращения в разрезе

Ветроколесо (ротор), преобразующее энергию набегающего ветрового потока в механическую энергию вращения оси турбины. Диаметр ветроколеса может достигать нескольких десятков метров. Частота вращения составляет от

15 до 100 об/мин. Обычно для соединенных с сетью ВЭУ частота вращения ветроколеса постоянная.

- 1) Фундамент.
- 2) Силовой шкаф, включающий силовые контакторы и цепи управления содержит устройства слежения за параметрами ветра, скоростью, направлением и в зависимости от них производит переключения режимов работы.
- 3) Башня, на которой установлено ветроколесо. Для повышения устойчивости ее иногда укрепляют стальными растяжками. У ВЭУ большой мощности высота башни достигает 75м. обычно это цилиндрические мачты, хотя применяются и решетчатые башни.
- 4) Лестница.
- 5) Механизм ориентации по ветру служит для изменения положения гондолы в зависимости от направления ветра.
- 6) Гондола; Радиатор служит для отвода тепла при превышении температуры генератора выше определенного значения. Может отсутствовать у некоторых установок.
- 7) Генератор может быть установлен как наверху, так и внизу. При нижнем расположении генератора дополнительно используется редуктор.
- 8) Система слежения за направлением и скоростью ветра (анемометр). Анемометр – прибор, измеряющий скорость и направление ветра. Данные затем передаются системе управления. Прибор может иметь различное исполнение у ВЭУ разного типа.
- 9) Тормозной механизм, включается автоматически при скоростях ветра, больших номинальной скорости ветра. При скоростях ветра близких к критической, ВЭУ полностью останавливается, и лопасти ветроколеса переводятся в защитное положение.
- 10) Вал генератора.
- 11) Лопасти.
- 12) Система изменения угла поворота лопасти.
- 13) Колпак ротора.

2.5 ВЭУ башенного типа

Принципиально, вся ветроэнергетика построена на двух элементах: источнике энергии (ветер) и приемнике энергии (ветроэнергетическая установка).

С первых шагов освоения энергии ветра и до нашего времени изобретатели занимались совершенствованием приемника энергии, а источник

энергии (ветер) воспринимался ими как данное природой и не поддающееся управлению.

Во многом именно это обусловило проявление большинства недостатков, присущих современной ветроэнергетике.

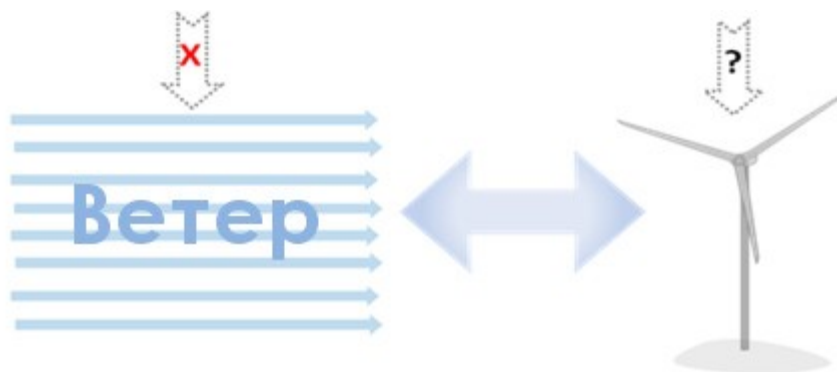


Рисунок 2.16 - Техническая система «ветер - ветроустановка»

Но в технической системе «ветер - ветроустановка», оба составляющих элемента одинаково значимы. Только управление всеми элементами системы позволяет получить высокую эффективность ее работы.

Совершенствуя приемник энергии, человек откинул идею управления воздушным потоком прочь за ненадобностью. А зря! При современном уровне технического развития управление такими системами может быть организовано очень эффективно.

Но развитие ветроэнергетики пошло другим путем. В настоящее время практически все ВЭУ работают на одном принципе: снятия энергии со свободно набегающего воздушного потока.

Разработана принципиально новая техническая система, которая позволила бы управлять как источником энергии, так и ее приемником. Таким образом, используя опыт и знания, накопленные человечеством в области строительства и эксплуатации ВЭУ, мы сможем значительно повысить эффективность работы за счет управления параметрами воздушного потока (источника энергии).

Одним из результатов многолетних исследований стала ВЭУ башенного типа. Она позволяет, с той или иной степенью эффективности, управлять всеми элементами системы «ветер - ветроустановка».

Ветроэнергетическая установка башенного типа состоит из следующих основных элементов: аппарата сбора энергии, генератора, аппарата концентрации энергии и системы управления (рисунок 2.17).

Аппарат сбора энергии выполнен в виде вертикального цилиндра, стенки которого собраны из профилированных поверхностей, образующих сквозные

каналы, соединяющие внешнюю поверхность цилиндра с его внутренним вертикальным каналом (входные конфузорные каналы). Их задача - «захватить» набегающий воздушный поток, развернуть его вверх вдоль вертикальной оси установки и направить на лопасти генератора.

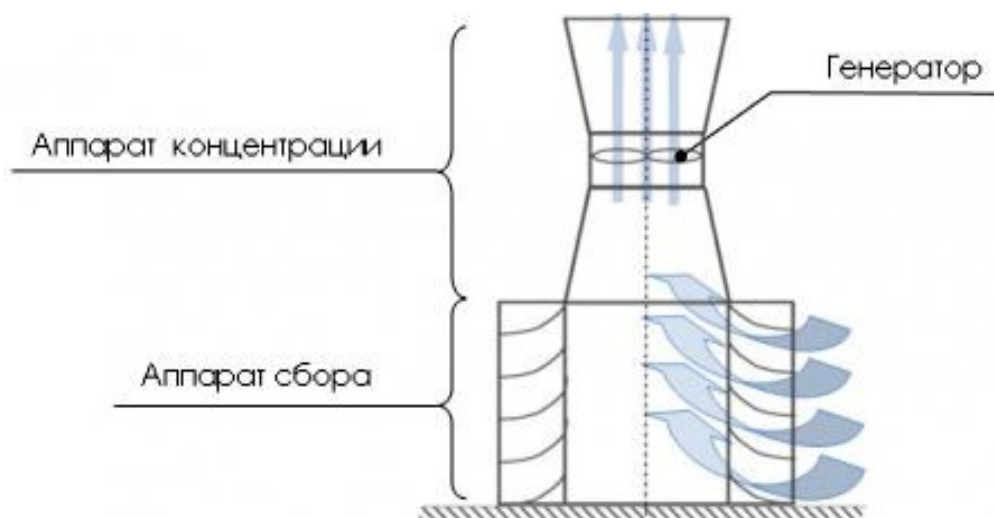


Рисунок 2.17 - Принципиальная схема конструкции башенной ветроустановки

Генератор с лопастями размещен внутри аппарата концентрации энергии. Генератор преобразует кинетическую энергию воздушного потока в электрическую энергию.

Аппарат концентрации энергии конструктивно выполнен в виде вертикальной трубы, внутреннее сечение которой плавно уменьшается к центру, где и расположен генератор. Внутренний объем этой трубы является продолжением внутреннего вертикального канала аппарата сбора энергии. Такая конструкция данного узла позволяет повысить концентрацию кинетической энергии воздушного потока на лопастях генератора.

Система управления (на рисунке не показана) обеспечивает своевременное открытие конфузорных каналов башни со стороны набегающего внешнего воздушного потока и закрытие всех остальных конфузорных каналов.

Принципиальные отличия башенной конструкции от ВЭУ, преобразующих энергию свободно набегающего воздушного потока:

1. Она позволяет управлять энергией воздушного потока, путем ее концентрации на лопастях генератора.

2. Отпадает необходимость в настройке лопастей ротора генератора «на ветер». Генератор, с вертикальной осью вращения, стационарно установлен в верхней части установки. Ветер сам «настраивается» на генератор благодаря конструкции аппарата сбора энергии.

3. Значительно повышается мощность воздушного потока, приходящая на лопасти ротора генератора. Конструкция аппарата концентрации энергии позволяет повышать скорость воздушного потока во внутреннем вертикальном канале установки и соответственно, повышать его мощность.

Проведенные экспериментальные исследования моделей в аэродинамической трубе (рисунок 2.18) показали увеличение выработки энергии генератором, установленным в башне более чем в 4 раза, а для малых скоростей воздушного потока – более чем в 10 раз (рисунок 2.19 и 2.20).

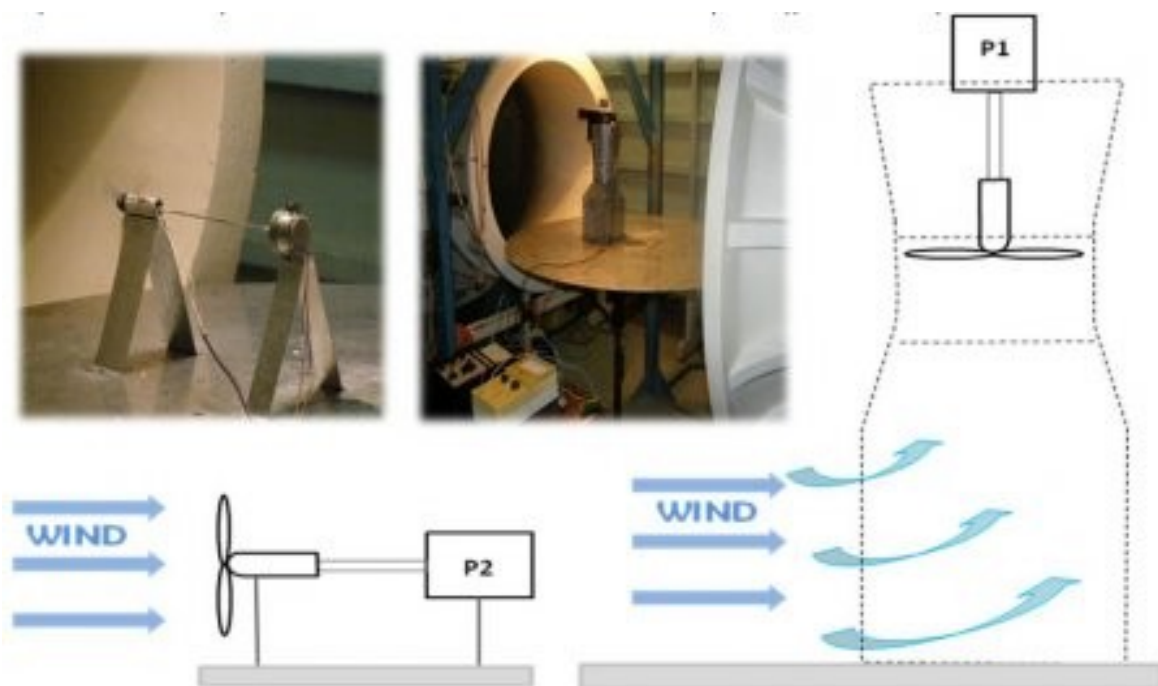


Рисунок 2.18 - Схема сравнительных лабораторных испытаний ветроустановки башенного типа

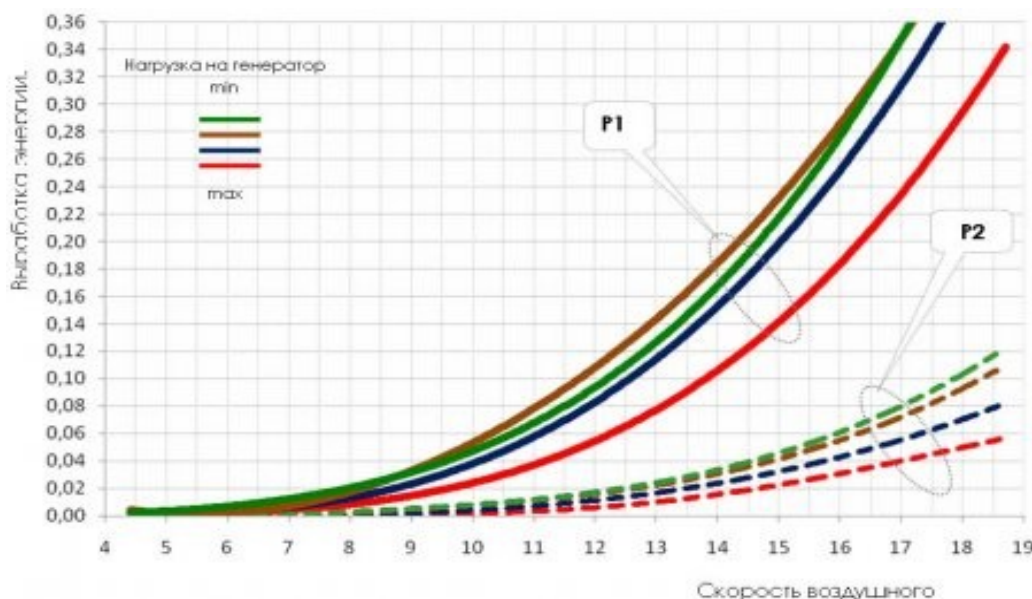


Рисунок 2.19 - Выработка электрической энергии генератором

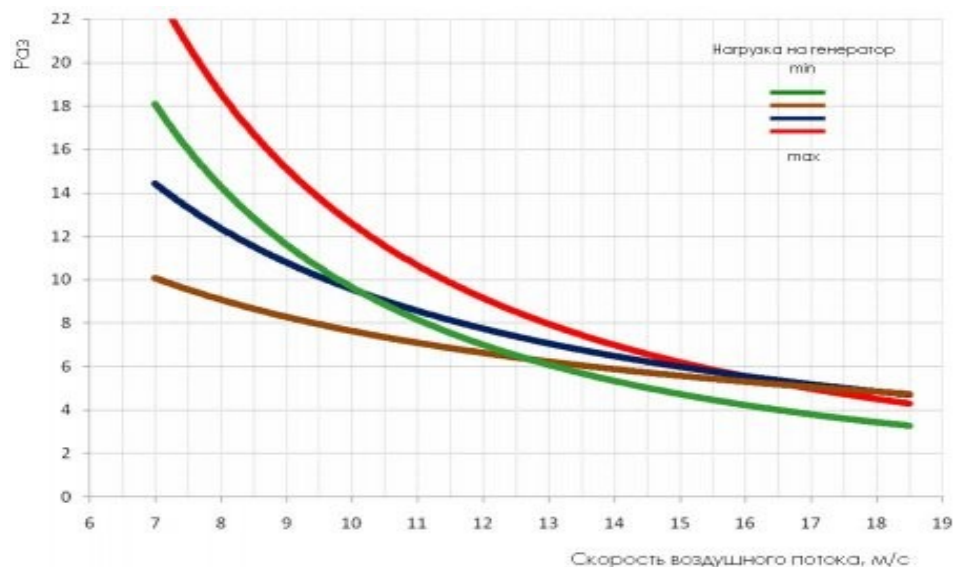


Рисунок 2.20 - Относительное увеличение выработки энергии при размещении генератора в башне

Для подтверждения полученных лабораторных результатов была построена опытно-экспериментальная установка в масштабе 20:1. Схема испытаний - сравнительная (аналогична используемой в лаборатории), представлена на рисунке 2.21.

В сравнительных испытаниях на полигоне использовались генераторы на постоянных магнитах СВ-1.2/30.

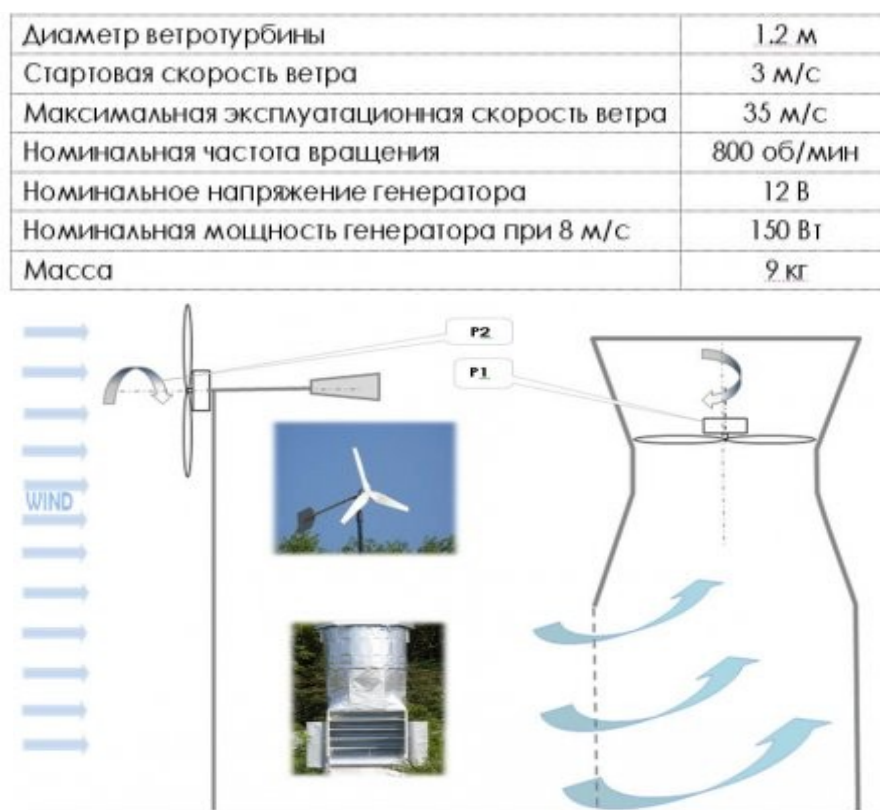


Рисунок 2.21 - Схема сравнительных испытаний в условиях полигона

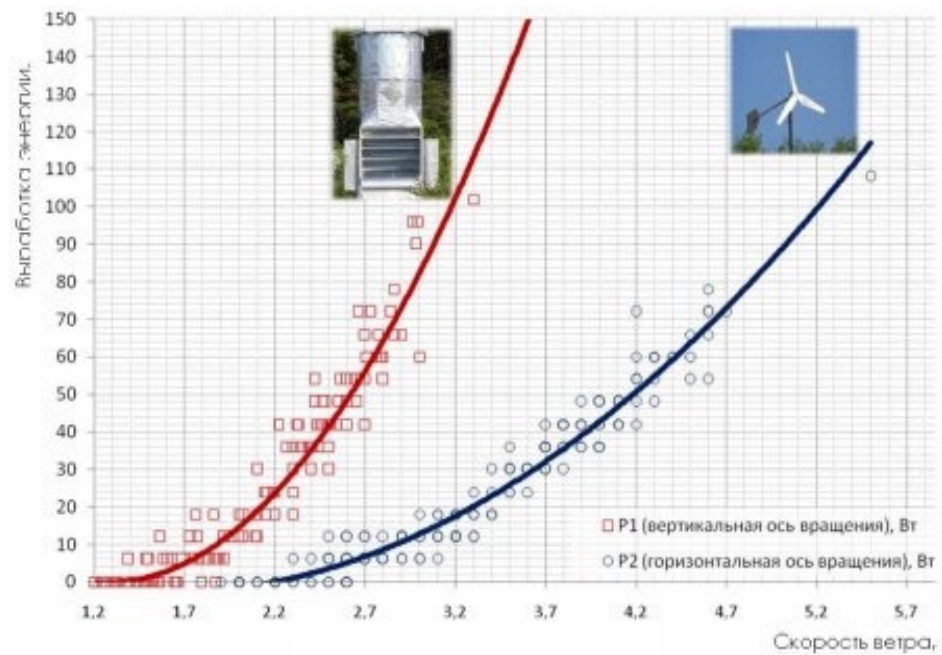


Рисунок 2.22 - Выработка электрической энергии генераторами

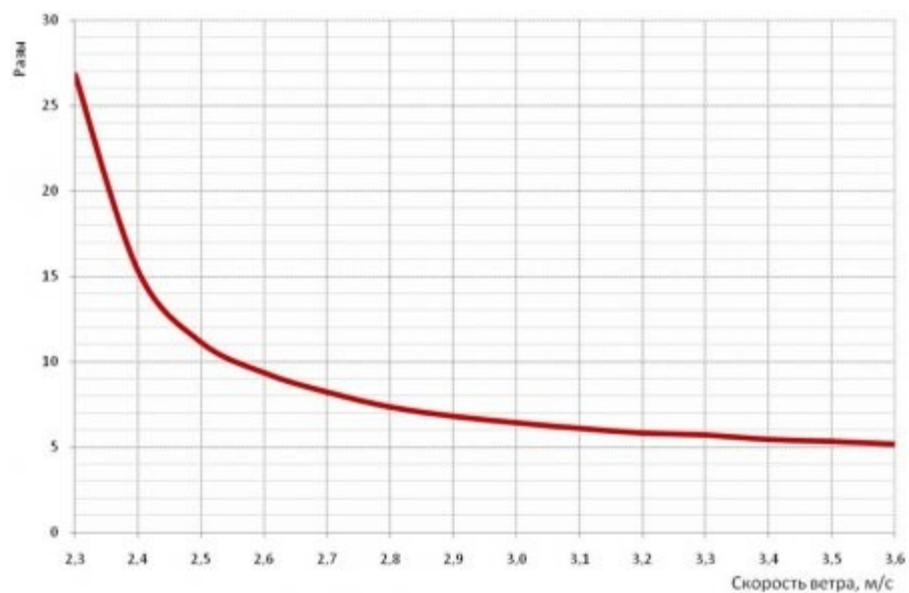


Рисунок 2.23 - Относительное увеличение выработки энергии генератором в башне

Анализ полученных результатов показывает значительный рост эффективности работы генератора при его размещении в башне — концентраторе:

- Стартовая скорость ветра в два раза ниже по сравнению с традиционными конструкциями;
- Скорость ветра, при которой генератор работает в номинальном режиме - в 2 раза ниже;

- Коэффициент использования установленной мощности может достигать значения 0,6...0,7 (получено расчетным путем);
- В 2-3 раза выше объем вырабатываемой энергии;
- Объем выработанной энергии с единицы площади ометаемой поверхности, для всех диапазонов скоростей воздушного потока, вырос более чем в 5 раз, а в диапазоне низких скоростей - более чем в 10 раз.
- Отвод земли на единицу установленной мощности, у ветроустановки башенного типа, самый низкий из всех видов генерации.



Рисунок 2.24 - Принцип концентрации энергии ветра в башенной ВЭУ

Конструктивные особенности новой ветроустановки позволяют устранить многие недостатки, присущие ВЭУ традиционной конструкции:

1. Шумы и вредные для человека излучения, которые могут возникать в процессе работы генератора башенной ветроустановки, не выходят за конструктивные габариты установки. Это достигается благодаря тому, что генератор с лопастями расположен внутри ее вертикального канала. Современные материалы позволяют эффективно гасить или поглощать все вредные шумовое и вибрационное излучение. По этой же причине генератор и лопасти БВЭУ не будут помехой распространению теле – и радиосигналам.

2. Установка не наносит вред птицам. Предотвращение попадания птиц на лопасти генератора можно предотвратить за счет установки защитных сеток на входе в конфузорные каналы. Для предотвращения столкновения птиц с БВУ в ночное время суток, ее внешняя поверхность освещается. Это позволит улучшить и зрительное восприятие башни ВУ.

Башенная конструкция ветроустановки, по своим техническим характеристикам, значительно превосходит все современные ВЭУ традиционной конструкции, работающие со свободно набегающим потоком воздуха.

Ветроустановки башенного типа - достойная замена ВЭУ традиционной конструкции.

- Они могут работать при более низких скоростях ветра.

- Позволяют в значительно увеличить количество вырабатываемой электроэнергии.
- Их эффективность никак не ниже традиционных станций генерации электроэнергии, использующих углеродное топливо: газ, уголь, мазут, нефть, а экологическая чистота производства электроэнергии не имеет аналогов.
- БВЭУ очень эффективно могут работать в регионах с малыми скоростями ветра.
- Отвод земли на единицу мощности для ВЭУ башенного типа самый низкий из всех видов генерации.
- Благодаря своей компактности, такие установки могут служить автономным и самодостаточным источником энергии.

2.6 Ветроэнергетическая установка роторного типа

2.6.1 Узлы ветроэнергетической установки

Ниже (рис. 2.25) приведена конструкция роторной ветроэнергетической установки.

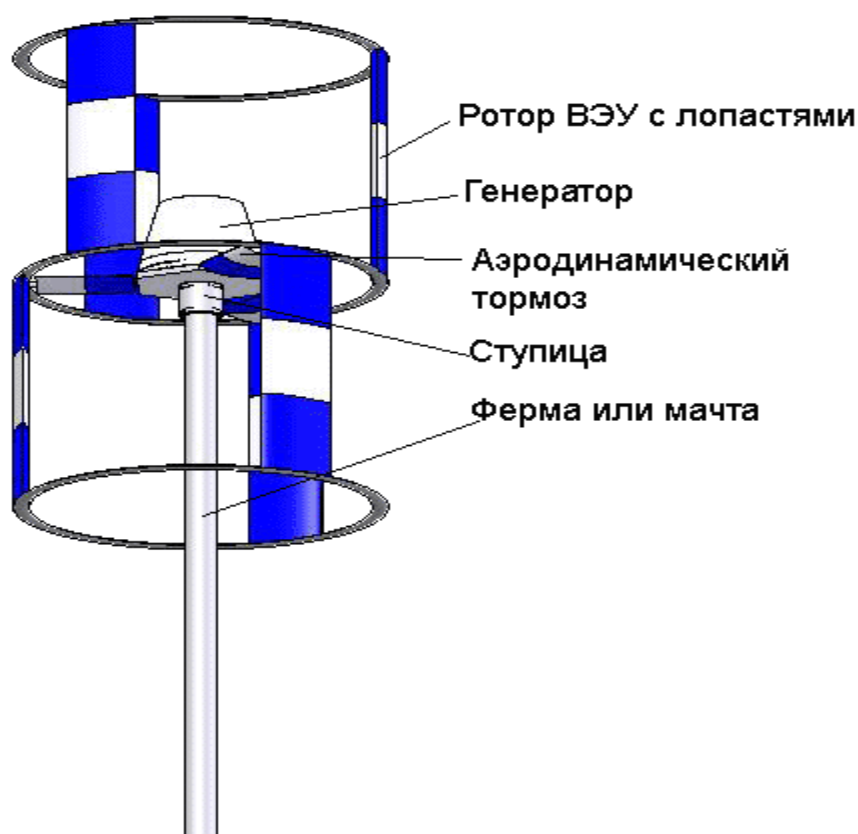


Рисунок 2.25 – Конструкция ВЭУ роторного типа

В результате совместной работы российских и американских ученых была открыта самая оптимальная форма лопасти.

Оригинальная форма ротора в совокупности с оптимальным профилем лопастей дают реальный КПД до 38 % (идеальный 42%) при любом направлении ветра.



Рисунок 2.26 - Форма закрылки лопастей ВЭУ

Лопастей установок мощностью свыше 30 кВт комплектуются специальными закрылками (рис.2.26), которые по оценкам специалистов в области аэродинамики позволяют еще увеличить КПД (в идеале до 62%).

Верхом научно-технических разработок явился запатентованный ветро-ротор (ветроколесо) ветроэнергетической установки. К его достоинствам можно отнести самораскрутку на 3.5 м/сек, плавную работу за счет смещения верхних лопастей относительно нижних на 60 градусов, оптимальный угол атаки лопастей. Одним из основных достоинств ротора считается то, что данная конструкция "ловит" порывы ветра. Т.е. при замерах анемометра средняя скорость ветра может составить 3 м/сек, а ротор ВЭУ будет крутиться так, как будто бы скорость ветра 6 м/сек.

Скорость вращения ВЭУ по достижении 180 оборотов в секунду при дальнейшем усилении ветра стабилизируется за счет аэродинамических тормозов. Благодаря этому ВЭУ не идет "вразнос". Для работы в холодных условиях, например в районах Крайнего Севера лопасти ВЭУ комплектуются специальной углепластиковой пленкой, предотвращающей обледенение поверхности лопастей. Ступица содержит специально сконструированную систему подшипников, позволяющую предельно уменьшить потери от момента сопротивления.



Рисунок 2.27 - Генератор

Генератор ВЭУ выпускается в нескольких модификациях и представляет собой тихоходную высокоэффективную электрическую машину. Регулятор генератора выдает 24, 48 или 96 В постоянного тока на выходе.

В виде инвертора может быть использован практически любой прибор, преобразующий постоянный ток 24, 48, 96 В, в переменный с напряжением 220В/50Гц.

Однако необходимо помнить, что, как правило, недорогие инверторы на выходе выдают ток не синусоидальной, а прямоугольной формы, что не всегда хорошо сказывается на некоторых чувствительных электронных приборах (гасящие конденсаторы и т.п.).

Поэтому лучше приобретать инвертор, который точно удовлетворяет характеристикам ваших приборов. Для этого лучше посоветоваться со специалистом или приобрести проверенные инверторы у производителя или поставщика ВЭУ.

В качестве аккумуляторов для ВЭУ используются обычные автомобильные АКБ (12В). Инвертор также может использоваться покупной или специального исполнения.

Монтаж ВЭУ несложен и может производиться при наличии определенных знаний в области монтажа механических и электрических изделий (сборка ВЭУ на мачте, протяжка и подключение электропроводки, запуск).

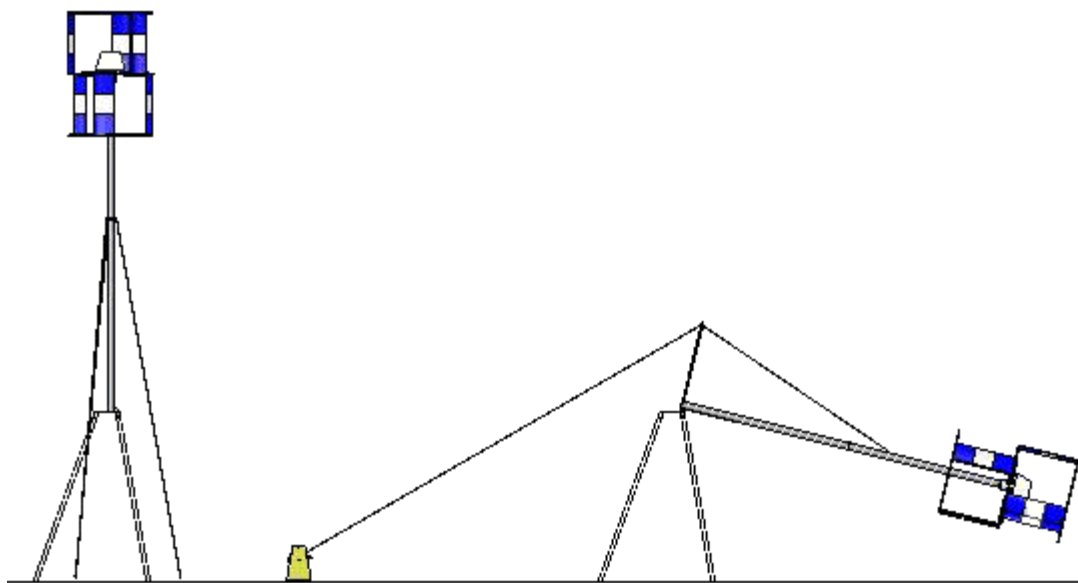


Рисунок 2.28 - Принцип монтажа ветроэнергетической установки

Монтаж ветро-ротора и его обслуживание проводится на земле. Мачта состоит из двух частей, соединенных между собой шарниром. Нижняя часть неподвижна и стоит вертикально. Для сборки или обслуживания верхняя часть,

несущая ветро-ротор, наклоняется. При этом ветро-ротор оказывается почти на земле, где и проводится монтаж, демонтаж или обслуживание.

Возможна сборка ВЭУ с помощью специального приспособления и постепенного подъема монтируемой по шагам ветроэнергетической установки вверх.

Возможна сборка при помощи подъемных кранов, погрузчиков и т.п.

Тем не менее, не надо забывать, что ветроэнергетическая установка является сложной машиной с высоковольтными выводами, поэтому мы рекомендуем проводить монтаж, обслуживание и демонтаж силами специально обученных специалистов во избежание травматизма.

2.6.2 Дополнительное полезное оборудование

ВЭУ является источником питания для дополнительного оборудования.

Водоочистительная установка служит для подачи воды, пригодной для питья и служащей исходным сырьем для водородной установки.

Водородная установка служит для разделения воды на водород и кислород, с последующим использованием водорода в двух целях:

- источник выработки электроэнергии в период безветрия и бездействия ВЭУ;

- топливо для автомобиля и других агрегатов;

Разработки роторной ВЭУ охватывают широкий спектр уникальной, полезной, бытовой и промышленной техники.

2.6.3 Электрооборудование

Ветроэнергетическая установка на выходе электронного регулятора имеет 24, 48 или 96 вольт постоянного тока. Такое напряжение можно использовать для обогрева зданий, питания водных насосов, освещения и т.д.

Тем не менее, в основном ВЭУ используется обычными потребителями, пользующимися напряжением 220 вольт переменного тока с частотой 50 Гц. Для этого к выходу электронного регулятора необходимо подключить соответствующее устройство преобразования.

ВЭУ может работать совместно с рядом других устройств:

- инвертор 24В - 220В/50Гц, преобразующий постоянное напряжение в переменное,

- аккумуляторные батареи, служащие для осуществления бесперебойного энергоснабжения в безветренную погоду

- дизель или бензо-генератор для увеличения пиковой подачи электроэнергии или подстраховки бесперебойного питания на основе батарей.

Принципиальная электрическая схема взаимодействия ВЭУ и различных устройств может совершенствоваться бесконечно.

Базовая схема включает в себя ВЭУ, инвертор, батареи, дизель-генератор.

Схема может использовать двойное преобразование от дизель-генератора и сети (переменный – постоянный – переменный ток) для подачи бесперебойного питания потребителю. В этом случае потребитель не чувствует даже малейших перепадов в питании при переключении с одного источника питания на другой (например, с ВЭУ на дизель-генератор и т.д.).

2.6.4 Инверторы и аккумуляторные батареи

При наличии ветра ветро-ротор, состоящий из лопастей, закрепленных между кольцами, вращается и приводит в движение генератор, который с помощью электронного регулятора вырабатывает постоянный электрический ток с напряжением 48 вольт.

Далее постоянный ток с помощью инвертора преобразуется в переменный ток с напряжением 220В/50Гц и поступает непосредственно потребителю.

Аккумуляторные батареи, как правило, включены параллельно с кабелем выхода генератора через устройство контроля заряда и подпитывают инвертор в случае отсутствия ветра. Выход инвертора подключается к клеммам, от которых должна идти внутренняя разводка по помещению потребителя.

Ветроэнергетическая установка стартует (самораскручивается) при порывах ветра 3.5 метра в секунду (в это время анемометр может показать более низкую среднюю скорость ветра). Выработка энергии, начинается при скорости ветра 4 м/сек.

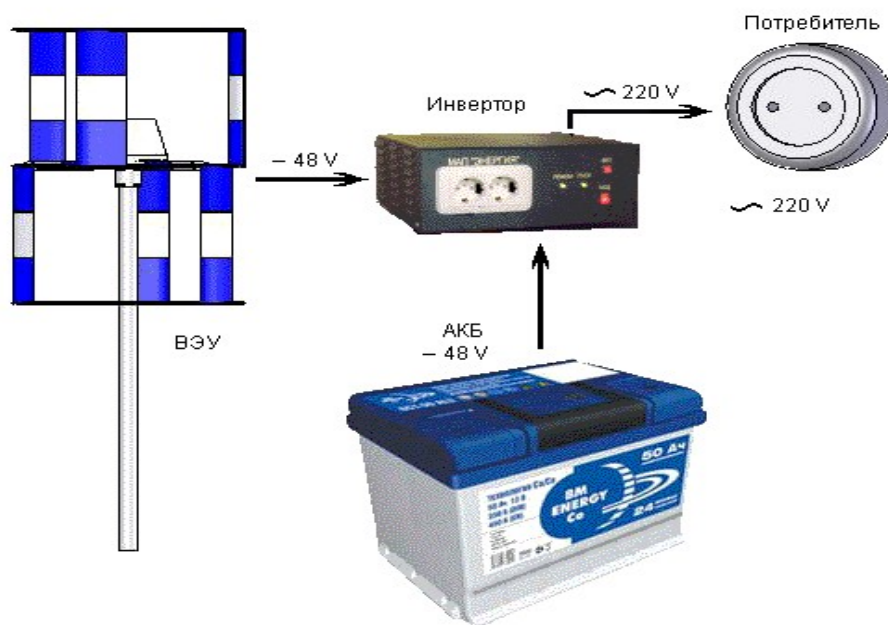


Рисунок 2.28 - Принцип подачи энергии потребителю от роторной установки

Допустим, используется ВЭУ с выходом 24 В постоянного тока. При этом 12-вольтовые аккумуляторы подключены параллельно выходу ВЭУ, по два последовательно.

Допустим, пиковое потребление энергии средней квартиры или дома составляет 3 кВт. Этот пик продолжается в течение 1 часа утром и 2 часов вечером.

Во время пикового потребления нагрузка потребляет $3000 \text{ Вт} / 24 \text{ В} = 125 \text{ А}$ ток.

Значит, для поддержания питания в течение 2 часов необходимо иметь $125 \text{ А} \times 2 \text{ часа} = 250 \text{ А} \cdot \text{ч}$ ёмкости.

Допустим, в магазине можно приобрести аккумуляторные батареи на $75 \text{ А} \cdot \text{ч}$. Тогда для покрытия пикового энергоснабжения необходимо $250 \text{ А} \cdot \text{ч} / 75 \text{ А} \cdot \text{ч} = 3.3$ комплекта батарей (по 2 последовательно соединенных АКБ).

Однако батарею нельзя использовать более чем на 80%. Следовательно, реальное количество батарей должно быть $3.3 \text{ АКБ} / 0.8 = 4.1 \text{ АКБ}$.

КПД (эффективность) инвертора составляет обычно 85%, т.о. часть энергии уйдет на потери в этом приборе. С учетом данных потерь необходимо иметь $4.1 \text{ АКБ} / 0.85 = 5 \text{ АКБ}$.

Т.о. для бесперебойного энергоснабжения данного потребителя необходим комплект из $5 \times 2 = 10$ аккумуляторных батарей.

Совсем не нужно пугаться этого количества батарей. Во-первых, это небольшие деньги - около 50 тыс. руб., \$380 или 300 Евро - и не надо никогда платить за электричество! Во-вторых, объем не такой уж большой, особенно если речь идет о загородном доме. И, наконец, существуют крупные дорогие батареи, которые в количестве 1-2 шт. могут заменить все 12 обычных автомобильных аккумуляторов. На основании данных расчетов можно самостоятельно подсчитать необходимое количество аккумуляторов в соответствии с пиковыми потребностями, характерными для конкретного жилища или офиса.

Во время минимального потребления (днем и ночью) при наличии ветра ВЭУ будет заряжать аккумуляторы. Скорость зарядки батарей зависит от мощности, вырабатываемой ВЭУ, а значит, от силы ветра.

Можно легко посчитать, что ВЭУ-3 на скорости ветра 6 м/с будет выдавать 0.7 кВт/час, или $0.7 \text{ кВт} \times 12 \text{ час} = 8.4 \text{ кВт}$ за день и столько же за ночь, что достаточно для утренних и вечерних пиковых потреблений.

Тем не менее, понятно, что чудес не бывает и в любом месте Земного шара существуют безветренные дни. Конечно, весьма неэкономично для нескольких дней в году приобретать, более, крупную ВЭУ или большее число аккумуляторов. Для большинства людей простейшим решением может служить бережное, экономичное потребление энергии в такие дни. А для тех, кто не

хотел бы экономить, необходимо выяснить среднегодовую продолжительность максимального количества безветренных дней и посчитать необходимое количество аккумуляторов.

Допустим, максимальный промежуток безветренных дней в году в конкретном регионе составляет 5 дней летом (при потреблении 10 кВтч в сутки) и 3 дня зимой (при потреблении 20 кВтч в сутки). Конечно, необходимо взять для расчетов зимний период, т.к. энергопотребление более высокое. Т.о. 3 дня х 20 кВтч в сутки = 60 кВтч. Для того, чтобы получить 60 кВтч, необходимо иметь в запасе $60.000 \text{ Вт} / 24 \text{ В} = 2500 \text{ Ампер-часов}$. Однако батарею нельзя использовать более чем на 80%. Следовательно, реальный запас электроэнергии должен быть $2500 \text{ Ампер-часов} / 0.8 = 3125 \text{ Ампер-часов}$. КПД (эффективность) инвертора составляет обычно 85%, т.о. часть энергии уйдет на потери в этом приборе.

Т.о. изначально необходимо иметь $3125 \text{ Ампер-часов} / 0.85 = 3680 \text{ Ампер-часов}$. Обычный автомобильный аккумулятор средней мощности имеет емкость 75 Ампер-часов. Это означает, что необходимо иметь $3680 \text{ Ампер-часов} / 75 \text{ Ампер-часов} = 50$ комплектов аккумуляторных батарей (или 100 АКБ). Как видно из расчетов, такое количество батарей хоть и решит проблему энергоснабжения, но потребует более крупную ВЭУ, чтобы осуществить зарядку батарей до наступления пика потребления. А это выливается в серьезные денежные затраты. Так не лучше ли всего лишь 3-5 дней в году пожить в экономичном режиме?

Необходимо заметить, что аккумуляторы обладают свойством остаточной ёмкости. Т. е., например, используя аккумулятор 75 А/ч, можно включить электроплиту мощностью 1 кВт в течение 40 мин., после чего инвертор отключится. Если уменьшить нагрузку до 500 Вт (подключить, к примеру, телевизор) - можно получать энергию ещё столько же. Затем можно подключить 300 Ваттную дрель, а потом 130 Вт краскопульт, далее 60 Вт паяльник и, наконец, 30 Вт лампочку. Но даже в этом случае невозможно "вычерпать" свыше 80% от максимальной ёмкости аккумулятора. "Вычерпывание" 100% не рекомендуется, т. к. ресурс аккумулятора в этом случае сокращается. Из вышеприведенного примера совсем не следует что эти (и другие) нагрузки нельзя включить все сразу. Просто количество времени, которое будут работать все одновременно включенные приборы, будет меньше.

Рекомендуется покупать полностью необслуживаемые аккумуляторы. И дело здесь не только в том, что отпадает необходимость периодически проверять электролит и доливать дистиллированную воду (в обслуживаемые АКБ рекомендуется доливка дистиллированной воды хотя бы раз в месяц, в малообслуживаемом аккумуляторе для контроля уровня электролита и доливки воды сохранены пробки, однако контроль уровня и его корректировку

достаточно осуществлять раз в год). Широко распространенные кислотные аккумуляторы, выполненные по классической технологии, доставляют много хлопот и оказывают вредное влияние на людей и аппаратуру. Они наиболее дешевы, но требуют дополнительных затрат на их обслуживание, специальных помещений и персонал. Наиболее удобными и безопасными из кислотных аккумуляторов (особенно, для эксплуатации в помещении), являются абсолютно необслуживаемые герметичные аккумуляторы.

2.6.5 Мачты

Мачта для ветроэнергетической установки выбирается исходя из географических условий. Например, ВЭУ может быть расположена без мачты на короткой стойке или ферме на крыше дома.

Мачта может располагаться в отдельном месте на мачте высотой 12, 16, 20 и более метров, по желанию потребителя.

ВЭУ могут монтироваться на мачтах над и под мостами и другими прочными конструкциями.

Вместо мачты могут использоваться существующие элементы металлических конструкций, и даже мачты сотовых ретрансляторов. В этом случае конструкция ВЭУ является обрачаемой и претерпевает некоторые изменения, что не отражается на мощности но несколько увеличивает цену.

Мачта может быть раздвижной, автоматически приводимой в действие с помощью особых пневмо-приводов.

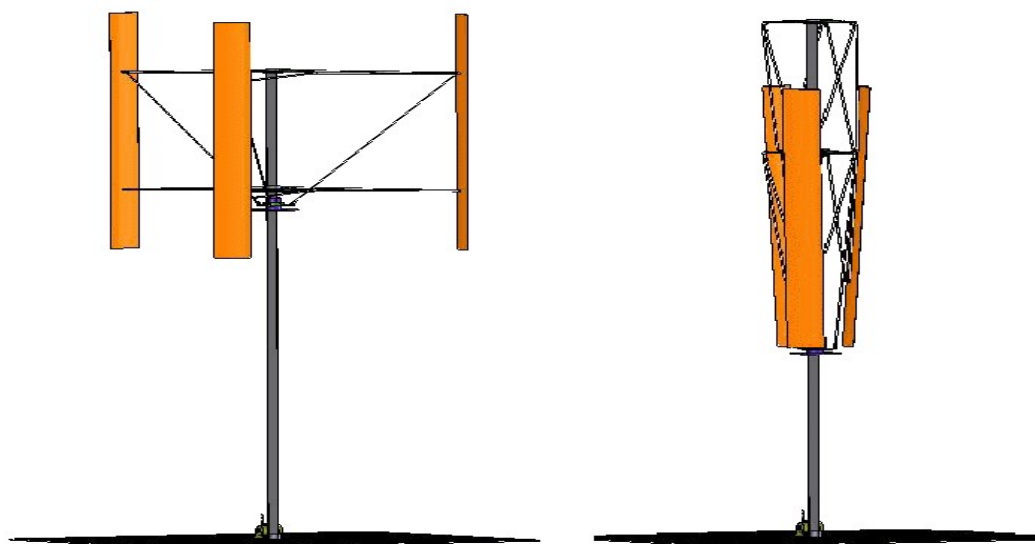


Рисунок 2.29 - Раздвижная мачта ВЭУ роторного типа

При использовании мачты-трубы можно сэкономить на фундаментных работах, т.к. мачта устанавливается в любом месте на растяжках-тросах или цепях, которые занимают определенное место на территории вокруг установки.

Мачта-ферма занимает меньше места, однако строительно-фундаментные работы по подготовке площадки для размещения такой мачты в разных регионах оцениваются по разному, следовательно, необходимо подсчитать, какой из типов мачт наиболее удовлетворяет условиям данного региона или запросам потребителя.

2.7 Гибридная энергетическая система

Гибридная энергосистема подразумевает использование ВЭУ совместно с другими источниками энергии (дизель-генератор, солнечные модули, микро ГЭС и т.п.). Эти источники энергии дополняют ВЭУ с целью обеспечения бесперебойного электроснабжения потребителя в безветренную погоду.

2.7.1 Ветро-дизельные системы

Ветро-дизельная система состоит из ВЭУ и дизель-электрической системы (ДЭС) с оптимально подобранными мощностями. Обычно дизель-генератор используется в сочетании с ВЭУ в случае, когда целью использования последней является экономия дизельного топлива, стоимость которого с учетом расходов на доставку может быть очень высокой. Соотношение мощности компонентов системы зависит от схемы генерирования нагрузки и ресурсов ветра. Режим одновременной параллельной работы ВЭУ и ДЭС оценивается как недостаточно эффективный способ использования ВЭУ, поскольку доля участия ветроагрегата в системе по мощности не должна превышать 15-20 % от мощности дизель-генератора. Такие режимы можно использовать для экономии топлива в гибридных установках большой мощности. Использование режима раздельной работы ВЭУ и ДЭС позволяет поднять долю участия ветроэнергетической установки до 50-60% и более. Однако, в этом случае неизбежно усложнение системы за счет необходимости введения системы управления, инверторного оборудования и АКБ, которые аккумулируют энергию, вырабатываемую ветроагрегатом при рабочих скоростях ветра для питания нагрузки в безветренную погоду или при небольших скоростях ветра [Л33].

В комплект ветро-дизельной энергоустановки (ВДЭУ) входят: ветроагрегат и контейнер МК, в котором установлены:

- дизельный агрегат;
- батарея аккумуляторная АБ-220;
- инверторный агрегат питания (АП);
- система пожарной сигнализации;
- система освещения и обогрева.

Блок-схема ВДЭУ приведена на рис. 2.30.

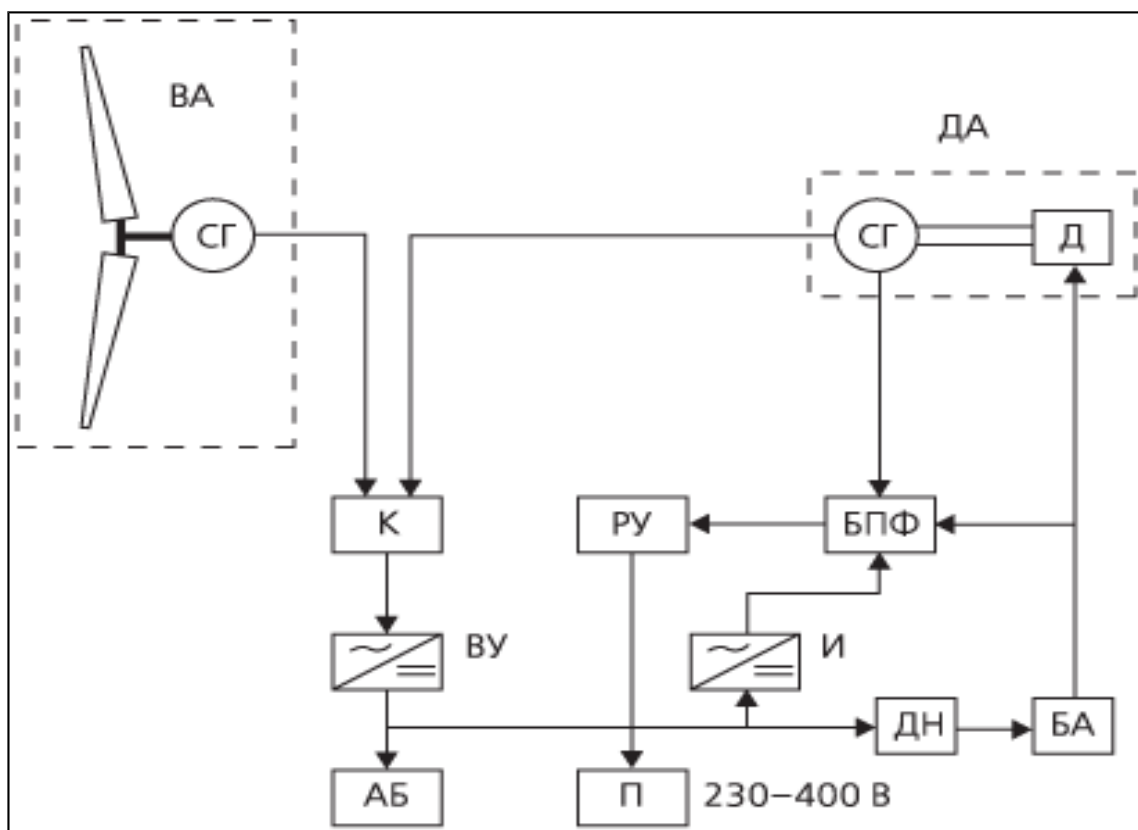


Рисунок 2.30 - Блок схема ветро-дизельной установки

Установка работает следующим образом. Электрическая энергия, вырабатываемая ветроэнергостанцией (ВА), поступает на коммутатор (К) и выпрямительное устройство (ВУ), обеспечивающее заряд аккумуляторной батареи (АБ) и питание инвертора (И). Инвертор формирует трехфазное напряжение 230–400 В частотой 50 Гц, которое через блок переключения фидеров (БПФ) поступает на распределительное устройство (РУ) и далее к потребителям энергии (П). Если выработка электроэнергии, поступающей от синхронного генератора (СГ), становится ниже уровня потребления, то дефицит мощности покрывается за счет разряда аккумуляторной батареи. При разряде аккумуляторной батареи до уровня 170 В датчик напряжения (ДН) срабатывает и блок автоматики (БА) выдает команду на запуск дизеля (Д). Дизель запускается, и через коммутатор (К) обеспечивается подача напряжения от синхронного генератора дизельного агрегата (ДА) на выпрямительное устройство. В конце заряда аккумуляторной батареи от дизельного агрегата при достижении уровня напряжения 260–270 В датчик напряжения срабатывает, блок автоматики выдает сигнал на останов дизельного агрегата с переключением подачи питания на коммутатор вновь от ветроагрегата.

Несмотря на высокую номинальную быстроходность ветроколеса ($Z_n = 10-11$), ВЭУ уверенно разгоняется на холостом ходу при скорости ветра $V \approx 4$ м/с и останавливается лишь при скорости ветра $V < 2,5$ м/с.

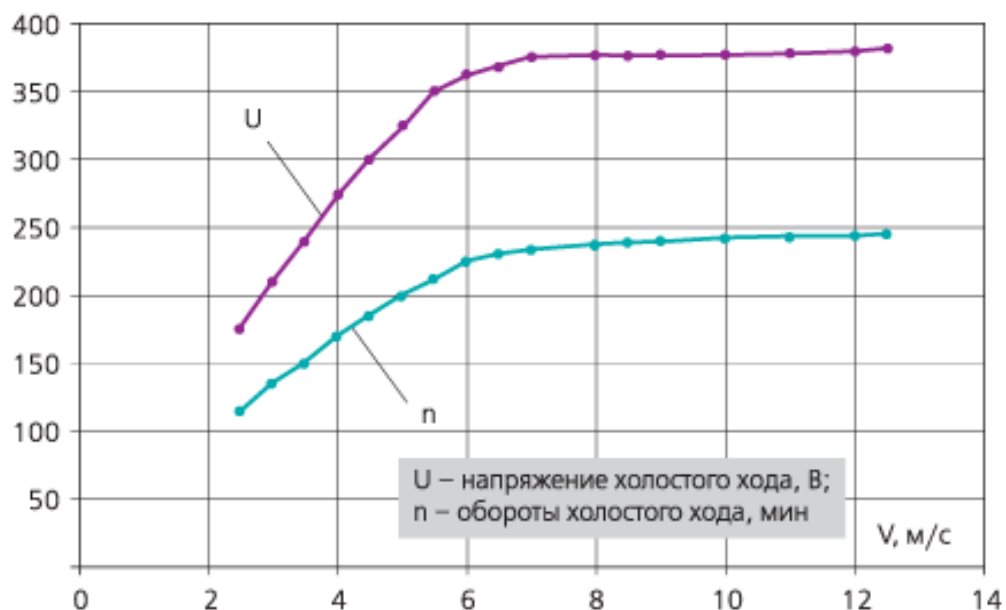


Рисунок 2.31 - Характеристика холостого хода ветроустановки

Ограничение частоты вращения ветроколеса осуществляется регулятором частоты вращения центробежно-аэродинамического типа благодаря выводу лопастей на отрицательные углы установки (рис. 2.32). Ограничение частоты вращения ветроколеса обеспечивается настройкой регулятора на уровне $n \approx 250$ об/мин. Безредукторный вариант исполнения стал возможен благодаря применению низкооборотного магнитоэлектрического генератора.



Рисунок 2.32 - Характеристика холостого хода ветроустановки

Ориентация ветроколеса по направлению ветра производится самоустановкой благодаря расположению ветроколеса за «башней».

Впервые в ветроэнергетике фундамент ВЭУ мощностью 10 кВт выполняется без использования бетона. Фундаментные анкеры четырех растяжек башни закладываются в небольшие траншеи глубиной 1 м. Они выкапываются вручную. Подъем ВЭУ после установки анкеров и засыпания траншей грунтом производится силами двух человек с помощью ручной лебедки, входящей в комплект ВДЭУ. Для останова работающего ветроагрегата используется «электрический тормоз», обеспечивающий интенсивное торможение ВЭУ, при включении короткозамыкателя синхронного генератора.

Высота башни ВЭУ $H = 9,75$ м, масса 1 200 кг. Контейнерный модуль, в котором располагается электрооборудование ВДЭУ (аккумуляторы, выпрямитель, инвертор, блок автоматики, дизельный агрегат и др.) устанавливается от ВЭУ на расстоянии, которое может варьировать в пределах 50–200 м.

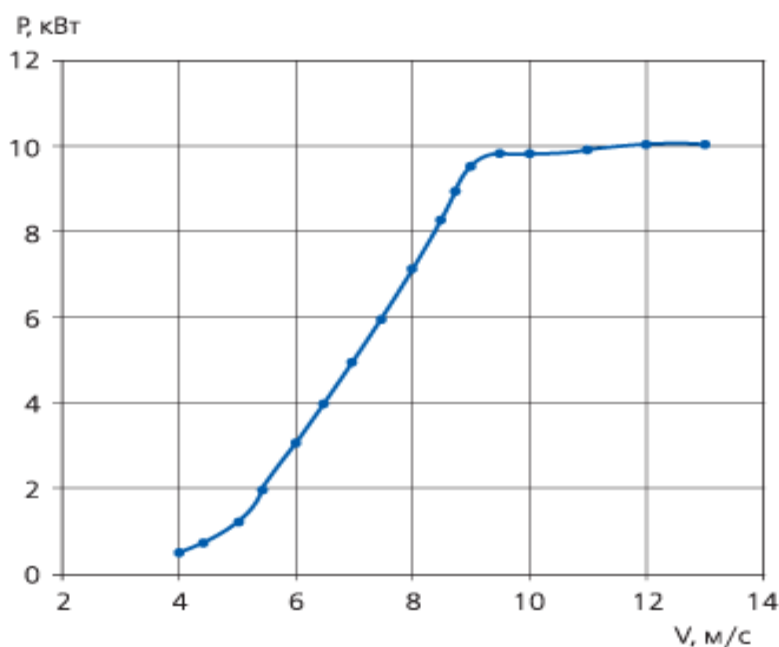


Рисунок 2.33 - Мощностная характеристика ветроагрегата в режиме заряда аккумуляторной батареи

Экспериментальная мощностная характеристика ветроагрегата приведена на рис. 2.33. Из ее рассмотрения следует, что расчетная мощность $P = 10$ кВт обеспечивается при скорости ветра 10 м/с, что соответствует паспортным данным ветроагрегата. Максимально возможная годовая выработка энергии ВЭУ с приведенной мощностной характеристикой согласно выполненным расчетам составляет 18 870 кВтч при среднегодовой скорости ветра 5 м/с и 37 132 кВтч при $V_{г} = 7$ м/с.

Использовать всю энергию, которую способен выработать ветроагрегат, как правило, не удастся из-за несоответствия временного графика потребления и производства энергии. Например, когда нагрузка потребителя мала, и

аккумуляторная батарея не требует заряда, то напряжение батареи достигает уровня 260–270 В, и происходит автоматическое отключение режима заряда. В результате, производительная работа ветроагрегата прерывается и переходит на работу в режиме холостого хода.

Специально были разработаны и используются блоки отбора мощности, которые при отключении режима заряда аккумуляторной батареи автоматически подключаются к выходу ветроагрегата и работают на электронагреватели в режиме максимально возможного отбора мощности. Разработаны и испытаны блоки мощностью на 1,5 и 5 кВт, причем последний был проверен при испытаниях ВЭУ в диапазоне малых скоростей ветра (3,5–7 м/с). Пример регистрации выходной мощности через каждые 10–20 с времени при работе через блок отбора мощности БОМ-5 на электронагреватель приведен на рис. 2.34. Избыточная энергия ветроагрегата может быть использована не только для целей отопления или нагрева воды в термосах, но и для подъема воды из подземных источников и ее аккумуляирования в уже имеющихся резервуарах. Разработка и организация производства блоков БОМ мощностью 10 кВт - реальная задача, решение которой сможет существенно увеличить выработку энергии ВЭУ и приблизить ее к теоретическому максимуму.

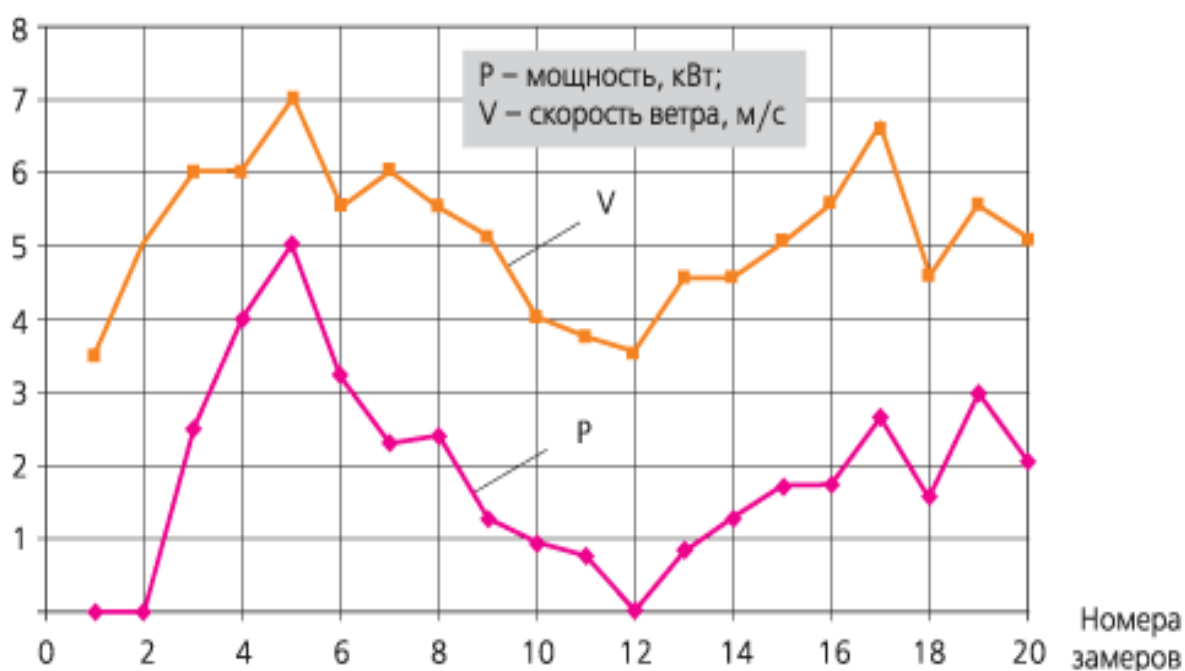


Рисунок 2.34 - Регистрация мощности ВЭУ в диапазоне скоростей ветра 3,5–7,0 м/с

2.7.2 Гибридная ветро-солнечная система

Ниже приведена комбинированная ветроэнергетическая установка Болотова (рис. 2.35).

Гибридная электростанция



Рисунок 2.35 - Гибридная электростанция

Электрическая энергия может быть получена за счет преобразования солнечного излучения фотоэлектрическими батареями (ФБ). Несмотря на довольно высокую, в настоящее время, стоимость ФБ, их использование совместно с ВЭУ в некоторых случаях может быть эффективным. Поскольку зимой существует большой потенциал ветра, а летом в ясные дни максимальный эффект можно получить, используя ФБ, то сочетание этих ресурсов оказывается выгодным для потребителя.

Использование ВЭУ совместно с микро ГЭС, ВЭУ могут использоваться в комбинации с микро ГЭС, имеющими резервуар для воды. В таких системах при наличии ветра ветроагрегат питает нагрузку, а излишки энергии используются для закачивания воды с нижнего бьефа на верхний. В периоды ветрового затишья энергия вырабатывается микро ГЭС. Подобные схемы особенно эффективны при малых ресурсах гидроэнергии.

Установки, подключенные к энергосетям ВЭУ, подключенные к энергосетям, подразумевают связь с какой-либо существующей энергетической сетью, которая поставляет ВЭУ активную и реактивную мощность для обеспечения запуска, работы и контроля ветроагрегата. Это означает, что электроэнергия, выработанная ВЭУ, поступает непосредственно в сеть. ВЭУ начинают вырабатывать энергию при некоторой скорости ветра – обычно около 4 м/с для большинства современных установок. Ток возбуждения берется из сети и используется для синхронизации генератора ВЭУ. Это означает, что если сеть отключена, то ветроагрегат не может производить энергию.



Рисунок 2.36 - Типовая схема гибридной ветро-солнечной системы

Гибридная установка [Л9] состоит из:

- 1) Ветрогенератор – вырабатывает электроэнергию с характеристиками, зависящими от скорости ветра.
- 2) Солнечная батарея (Фотоэлектрический модуль – ФМ) – вырабатывает дополнительную энергию от солнечного света, зависящую от освещенности. Повышает надежность и предсказуемость энергообеспечения и суммарную выработку энергии.
- 3) Аккумуляторные батареи – накопитель электроэнергии, выработанной от ветра и солнца. Необходимы также для согласования графиков выработки и потребления энергии. Применяются кислотные АБ, ёмкость и напряжение рассчитываются исходя из необходимых параметров системы.
- 4) Контроллер/Инвертор – источник бесперебойного питания – устройство, согласующее между собой указанные выше компоненты, нагрузку и внешнюю сеть 220В. Может заряжать аккумуляторную батарею от ветряной электроустановки, солнечной батареи или внешней сети 220В. Преобразует накопленную в АБ энергию в стабилизированные 220В/50Гц с номинальной мощностью синусоидальной формы сигнала. Автоматически коммутирует нагрузку на питание от внешней сети 220В или от преобразователя. Отображает параметры системы на цифровом индикаторе. Выходная мощность инвертора определяет выходную мощность всей ветросолнечной системы.
- 5) Мачта – служит для установки головки на высоте 11 или 17 м., на которой ветровой поток не затеняется препятствиями и имеет достаточную скорость.

Выводы по главе 2

1. Мощность ВЭУ определяется исключительно расчетной скоростью ветра, геометрическими размерами ротора (ветроприёмного устройства) и эффективностью использования энергии ветра.
2. Необходимо соблюдать оптимальное соотношение между расчетной и среднегодовой скоростями ветра в конкретном месте установки конкретной ВЭУ.
3. ВЭУ любого типа должна иметь систему ограничения мощности.
4. Коэффициент мощности определяет эффективность отбора энергии у ветрового потока и до некоторой степени характеризует конструкцию ротора. Так, значение C_p для многолопастных ВЭУ, использующих силу лобового давления, в реальных условиях эксплуатации не превышает 0,25, а для быстроходных, использующих аэродинамическую подъемную силу, значение C_p может даже превышать 0,5.
5. Количество лопастей не оказывает влияния на значение установленной мощности.
6. Автономные и резервные ветроэнергетические системы малой мощности должны строиться по схеме бесперебойного питания с буфером-накопителем. При этом мощность ВУ, мощность инвертора и емкость АБ должны быть сбалансированы с учетом ветропотенциала местности и характера нагрузок.
7. При выборе установленной мощности ВУ не следует механически суммировать паспортные значения мощностей всех энергопотребителей.
8. Себестоимость электроэнергии, произведенной БЭС, на порядок выше, чем энергии от ВЭС. Поэтому использование БЭС целесообразно лишь для кратковременного покрытия пиковых нагрузок.
9. Для автономного энергоснабжения более экономичным и экологически чистым источником энергии является ВЭС по сравнению с БЭС. Прокладка ЛЭП - очень дорогостоящий источник, требующий более сложных антивандальных мероприятий.
10. Срок окупаемости ВЭС имеет тенденцию к снижению, в то время как БЭС вообще никогда не окупается, равно как и капитальные затраты на строительство ЛЭП.
11. Себестоимость одного киловатт-часа электроэнергии ниже существующих тарифов на электроэнергию, утвержденных НКРЭ для потребителей из сети.
12. Шумовое воздействие ВЭС на окружающую среду не превышает значений установленных действующими нормативными документами.

3 ВЕТРОЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ РОТОРНОГО ТИПА

3.1 Этапы развития ВЭУ роторного типа

Этапы новейшей истории развития ветродвигателей с вертикальной осью вращения отмечены патентами на конструкции, успешно используемые в настоящее время:

ротор Савониуса (С.Ж. Савониус, Финляндия, 1922 г., рис. 3.1а);

ротор Даррье (Ж. Ж.-М. Дарриус, Франция, 1931 г., рис. 3.1б);

ротор Масгрова (П. Масгров, Великобритания, 1975 г., рис. 3.1в);

ротор «Виндсайт» (Р. Йутсиниеми, Финляндия, 1979 г., рис. 3.1г);

геликоидная турбина Горлова (А. Горлов, США, 2001 г.), которую с незначительными отличиями воспроизводят турбины ВЭУ «Twister», «Turby», «Quitrevolution» (рис. 3.1д). и др.

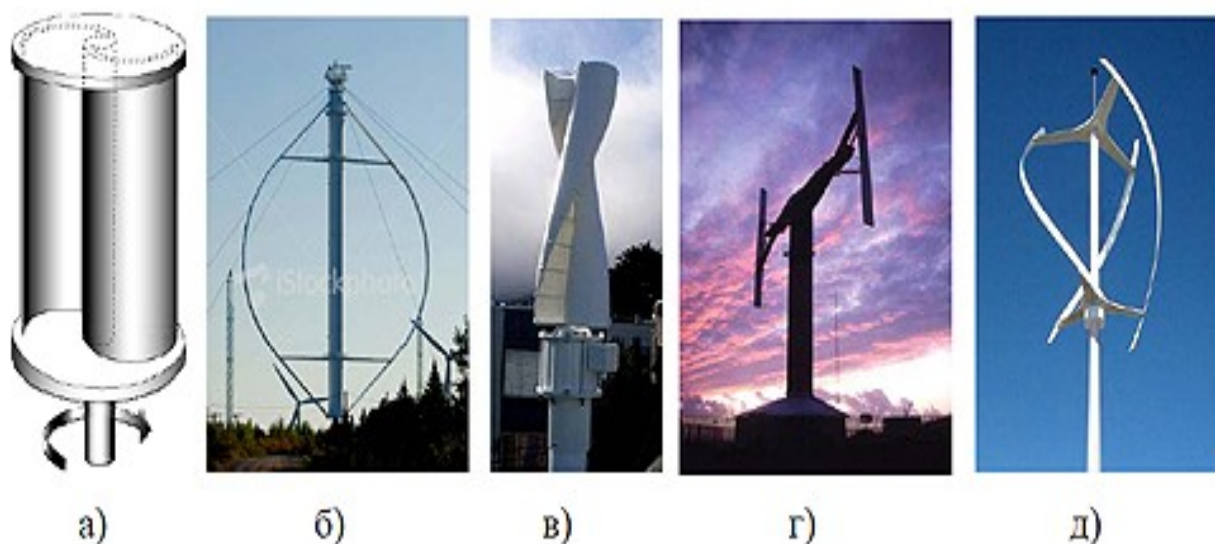


Рисунок 3.1 - Этапы новейшей истории ветродвигателей с вертикальной осью вращения

3.2 Принцип действия

Преобразование энергии в современных ВЭУ осуществляется в два этапа: кинетическая энергия движущейся воздушной массы (ветра) сначала преобразуется в механическую энергию, а затем механическая энергия преобразуется в электрическую. Для преобразования ветровой энергии в механическую энергию применяются аэромеханические устройства, которые в соответствии с российским стандартом принято называть ветродвигателями.

За рубежом при разговоре об аналогичных устройствах чаще всего пользуются термином ветро - турбина.

Ветродвигатель отбирает у движущейся с некоторой скоростью воздушной массы только часть ее кинетической энергии, а величина этой части

зависит от принципа действия установки, габаритов активной части и режима работы. Известны два основных способа отбора мощности у движущегося воздушного потока, на которых базируется работа современных ветродвигателей.

В первом способе используется феномен подъемной силы крыла, имеющего в сечении соответствующий аэродинамический профиль и находящегося в движущемся потоке воздуха. Для простоты назовем их «ветродвигатели подъемной силы».

В основе второго способа лежит дифференциальное (неодинаковое) лобовое сопротивление твердого тела несимметричной формы, при его различной ориентации относительно направления воздушного потока. Назовем их «ветродвигатели дифференциального лобового сопротивления».

Существуют также многочисленные конструкции, которые сочетают в себе два вышеуказанных способа в различном процентном соотношении.

Для того чтобы производить сравнительную оценку технических решений, в ветроэнергетике выработаны критерии, характеризующие энергетическую эффективность конструкции и режим работы: коэффициент использования ветровой энергии и быстроходность, соответственно.

Под коэффициент использования ветровой энергии понимается отношение механической мощности, развиваемой ветродвигателем, к механической мощности воздушного потока, протекающего через пространство, ометаемое рабочими поверхностями (крыльями или лопастями) этого ветродвигателя. В международной ветроэнергетике принято обозначать коэффициент использования ветровой энергии (C_p) и называть «Си Пи фактор». Теоретически доказано, что для идеального ветродвигателя, в котором не учитываются никакие потери, величина C_p не может быть более 0,593. Это число получило название лимит Бетца и по определению является величиной безразмерной.

Быстроходность ветродвигателя – это отношение линейной скорости наиболее удаленной от оси вращения ветродвигателя точки крыла (определяемое радиусом ротора и его частотой вращения) к скорости ветра, которое принято обозначать символом U . Быстроходность по определению является величиной безразмерной. Считается, что ветродвигатель тихоходный, если $U < 2$, и быстроходный, если $U \geq 4$.

3.3 Вертикально-осевые ветродвигатели «подъемной силы»

На рисунке 3 показаны: устройство простейшего ортогонального ветродвигателя, треугольники скоростей и силы, действующие на лопасть в зависимости от ее положения относительно направления ветра.

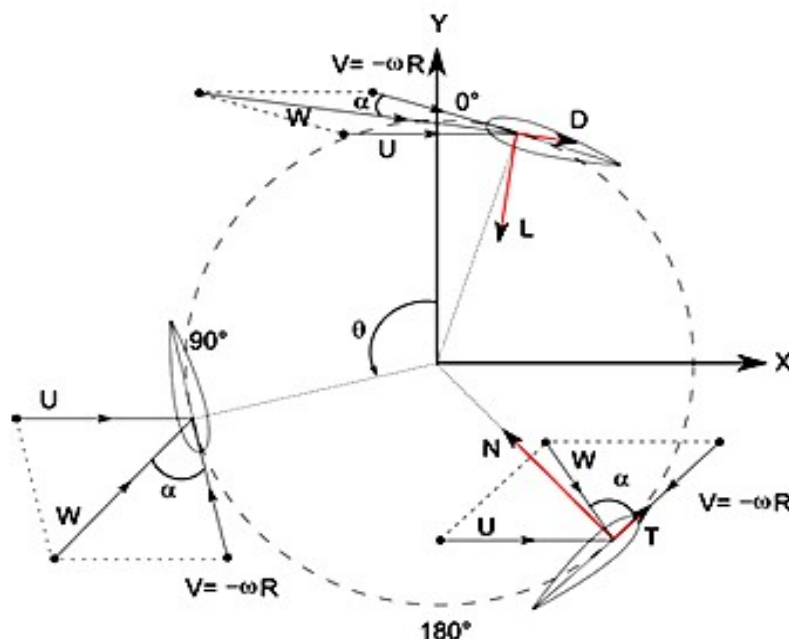
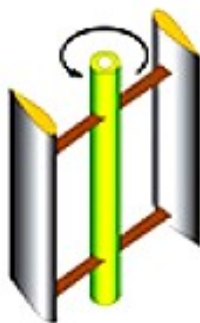


Рисунок 3.2 - Работа конструкции, использующей подъемную силу крыла
 U – скорость ветра, V – тангенциальная скорость перемещения лопасти; W – суммарная («кажущаяся») скорость воздушного потока, взаимодействующего с лопастью; α – угол атаки; T – сила, создающая крутящий момент; N – сила, приложенная к траверсе, соединяющей лопасть с валом установки; L – подъемная сила лопасти; D – сила лобового сопротивления лопасти.

Ветродвигатель такой конструкции имеет пульсирующий крутящий момент и для ввода при некотором значении быстроходности в режим авторотации чаще всего требует раскрутки внешним двигателем.

При увеличении количества лопастей до трех и их закрутке вокруг оси ротора (геликоидный ротор), C_p увеличивается от 0,3 до 0,4. Крутящий момент становится постоянным независимо от положения лопастей относительно направления ветра, и достаточно регулярно наблюдается самозапуск на холостом ходу при скоростях ветра 3 м/с и выше. Оптимальный режим работы данных ветродвигателей (максимальное значение C_p) достигается при значениях 1 от 4 до 5 единиц. Увеличение количества лопастей ротора более пяти, как правило, приводит к снижению быстроходности и уменьшению C_p .



Рисунок 3.3 - Многообразие конструкций современных вертикально-осевых ветродвигателей, использующих для создания крутящего момента подъемную силу крыла

Следует отметить, что вращение турбин приведенных конструкций наблюдается при любом направлении ветра, и они не нуждаются в устройствах ориентации и дополнительных трансмиссиях, снижающих уровень надежности. Это одно из основных преимуществ установок данного типа при сравнении с горизонтально-осевыми ВЭУ.

Однако продолжают появляться новые схемы вертикально-осевых ВЭУ, в частности установка «с качающимся крылом», в которой углы атаки крыльев в зависимости от направления ветра изменяются при помощи несложной кинематики, принцип действия которой понятен из рисунка ниже. Наличие вспомогательных механизмов, с дополнительными потерями на трение, которые к тому же требуют периодического осмотра и ремонта, нейтрализует эффект, получаемый от оптимизации углов атаки крыльев, расположенных в набегающем воздушном потоке. Производство таких установок значительными сериями не ведется.

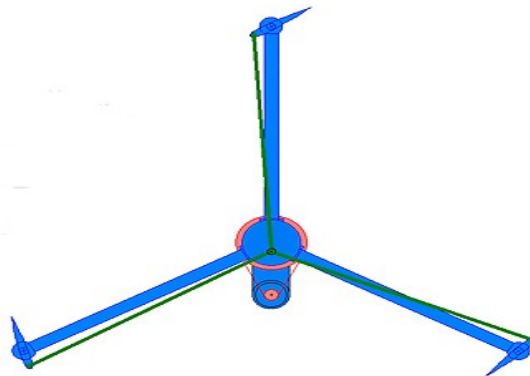


Рисунок 3.4 - Пример конструкции вертикально-осевой ветротурбины с наведением на ветер

3.4 Вертикально - осевые ветродвигателя «дифференциального лобового сопротивления»

Первые ветродвигатели с вертикальной осью работали, используя данный принцип, который заключается в том, что твердое тело несимметричной формы (например, полусфера) при различной ориентации в потоке воздуха (жидкости), обладающего постоянной скоростью V , взаимодействуют с потоком с различными усилиями $F_{лс1}$ и $F_{лс2}$ соответственно. Давление ветра на полусферу, ориентированную к нему вогнутой частью, более чем в 4 раза превышает давление на ту же полусферу, ориентированную к ветру выпуклой частью. При этом площадь сечения тел одинакова. Если полусферы закрепить на траверсе с двух сторон симметрично относительно оси вращения, то при взаимодействии с движущейся воздушной массой появляется крутящий момент, и устройство будет вращаться с некоторой частотой ω .

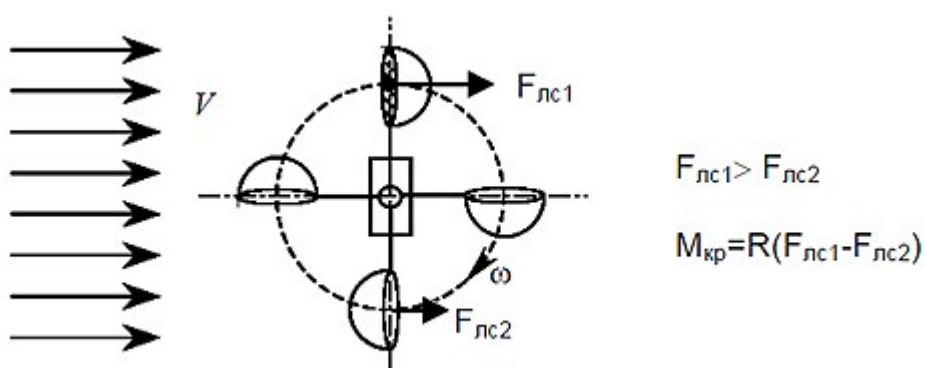


Рисунок 3.5 - Принцип действия ветродвигателя «дифференциального лобового сопротивления»

Величина крутящего момента зависит от разницы усилий, воздействующих на тела, расположенные по разные стороны от оси вращения, а

эти усилия определяются скоростью ветра, размерами тел (площадью лобового сечения) и коэффициентом лобового сопротивления.

Среди ветродвигателей, действующих по принципу дифференциального лобового сопротивления, наиболее известны ротор Савониуса и его модификация - ротор Виндсайт. Машины просто устроены, работают даже при очень низких скоростях ветра, но обладают невысоким C_p . Максимальное значение C_p для ротора Савониуса, приведенное в источниках, равно 0,25. Номинальная быстроходность этих турбин, как правило, меньше единицы, и они имеют относительно высокий пусковой момент.



Рисунок 3.6 - Разнообразие конструкций ветродвигателей, работающих по принципу дифференциального лобового сопротивления

Комбинированные вертикально-осевые ветродвигатели. Наряду с двумя рассмотренными основными группами вертикально-осевых ветродвигателей, выпускаемых серийно, имеются установки, в которых сочетаются два описанных принципа действия.

В установках, приведенных на рисунке ниже а, б, г в зависимости от положения каждой лопасти относительно направления ветра проявляются либо эффект подъемной силы, либо эффект дифференциального аэродинамического сопротивления. В установке, показанной на рисунке в, ротор Савониуса используется для раскрутки ротора Даррье до необходимой быстроходности.

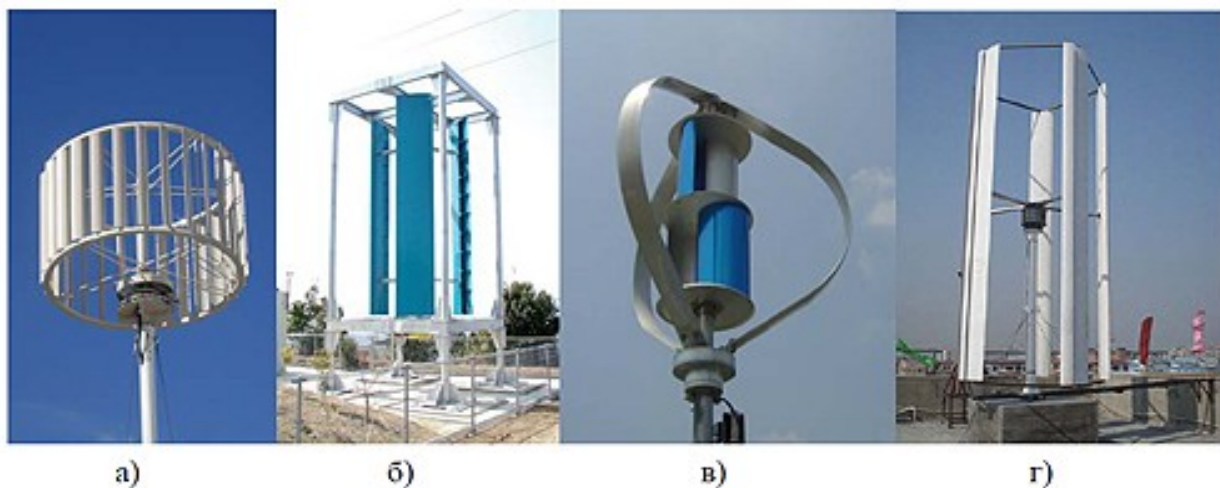


Рисунок 3.7 - Конструкции ветродвигателей, использующих для создания крутящего момента комбинацию феноменов подъемной силы крыла и дифференциального лобового сопротивления

3.5 Энергетические характеристики

Основные свойства любого ветродвигателя достаточно полно описываются зависимостью $C_p = f(1)$, которая называется его главной энерго характеристикой. На рисунке 3.8 приведены главные энергетические характеристики ряда распространенных ветродвигателей.

Ветроэнергетикам хорошо известно, что $C_p = 0,593$, что было теоретически доказано нашими российскими учеными (Сабинин и др.) еще в 1914 г., но за рубежом доказательство было опубликовано в 1924 г. немецким физиком Бетцем, и величина 0,593 носит название «предел Бетца».

На рисунке очень хорошо видно, что вертикально-осевые ветротурбины, использующие для создания крутящего момента подъемную силу крыла, имеют C_p по величине, очень близкий к показателю быстроходных малоллопастных ветроколес с горизонтальной осью вращения. Это обстоятельство наряду с относительной простотой конструкции и отсутствием необходимости наведения на ветер, является причиной современного возрождения интереса к вертикально-осевым ветродвигателям.

Не менее важной характеристикой вертикально-осевого (как, впрочем, и любого другого) ветродвигателя, является кривая развиваемой мощности, представляющая собой зависимость выходной электрической мощности установки от скорости ветра. Серьезные производители ВЭУ обязательно приводят такую кривую в технических характеристиках своей продукции, так как говорить о мощности установки в отрыве от скорости ветра не имеет смысла. При наличии статистики по частотам повторяемости скоростей ветра

произвести довольно точный расчет выработки электрической энергии.

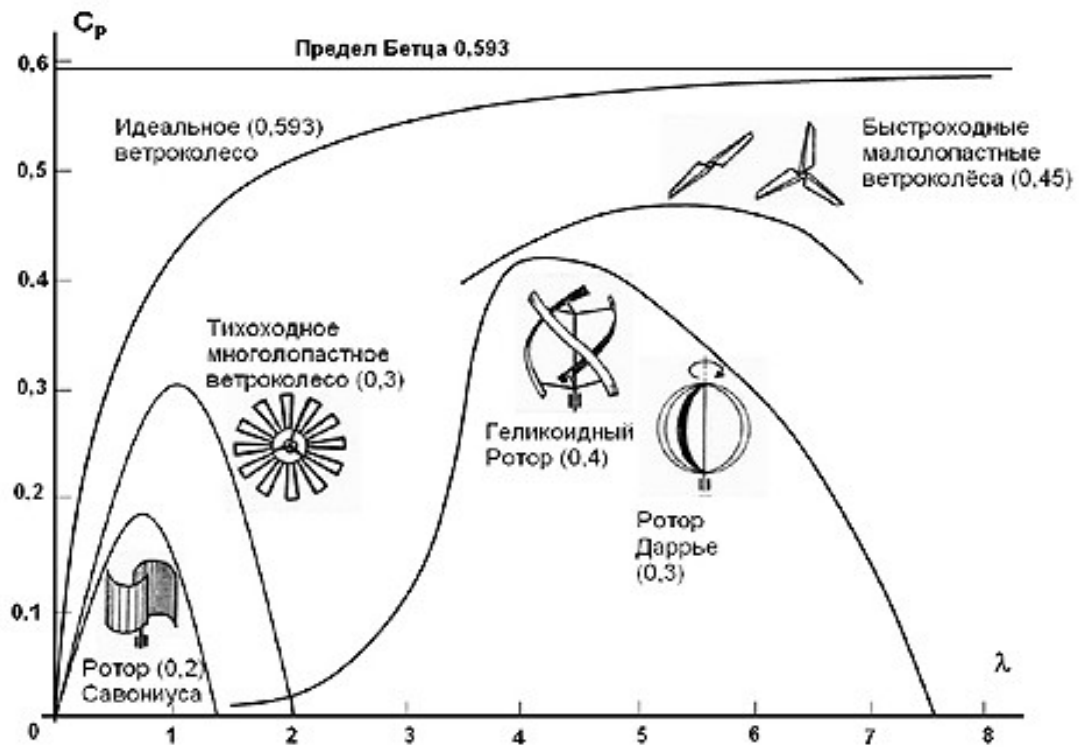


Рисунок 3.8 - Главные энергетические характеристики наиболее распространенных ветродвигателей

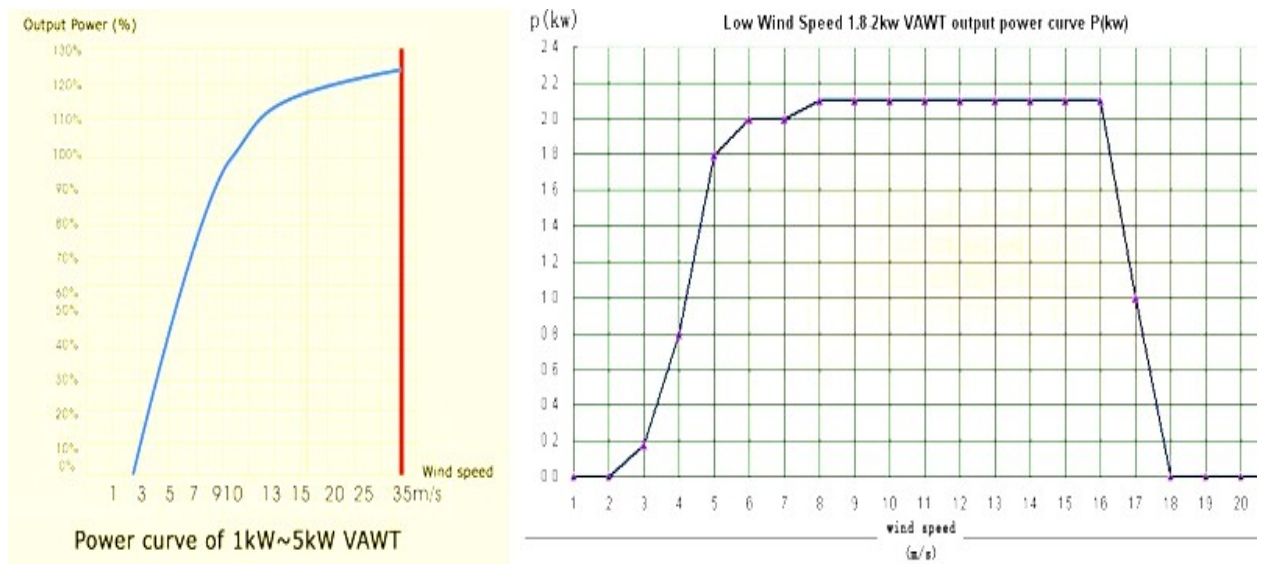


Рисунок 3.9 - Примеры кривых выходной мощности двух ВЭУ с вертикальной осью вращения

3.6 Тенденции развития вертикально-осевых ВЭУ

Современная волна интереса к вертикально-осевым ВЭУ объясняется рядом объективных причин:

- практически исчерпанные резервы развития горизонтально-осевых ВЭУ (как концептуально, так и технически – более крупные установки строить при современном уровне развития технологий уже невозможно);
- относительно высокие энергетические характеристики отдельных конструкций ВО ВЭУ при значительно более простой конструкции, не требующей в большинстве случаев наведения на ветер;
- относительно низкий уровень шумов и вибраций.

Обозначим некоторые тенденции, наблюдаемые в области проектирования, производства и эксплуатации ВО ВЭУ в настоящее время.

Широкое использование компьютерного моделирования. Успехи в развитии современных математических методов и программных средств, позволяют производить достаточно точные проектные расчеты при наличии существенно турбулентных процессов, имеющих место при работе ВЭУ данного типа. На рисунке ниже приведены характерные формы представления результатов применения программных средств, реализующих метод конечных элементов для расчета поля скоростей воздушного потока, проходящего через сечение ротора ВО ВЭУ. Именно благодаря компьютерному моделированию рассматриваемая область ветроэнергетики получила мощный толчок развития.

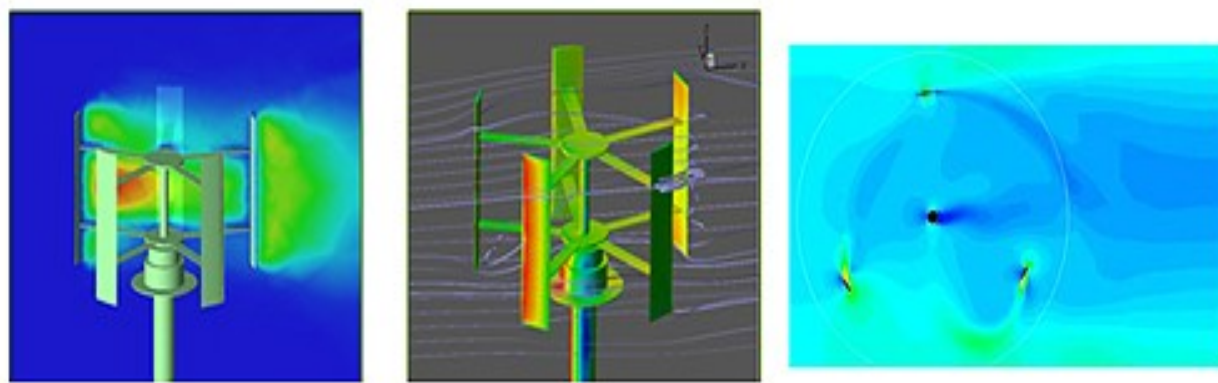


Рисунок 3.10 - Типичное представление результатов аэродинамического расчета методом конечных элементов

Постоянное совершенствование конструкций ВО ВЭУ. Наряду с использованием новых конфигураций лопастей в области ВО ВЭУ появилась тенденция введения механизации крыла. В случае, если в установке применяется прямое крыло, имеется возможность реализовать комбинацию Савониус-Дарье для работы в различных режимах:

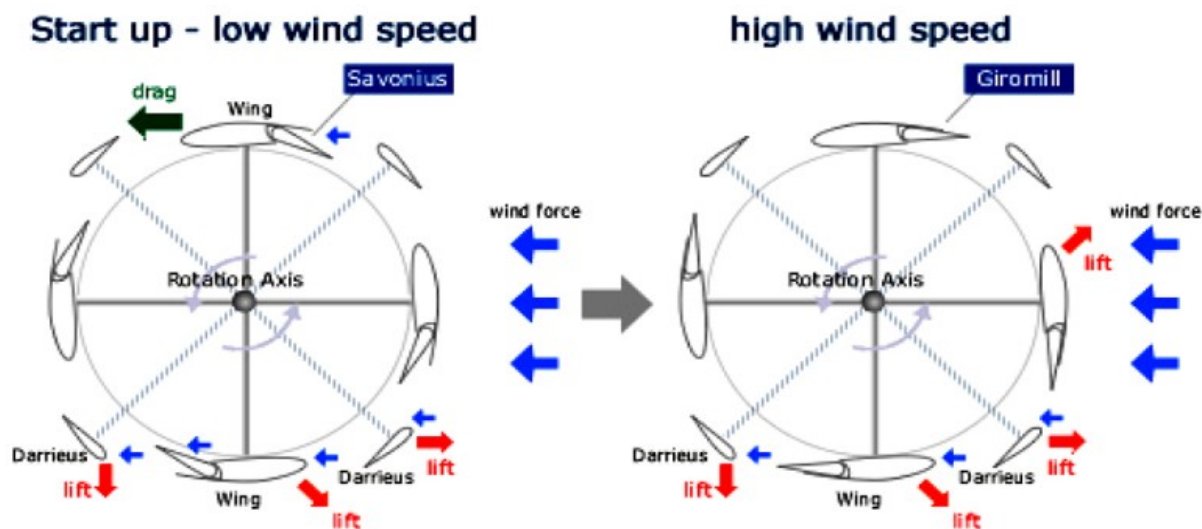


Рисунок 3.11 - Вариант механизации крыла ВО ВЭУ

Разделение ВО ВЭУ на две группы по соотношению высоты ротора к диаметру. Анализ существующих конструкций ВО ВЭУ показывает, что с увеличением установленной мощности наблюдается тенденция к увеличению диаметра ротора при одновременном снижении частоты его вращения. Чем больше габариты ротора, тем сложнее осуществить его аэродинамическую симметрию и балансировку, что на высоких частотах вращения чревато возникновением значительных вибраций, которые могут привести к разрушению конструкции.

На рисунке 3.12 приведены наиболее часто встречающиеся пропорции ВО ВЭУ, в сравнении с горизонтально-осевыми установками.

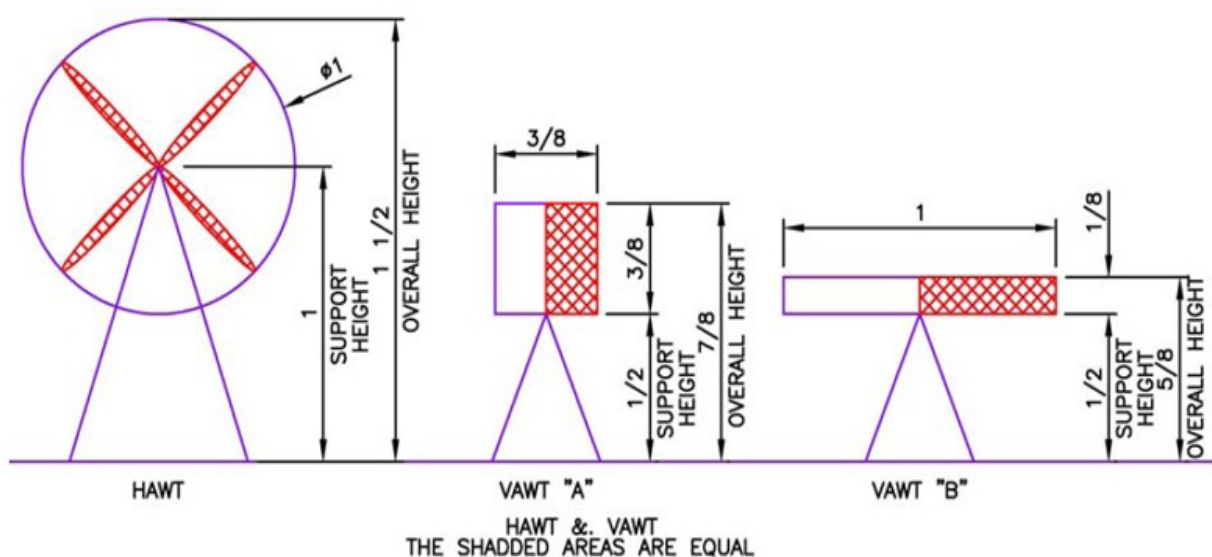


Рисунок 3.12 - Пропорции ВО ВЭУ

4 РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ВЕТРОУСТАНОВКИ РОТОРНОГО ТИПА

4.1 Конструкция роторной ВЭУ

Устройство представляет собой две половинки полого цилиндра, которые после его разрезки раздвигались в стороны от общей оси. Образовавшееся тело обладало ярко выраженной аэродинамической несимметричностью. Набегающий поперек его оси поток воздуха как бы соскальзывал с выпуклой стороны одного полуцилиндра. Зато другой, обращенный к ветру своеобразным карманом, оказывал значительное сопротивление. Барабан поворачивался, полуцилиндры менялись местами все быстрее и быстрее, и вертушка, таким образом, быстро раскручивалась. Подобная схема выгодно отличается от ВЭУ с пропеллерной вертушкой. Во-первых, она не требует при изготовлении большой точности и дает широкий выбор применяемых материалов. Во-вторых, она компактна. Мощность генератора, приводимого в действие барабаном, диаметром всего около метра, будет такой же, как при использовании трехлопастного пропеллера диаметром 2,5 м. И если пропеллерную вертушку нужно устанавливать на высокой штанге или на крыше дома (этого требует техника безопасности), то вертушку-барабан можно ставить прямо на земле, под навесом. Есть у барабана и еще ряд достоинств: большой крутящий момент при малых оборотах (значит, можно обойтись либо без редуктора, либо использовать, простейший одноступенчатый), отсутствие щеточного токосъемного механизма [Л32].

Лопасты были сделаны из жести, т.к. жость является легким и прочным материалом и на него легко ложится раскаленное олово, при помощи которого происходило паяние. Основание конструкции так же состоит из согнутых по середине пластин под углом 90 градусов, вырезанных из жести, длиной 10 см и шириной 10 мм, т.к. при сгибании мы увеличиваем плотность пластины.

Так же нужен будет генератор, которой при вращении барабана, будет вырабатывать электроэнергию. Мы можем пустить ток на прямую от генератора, но возможна перегрузка, из-за этого создаем элементарную электрическую цепь. Ток из обмотки генератора идет на выпрямители тока, а после идет на фильтр, образующий электролитический конденсатор, он накапливает пульсирующее напряжение, и отправляет ток в данном случае в лампочку. Ну, а если стоит безветренная погода или ветер слишком слаб, чтобы давать необходимую электроэнергию. Перебоев в выработке электричества не будет, если воспользоваться накопителем энергии - аккумулятором. Ветер есть - пускайте электричество напрямую к потребителю, ветра нет - включайте заряженные от ветроустановки аккумуляторы.

4.2 Разработка конструкции автономной ветроэнергетической установки

4.2.1 Разработка конструкции ветродвигателя

Исходными данными для разработки ветродвигателя является его мощность, которая зависит от мощности и напряжения аккумуляторной батареи. Напряжение U автомобильного аккумулятора равно 14 В. Зарядный ток I , достаточный для заряда аккумуляторной батареи (АБ) принимаем равным 2 А. Тогда мощность зарядного устройства

$$P_3 = U \cdot I = 14 \cdot 2 = 28 \text{ Вт.} \quad (4.1)$$

Емкость Q аккумуляторной батареи принимаем равной 45 А·ч

$$Q = 45 \text{ А·ч.}$$

Наиболее простая конструкция ветродвигателя состоит из двух лопастей роторного типа. Максимальная мощность, которую можно отнимать у ветра по данным [Л5] составляет 59 %.

Тогда мощность ветродвигателя: $P_{\text{вд}} = P_{\text{ветра}} \cdot 0,59$, Вт.

За 1 секунду воздух передает поверхности S свою механическую энергию, содержащую в объеме V . Кинетическая энергия этого объема воздуха плотностью ρ составит:

$$W_k = S \rho V \cdot \frac{v^2}{2} = \rho S \cdot \frac{v^3}{2}.$$

(4.2)

Мощность потока ветра $P_{\text{ветра}}$, Вт:

$$P_{\text{ветра}} = \frac{W_k}{t} \quad (4.3)$$

$$W_k = \frac{m v^2}{2}, \quad (4.4)$$

где: $m = \rho S V$ - масса воздуха в потоке, проходящем за 1 секунду ($t=1$).

При скорости потока ветра $v = 5 \text{ м/с} \Rightarrow m = 1,22 \cdot 0,32 \cdot 5 = 1,95 \text{ кг.}$

$$W_k = \frac{\rho S v \cdot v^2}{2} \quad (4.5)$$

Мощность ветрового потока, поступающего на ветродвигатель составит

$$P_{\text{ветра}} = \frac{1,22 \cdot 0,32 \cdot 5^3}{2} = 48,8 \text{ Вт.} \quad (4.6)$$

Мощность ветродвигателя

$$P_{\text{вд}} = P_{\text{ветра}} \cdot 0,59 = 28,8 \text{ Вт.} \quad (4.7)$$

Подобную формулу $P_{\text{ветра}}$, Вт можно было получить через работу совершаемую ветром в единицу времени

$$P_{\text{ВЕТРА}} = \frac{A}{t} = \frac{FS}{t} = \frac{maS}{t} = \frac{\rho V v^2 S}{t2S} = \frac{\rho V v^2}{2t} = \frac{\rho l S v^2}{2t} = \frac{\rho S v^3}{2} \quad (4.8)$$

Для изготовления дисков на листе фанеры толщиной 15 мм (если такой фанеры нет, ее можно склеить из нескольких слоев) большим циркулем были вычерчены две окружности диаметром 600 мм, по этим окружностям выпилены диски ротора.

На одной стороне каждого из дисков циркулем были вычерчены полуокружности радиусом 200 мм, при этом полуокружности смещены друг на друга на 150 мм. На каждую полуокружность были прикреплены лопасти из листовой фанеры толщиной 3мм. Таким образом, была собрана конструкция из двух лопастей барабанного типа.

По центру конструкции были сделаны два отверстия, сквозь которые был вставлен и жестко прикреплен вал ветродвигателя.

Из деревянных брусков была изготовлена мачта с 4-мя стойками. К мачте были прикреплены два диска, с подшипниками по центру, в которые был закреплен вал ветродвигателя, как это показано на рисунке 4.2.

Роторный ветродвигатель отличается от других типов маломощных ветродвигателей простотой устройства, возможностью вращаться даже при самом ветре, сравнительно высоким коэффициентом использования ветра, малым числом деталей.

Роторный ветродвигатель представляет собой два полуцилиндра, обращенных вогнутыми сторонами друг к другу и укрепленных на вертикальном валу между деревянными шайбами (дисками). Полуцилиндры сдвинуты по отношению друг к другу на расстояние, приблизительно равное

их радиусу, так что между их вогнутыми поверхностями может свободно проходить ветер, набегающий на ротор [Л34].

Вертикальный вал вращается в подшипниках, закрепленных на прямоугольной деревянной раме, являющейся частью конусообразной башни-основания, сбитого из толстых деревянных брусков. В верхней части башни укреплена площадка, на которой смонтирована система шкивов и шестеренок для передачи движения от ветродвигателя к генератору.

Ротор состоит из двух деревянных закрепленных между ними двух полуцилиндров, являющихся лопастями ветродвигателя.

Обтекание ротора ветровым потоком создает различные сопротивления на выпуклой и вогнутой частях устройства (см. рис 4.1). За счет этого и возникает вращающий момент.

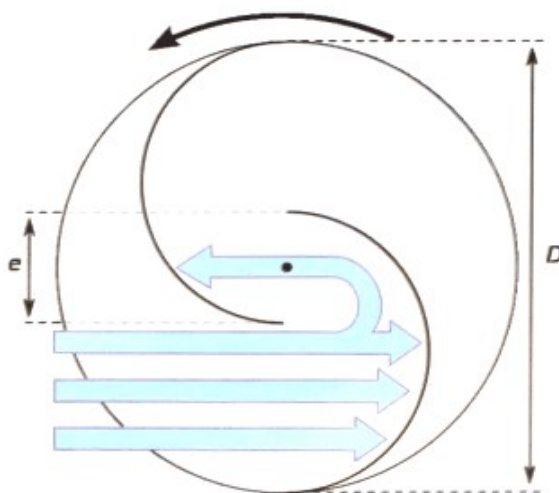


Рисунок 4.1 - Обтекание ротора ветровым потоком

Смонтированный ротор необходимо отбалансировать. Для этого ротор концами вала кладется в горизонтальном положении на две опоры. Если полуцилиндры ротора расположены симметрично, то при вращении его вокруг горизонтальной оси ротор будет сохранять то положение, в котором мы его оставим. Если же симметрии нет, ротор будет возвращаться в первоначальное положение.

Для обеспечения нормальной работы ветродвигателя его необходимо устанавливать на высокой мачте. В основном высота башни двигателя зависит от рельефа местности. Лучше всего ВЭУ поставить на холме или на открытом месте. В отдельных случаях ветродвигатель можно установить на крыше здания и смонтировать там передаточный механизм и генератор. Минимальная высота башни 3,5 - 4 м. Поблизости от установленного ветродвигателя должно

находиться подсобное помещение, хотя бы временного типа, для размещения там необходимой аппаратуры (аккумуляторов).

4.2.2 Устройство и конструкция исследуемой ВЭУ роторного типа

Ветроэнергетическая установка с вертикальной осью вращения (рис.4.2) состоит:

1. Раструб
2. Ветродвигатель
3. Шкивы и ремни
4. Генератор
5. Выпрямитель
6. Реле регулятор
7. Аккумулятор
8. Флюгер
9. Опорная конструкция

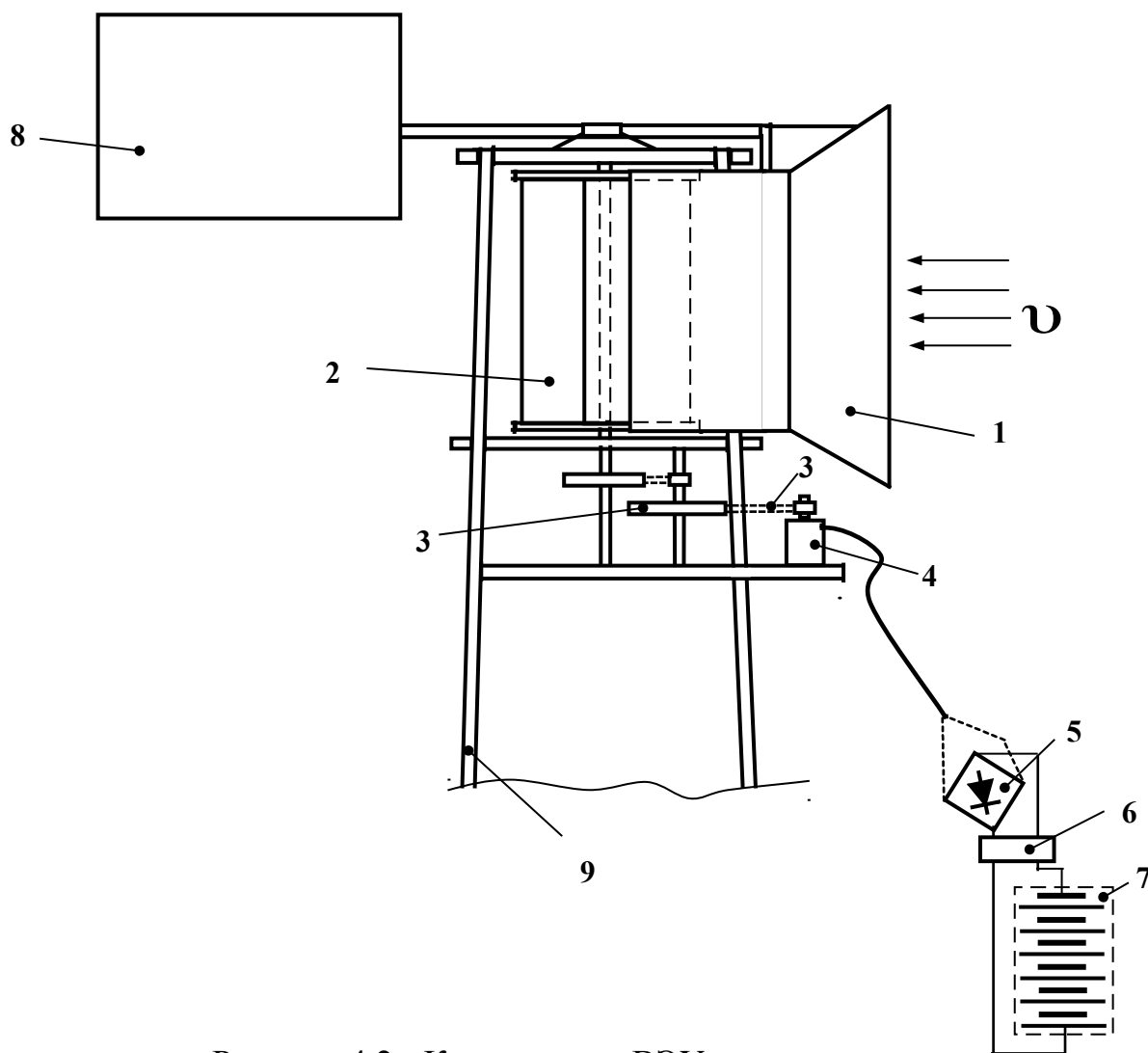


Рисунок 4.2 - Конструкция ВЭУ роторного типа

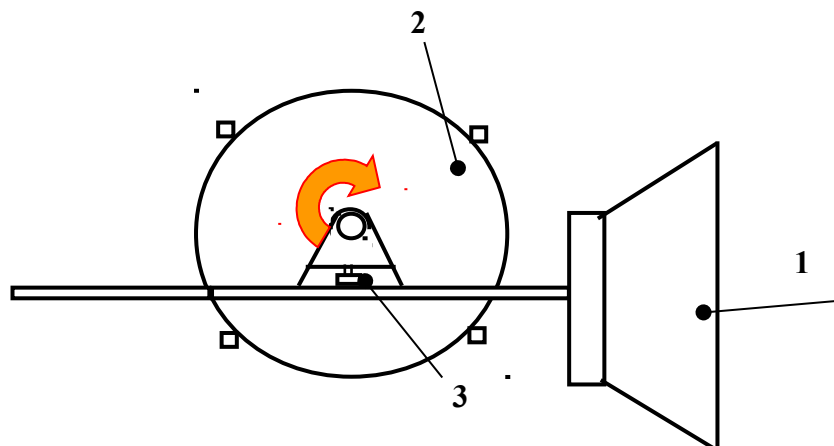


Рисунок 4.3 - ВЭУ роторного типа с ветроусилителем (вид сверху)
 1. Ветроусилитель; 2. Ветродвигатель; 3. Колесо, на котором вращается по кругу ветроусилитель.

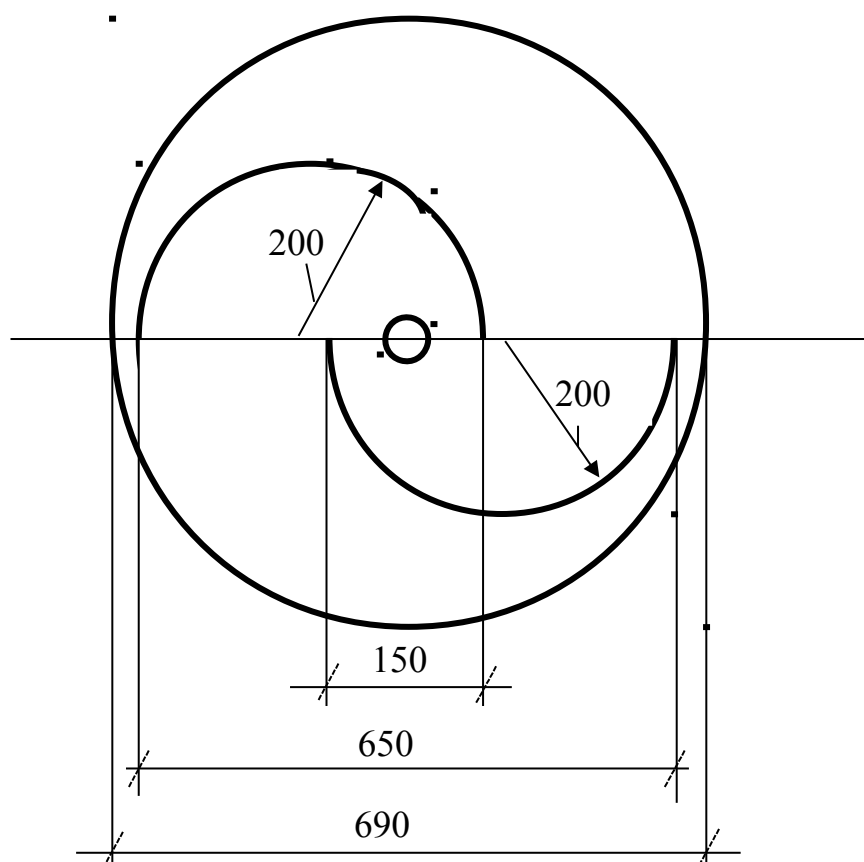


Рисунок 4.4 - Конструкция лопастей ветродвигателя роторного типа

4.3 Выбор оптимального варианта ветродвигателя, привода и электрической части схемы ветроустановки

4.3.1 Выбор электрического оборудования

Самым простым и приемлемым вариантом оснащения ВЭУ электрическим оборудованием является использование электрического оборудования заводского изготовления.

Поэтому в разрабатываемой конструкции ветроэнергетической установки, в качестве постоянного источника электрической энергии выбрана автомобильная аккумуляторная батарея (АБ) на 12 В, 50 А · ч.

Для заряда АБ выбран автомобильный генератор, который должен выдавать зарядный ток $0,5 \div 4$ А. Величина зарядного тока регулируется реле-регулятором, напряжения тока, применяемых в легковых автомобилях РР-24.

Электрическая часть роторной ВЭУ показана на рисунке 4.5.

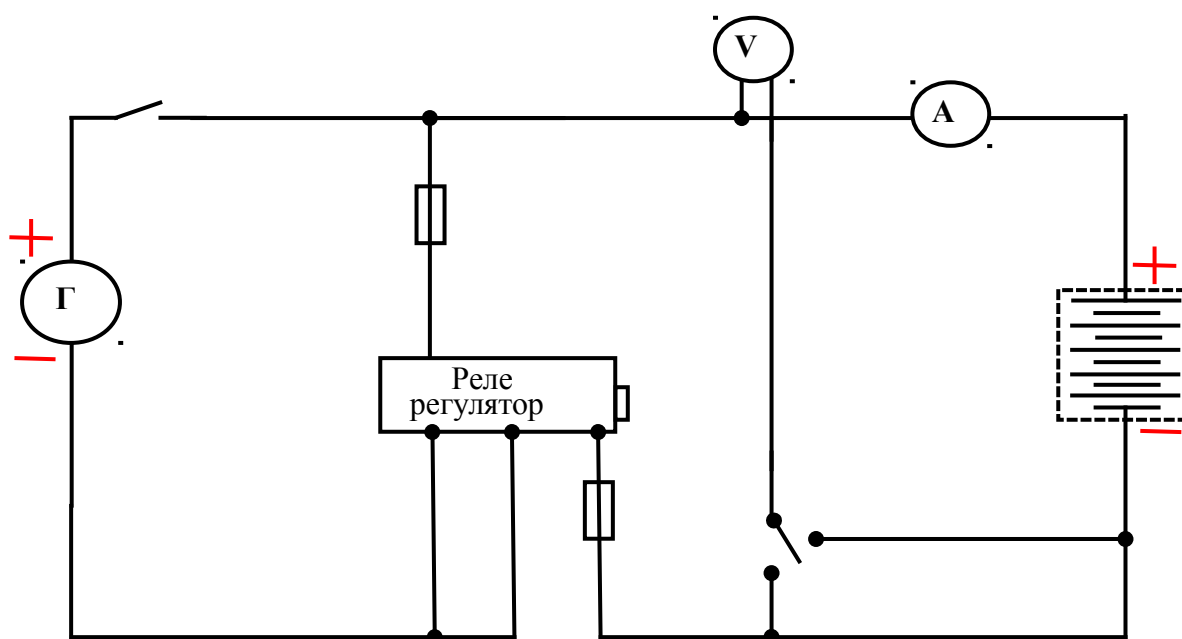


Рисунок 4.5 - Электрическая часть ВЭУ

Таким образом, электрическая часть состоит из генератора постоянного тока, реле регулятора и аккумуляторной батареи.

Для защиты аккумуляторной батареи от ее разряда на генератор применяется реле обратного тока. Реле отключает аккумуляторную батарею, как только упадет напряжение генератора при снижении его оборотов. Причина - прекращение ветра или скольжение ремня и т.д.

Если не отключить в этот момент батарею, то электрический ток пойдет от нее в обмотку генератора и последний начнет вращаться как электродвигатель, в результате чего аккумуляторная батарея быстро разрядится.

При больших оборотах генератора его напряжение может превышать допустимые (14,8 В). Чтобы это не происходило, в реле-регуляторе имеется реле напряжения, с помощью в цепь обмотки возбуждения генератора подключается дополнительное сопротивление, при этом ток возбуждения уменьшится и снижается напряжение, вырабатываемое генератором.

Проверяя правильность расположения полуцилиндров, добиваемся, чтобы при каждом поворачивании ротора около его горизонтальной оси, он находился в равновесии, то есть был отбалансирован.

Для обеспечения нормальной работы ветродвигателя его необходимо устанавливать на высокой мачте. В основном высота башни двигателя зависит от рельефа местности. Лучше всего ВЭУ поставить на холме или на открытом месте. В отдельных случаях ветродвигатель можно установить на крыше здания и смонтировать там передаточный механизм и генератор. Минимальная высота башни 3,5-4 м.

Поблизости от установленного ветродвигателя должно находиться подсобное помещение, хотя бы временного типа, для размещения там необходимой аппаратуры (аккумуляторов).

Для защиты аккумуляторной батареи разряда ее на генератор применяется реле обратного тока. Реле отключает аккумуляторную батарею, как только упадет напряжение генератора при снижении его оборотов.

4.3.2 Выбор передаточного механизма

Передача от ветродвигателя к генератору может быть осуществлена различными способами, основная задача сохранить передаточное число $1/20$. Это соотношение устанавливается следующим расчетом: при средней скорости ветра в 5 м/с ротор вращается со скоростью 40-60 об/мин. Для получения от генератора нормального напряжения, якорь его должен вращаться со скоростью 1000-1200 об/мин. Следовательно, соотношение передач должно быть равно $1/20$. Вт.

Система передач показана на рисунке 4.2. Шкивы вытачиваются из металла и соединяются между собой ременной передачей. Диаметр первого ведущего шкива равен 200 мм, ведомого 50 мм. Передаточное число $200/50=4$. Диаметр второго ведущего шкива равен 250 мм, ведомого 50 мм. Передаточное число $250/50=5$. Общее передаточное число $4 \cdot 5=20$. При скорости вращения ротора ветродвигателя 60 об/мин, первый ведомый шкив и второй ведущий шкив вращаются со скоростью 240 об/мин, а второй малый ведомый шкив, укрепленный на роторе генератора - 1200 об/мин. Ведущий шкив насаживается

на нижний конец вала ротора ветродвигателя. Диаметр оси первого ведомого шкива равен 15-20 мм. Оси вращаются в таких же подшипниках, в каких и ось ротора ветродвигателя.

4.4 Устройство, усиливающее ветровой поток

Это устройство позволяет собрать поток ветра с большей площади поперечного сечения и направляет его через меньшее сечение. Эта система похожа на поток воды по трубам разного сечения, соединенных последовательно. По этим трубам объем воды, проходящей в единицу времени, будет одинаковый, а скорость потока в трубе меньшего сечения будет больше, чем в трубе большего сечения. Отношение скоростей потока воды в трубах будет обратно пропорциональным сечению труб.

Из закона сохранения энергии следует, что скорость ветра за вращающимися лопастями ветродвигателя всегда будет меньше, чем перед ними. Таким образом, цилиндрический поток воздуха, движущийся на ветродвигатель со скоростью v_1 , должен превратиться в такой же поток, но движущийся с меньшей скоростью v_2 . Эта закономерность изменения скоростей заложена в основу разработки конструкции ветроусилителя. Объем потока ветра пропорционален скорости ветра и площади поперечного сечения, через который он проходит. Это иллюстрируется формулой

$$V_{\text{ветра}} = v_1 \cdot S_1 = v_2 \cdot S_2, \text{ м/с} \quad (4.9)$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{S_2}{S_1}. \quad (4.10)$$

Откуда:

$$v_2 = \frac{v_1 \cdot S_1}{S_2}. \quad (4.11)$$

При $v_1 = 5 \text{ м/с}$, $S_1 = 0,77 \text{ м}^2$, $S_2 = 0,32 \text{ м}^2$ вычисляем величину v_2

$$v_2 = \frac{5 \cdot 0,77}{0,32} = 12 \text{ м/с}. \quad (4.12)$$

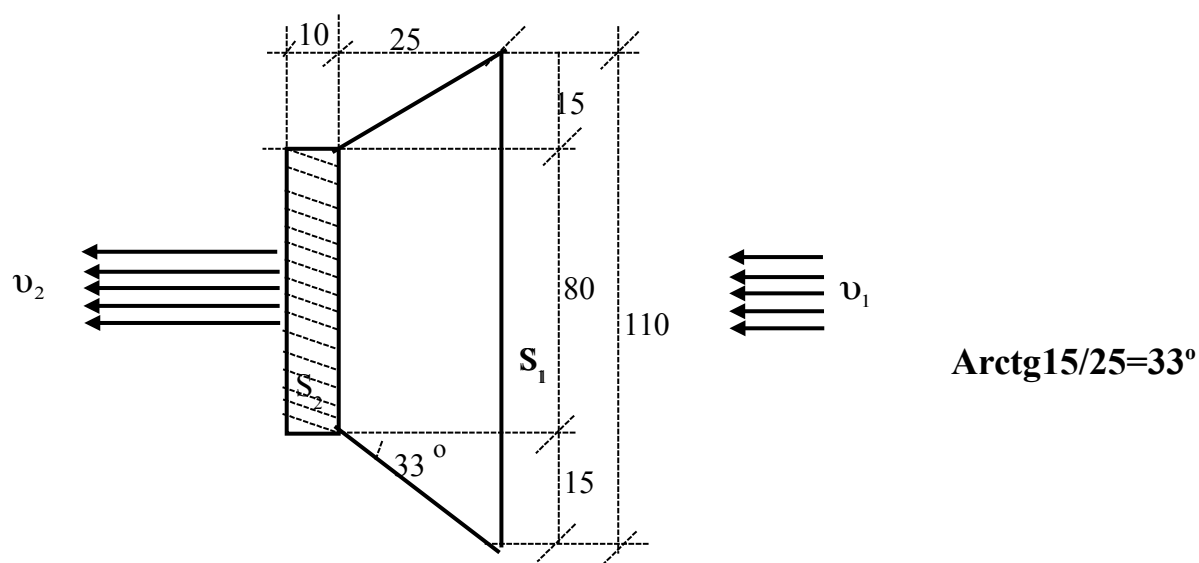


Рисунок 4.6 - Ветроусилитель (вид сечения флюгера)

Скорость ветра теоретически увеличивается в 2,4 раза, но с учетом потерь на трение о стенки ветроусилителя фактическое увеличение v_2 будет меньше. Из-за потерь скорости ветра увеличено S_1 относительно S_2 не в 2 раза, а с запасом в 2,4 раза.

При выборе сечения флюгера ветродвигателя необходимо соблюсти условие - боковая площадь сечения флюгера $S_{фл}$, должна быть больше боковой площади ветроусилителя $S_{бу}$. При несоблюдении управлять направлением флюгера под воздействием ветра боковая поверхность ветра, а не флюгера.

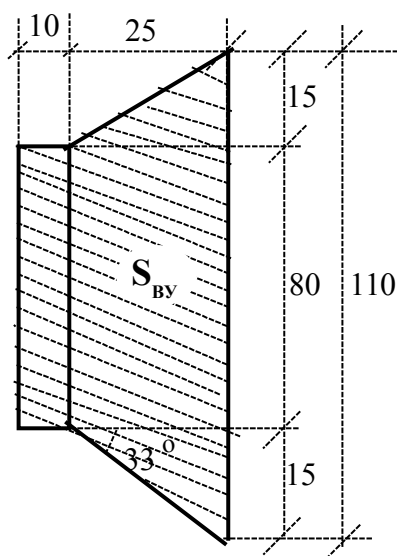


Рисунок 4.7 - Боковое сечение ветроусилителя

По размерам конструкции ветроусилителя вычисляем сечение его боковой поверхности

$$S_{\text{ВУ}} = 0,1 \cdot 0,4 + \frac{0,4 + 0,7}{2} \cdot 0,25 = 0,04 + 0,138 = 0,178 \text{ м}^2 \quad (4.13)$$

Принимаем площадь боковой поверхности флюгера равной $0,5 \text{ м}^2$, что превышает $S_{\text{ВУ}}$ в 2,8 раза.

$$S_{\text{фл}} = 0,5 \cdot 1,0 = 0,5 \text{ м}^2. \quad (4.14)$$

4.5 Стоимость ветроэнергетической установки

Статьи затрат:

1. Аккумулятор- 7 тыс. тенге
2. Реле-регулятора- 2 тыс. тенге
3. Генератор – 7 тыс. тенге
4. Подшипники – 1 тыс. тенге
5. Ремни- 1 тыс. тенге
6. Пиломатериалы- 4 тыс. тенге
7. Монтажные работы – 13 тыс. тенге
8. Эксплуатационные расходы- 3% от кап. затрат

Итого:

Стоимость установки = Кап. затраты + $0,03 \cdot 35000 \cdot 8 = 43400$ тнг.

4.6 Расчеты мощности разрабатываемой ВЭУ роторного типа

Мощность будет рассчитываться по формуле мощность ветра $P_0 = \rho S v_1^3 / 2$, [Л32] но также нужно будет учитывать КПД установки и максимальную энергию, которую можно отнять у ветра.

Для расчёта были приняты размеры для ВЭУ, лопасти которой имеют размеры 1,5м длину и 2,5м в ширину, скорость ветра 4,4 м/с была взята в метеорологическом центре Павлодарской области за 2010 год.

$$P_0 = \frac{1,22 \cdot 1,5 \cdot 2,5 \cdot 4 \cdot 216 \cdot 0,8 \cdot 0,59}{2} = 93 \text{ Вт.}$$

За 1 год = $0,932 \cdot 8760 = 8164$ кВт/час.

Таблица 4.1 – Преимущества роторной ВЭУ перед ТЭЦ (данные за 1 час)

Критерии	Традиционная Станция, ТЭЦ	Ветровая станция
Выбросы в атмосферу вредных веществ на 1 МВт, кг	25	0
Использование чистой воды, м ³	60	0
Выброс грязной воды, м ³	0,5	0
Затраты на охрану природы, %	30	0

Выводы по главе 4

1) Исследуемая конструкция предлагаемой ВЭУ позволяет её использовать для электроснабжения бытовых потребителей на отгонных пастбищах, на полевых станах, лесничествах, отдаленных жилых домах и помещениях.

2) Для усиления скорости потока ветра, поступающего на ветродвигатель, разработан усилитель скорости ветра, повышающий производительность ВЭУ в два раза.

1) Данная конструкция выгодно отличается от ВЭУ с пропеллерной вертушкой. Во-первых, она не требует при изготовлении большой точности и дает широкий выбор применяемых материалов. Во-вторых, она компактна. Мощность генератора, приводимого в действие барабаном, диаметром всего около метра, будет такой же, как при использовании трехлопастного пропеллера диаметром 2,5м. Есть у барабана и еще ряд достоинств: большой крутящий момент при малых оборотах (значит, можно обойтись либо без редуктора, либо использовать, простейший одноступенчатый).

5 СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЕРТИКАЛЬНО-ОСЕВЫХ И ГОРИЗОНТАЛЬНО-ПРОПЕЛЛЕРНЫХ ВЕТРОУСТАНОВОК

5.1 Сопоставительные оценки отличительных особенностей роторной и пропеллерной ВЭУ

Вертикально-осевые и горизонтально-пропеллерные ВЭУ - принципиально разные устройства, многие технические решения которых не повторяются. Поэтому кроме нечувствительности вертикально-осевых ВЭУ к направлению ветра, как явно положительного качества, существует целый ряд других принципиальных особенностей и конструктивных решений, которые являются не менее важными. Ниже приведены некоторые сопоставительные оценки отличительных особенностей вертикально-осевой и горизонтально-пропеллерной ВЭУ. При этом рассматриваются горизонтально-пропеллерный ВЭУ в традиционном исполнении и вертикально-осевая ветроэнергетическая установка с Н-ротором Дарье.

Ориентация на ветер: Наибольшая эффективность горизонтально-пропеллерных ВЭУ достигается только при условии обеспечения постоянной коллинеарности оси ветроколеса и направления ветра. Необходимость ориентации на ветер требует наличия в конструкции ВЭУ механизмов и систем для непрерывного слежения за ветровой обстановкой, поиска направления с максимальным ветровым потенциалом, поворота ветроколеса в этом направлении и его удержание в таком положении. Наличие в конструкции ВЭУ системы ориентации на ветер само по себе усложняет ветроагрегат и снижает его надежность. По данным опыта эксплуатации зарубежных ВЭУ до 13% отказов приходится на системы ориентации. Кроме этого, при постоянных изменениях направления ветра практически невозможно эффективно ориентировать ветроколесо из-за запаздывания действия механизмов ориентации. Для установок мегаваттного класса с диаметром ветроколеса более 30 м эффективность его ориентации на ветер снижается вследствие некомпланарности и различия в скоростях ветрового потока по диаметру размаха лопастей, что приводит к невозможности установки ветроколеса в оптимальное направление ориентации. Из-за этого, вследствие уменьшения используемой энергии ветрового потока, снижается выработка электроэнергии и экономическая эффективность ветроагрегата. К конструктивным недостаткам системы горизонтально-пропеллерных ветроагрегатов можно отнести тот факт, что необходимо разрывать жесткую связь между гондолой с ветроколесом и опорной башней, что обуславливает появление автоколебаний и различие в частотных характеристиках подвижной и неподвижной частей конструкции и в

конечном счете снижает надежность и увеличивает эксплуатационные затраты. Место разрыва жесткой связи между гондолой и башней также требует внимания в части передачи электроэнергии с вращающегося вместе с гондолой генератора к выходам на потребителя, находящимся на земле.

Чтобы избежать скручивания силовых шин либо ограничивают угол поворота гондолы с последующей ее раскруткой либо применяют токосъемник. И в том и в другом случае в конструкцию вводятся дополнительные усложнения, снижающие ее надежность. Таким образом, эффективность работы горизонтально-пропеллерного ветроагрегата снижается за счет запаздывания системы ориентации гондолы с ветроколесом при изменении направления ветрового потока и постоянного несовпадения оси вращения ветроколеса с направлением скорости ветра. Во-вторых, системы поворота гондолы для ориентации на ветер и поворота лопастей требуют соответствующих приводов, т.е. при работе горизонтально-пропеллерные ВЭУ на собственные нужды постоянно потребляют определенное количество энергии, что в конечном итоге уменьшает годовую выдачу ВЭУ электроэнергии. Эффективность же работы вертикально-осевых ВЭУ принципиально не зависит от направления ветра, в связи, с чем отпадает необходимость во всех системах и механизмах ориентации на ветер. Жесткое крепление опорного узла ротора на башне вертикально-осевой ВЭУ исключает возникновение автоколебаний и упрощает динамику конструкции.

Коэффициент использования энергии ветра: Теоретически доказано, что коэффициент использования энергии ветра идеальных горизонтально-пропеллерного и вертикально-осевого роторов составляет 0,539. Это объясняется тем, что роторы обоих типов используют эффект возникновения подъемной силы при обтекании ветровым потоком профилированного крыла. Достигнутые к настоящему времени фактические коэффициенты использования энергии ветра у горизонтально-пропеллерных ВЭУ и вертикально-осевых ВЭУ также одинаковы и лежат в пределах 0,4 - 0,45.

Поворот лопастей: Поворот лопастей горизонтально-пропеллерного ВЭУ применяется как средство удержания ветроколеса на постоянной рабочей скорости вращения при постоянно изменяющейся скорости ветра и как средство торможения ветроколеса при превышении ветром предельно допустимой скорости. Применение системы поворота лопастей значительно усложняет конструкцию ВЭУ, т.к. при этом необходимы и система непрерывного слежения за числом оборотов и поворотные устройства с гидроприводами для каждой лопасти и система автоматического управления углами поворота лопастей. Поворот лопастей вертикально-осевой ВЭУ был бы весьма эффективен не только для торможения ротора, но и для поддержания оптимального угла атаки во всех положениях лопасти на окружности вращения. Вертикально-осевые

ВЭУ с таким регулированием положения лопасти в настоящее время применения не нашли по следующим соображениям: во-первых, лопасть за один оборот должна произвести несколько качаний, сориентированных на направление ветра, во-вторых, системы и устройства для поворота лопастей представляют значительную сложность и снижат надежность ВЭУ, в-третьих, ВЭУ станет зависимой от направления ветра.

Однако главным аргументом в пользу отказа от поворота лопастей остается тот факт, что и без поворота лопастей эффективность вертикально-осевых ВЭУ находится на уровне горизонтально-пропеллерных ВЭУ.

Конструкция и эффективность лопасти: Все сечения лопасти горизонтально-пропеллерного ВЭУ находятся в разных энергетических состояниях из-за разницы их окружных скоростей и углов атаки. Для уменьшения влияния этого явления на эффективность съема лопастью энергии ветра применяют крутку профиля и сужение концевой части лопасти. Эти меры сглаживают существенные различия в энергетике отдельных сечений пропеллерных лопастей и повышают их эффективность, однако полностью не устраняют указанные недостатки пропеллерного ветроколеса. При этом крутка лопасти и ее сужение к концевой части усложняют форму лопасти и ее конструктивную схему, что приводит к усложнению технологии ее изготовления.

Вертикальная лопасть Н-ротора Дарье конструктивно выполнена более простой - прямоугольной и симметричной относительно хордовой плоскости. Все сечения лопасти имеют одинаковую быстроходность, и, следовательно, одинаковую эффективность. У вертикально-осевых ВЭУ значение снимаемой энергии незначительно изменяется по длине лопасти, причем это изменение зависит, только от разницы скорости ветра по высоте. Потери Н-ротора Дарье связаны с неоптимальными углами атаки в разных положениях лопасти по окружности вращения и падении вращающего момента в положениях, когда лопасть движется вдоль ветрового потока. Таким образом при более простой конструкции лопасти Н-ротора Дарье эффективность съема энергии ветра лопастями ВЭУ обоих типов находится на одном уровне.

Быстроходность: Среди горизонтально-пропеллерных ВЭУ наибольшее распространение получили установки с быстроходностью 5 -7 (отношение линейной скорости лопасти к скорости ветра) и числом лопастей 2 или 3. Они обеспечивают самый высокий коэффициент использования энергии ветра, т. е. наиболее эффективны. При этом, у горизонтально-пропеллерных ВЭУ с ветроколесами больших диаметров возрастает влияние некомпланарности скорости ветра по высоте, воздействие гравитационных сил, вызывающих пульсирующие нагрузки на конструкцию ВЭУ и кориолисовой силы при повороте гондолы с вращающимся ветроколесом. Эти влияния и воздействия

тем значительнее, чем выше быстроходность ветроколеса, которая требует повышенного внимания к динамической устойчивости работы всех вращающихся элементов, повышенные требования к прочности конструкции и точности ее изготовления, к качеству сборки и балансировке вращающихся деталей и узлов. С этой точки зрения трудно переоценить вертикально-осевую схему, принципиально обеспечивающую ВЭУ тихоходную работу. Оптимальная быстроходность 2-х лопастного Н-ротора Дарье не превышает значения - 3, а у трехлопастного ротора она еще ниже.

Необходимо учесть, что все энергетические характеристики Н-ротора Дарье остаются на уровне этих характеристик горизонтально-пропеллерного ветроколеса. Но, при этом, снижение быстроходности в 2 - 3 раза упрощает требования к опорно-трансмиссионным узлам и улучшает условия их эксплуатации благодаря снижению уровня динамичности ротора. Работающие ВЭУ являются источниками аэродинамических шумов, образующихся при движении лопастей в воздушном потоке, и механических шумов от работающих механизмов (например, генератор, мультипликатор, опорные узлы). Уровень аэродинамических шумов Н-ротора Дарье значительно ниже, чем у аналогичного по размеру горизонтально-пропеллерного ветроколеса из-за более низкой линейной скорости движения лопастей. У горизонтально-пропеллерных ВЭУ главный вектор распространения инфразумов направлен в плоскости ветроколеса по всем направлениям, а у вертикально-осевых ВЭУ вверх и вниз по оси вращения ветротурбины. Следовательно, зона распространения инфразумов у горизонтально-пропеллерного ВА значительно больше, чем у вертикально-осевых. Основные источники механических шумов горизонтально-пропеллерных ВЭУ (генератор и мультипликатор) расположены в гондоле на высоте опорной башни, в связи с чем радиус их затухания гораздо больше, чем у вертикально-осевых ВЭУ, у которых это оборудование размещено в машинной станции на земле. Линейная скорость вращения лопастей вертикально-осевых ВЭУ значительно ниже, чем у горизонтально-пропеллерных, в связи, с чем радиус разлета наледи с лопастей и обломков лопастей при их разрушении у Н-ротора значительно меньше, чем у горизонтально-пропеллерного ветроколеса.

Из сравнения видно, что горизонтально-пропеллерные ВЭУ уступают вертикально-осевым по следующим характеристикам:

- 1) Необходимость ориентации ветроколеса на ветер снижает эффективность ВЭУ за счет запаздывания поворотов гондолы за постоянно меняющимся направлением ветром и неколлинеарности оси ветроколеса и направления скорости ветра, усложняет конструкцию и снижает надежность ВЭУ за счет введения специальных систем и механизмов.

2) Работа ВЭУ с постоянной скоростью вращения ветроколеса, что обеспечивает максимальный съем энергии в узком диапазоне рабочих скоростей ветра и, соответственно, снижает эффективность ВЭУ.

3) Размещение генератора и мультипликатора в гондоле на верхнем торце опорной башни усложняет требования к их габаритным и массовым характеристикам, также усложняет условия эксплуатации конструкций за счет возникновения дополнительных вибраций, толчков и, соответственно, повышения уровня нагрузки опорной башни, мультипликатора, генератора, ухудшает условия монтажа и эксплуатации оборудования из-за его расположения на высоте опорной башни, усложняет передачу вырабатываемой электроэнергии из вращающейся гондолы на неподвижную опорную башню.

4) Применение поворота лопастей для регулирования скорости вращения ветроколеса усложняет конструкцию, кроме этого применяемые в автономных ВЭУ инерционные регуляторы отличаются неточностью регулирования.

5) Уменьшение хорды и крутка сечений к концевой части лопасти, применяют для выравнивания аэродинамической отдачи всех ее сечений, что повышает энергетику лопасти, но и приводит к усложнению конструкции и технологии ее изготовления.

6) Повышенная быстроходность ветроколеса повышает требования к его динамической устойчивости, балансировке, прочности и надежности.

7) Повышенная быстроходность ветроколеса приводит к повышенному воздействию на окружающую среду за счет высокого уровня аэродинамических и механических шумов, большого радиуса разлета наледи и осколков лопасти в случае ее разрушения. Кроме этого вращающееся ветроколесо создает на пути птиц непреодолимую преграду.

Ниже приводится сравнительная характеристика удельной механической мощности (удельная мощность - это мощность, вырабатываемая 1 м^2 рабочей поверхности) роторной и пропеллерной ВЭУ (рис. 5.2) и сравнительная характеристика выработки электроэнергии для ветра, полученная экспериментально (рис. 5.3). Мощность генератора, приводимого в действие барабаном, диаметром всего около метра, будет такой же, как при использовании трехлопастного пропеллера диаметром 2,5 м.

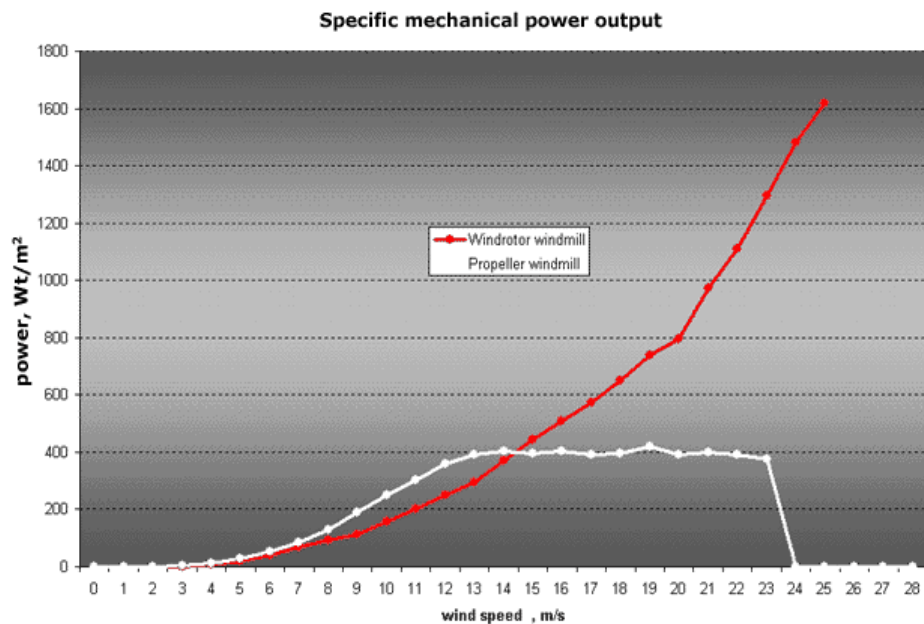


Рисунок 5.2 - Сравнительная характеристика удельной механической мощности от скорости ветра

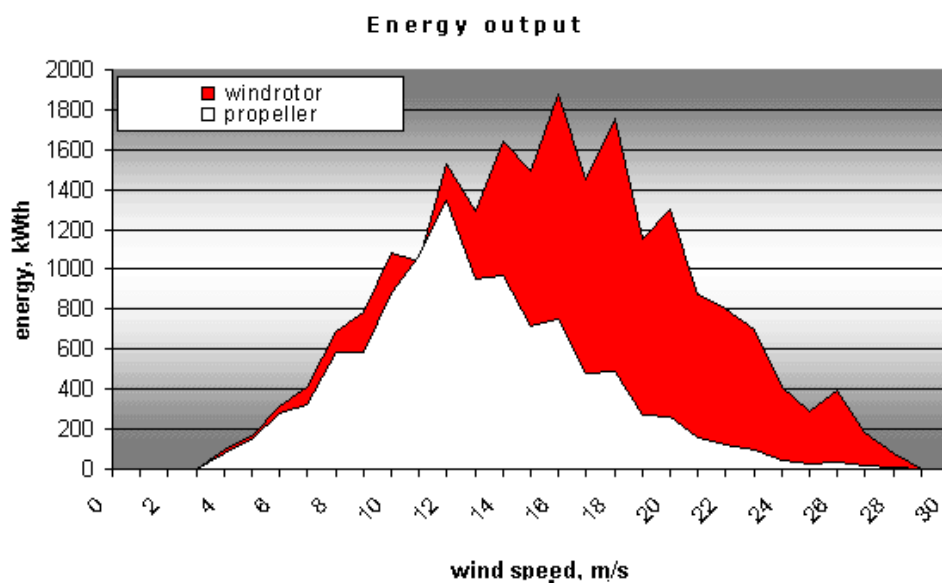


Рисунок 5.3 - Сравнительная характеристика выработки электроэнергии для ветра

Горизонтально-пропеллерные ВЭУ имеют более рациональные силовую схему ветроколеса и динамику опорной башни:

- рациональность силовой схемы ветроколеса за счет крепления лопастей к ступице, расположенной непосредственно на оси вращения, что не требует дополнительных узлов крепления лопасти и создает оптимальность ее нагрузки;

- оптимальная материалоемкость опорной башни, за счет распределения частоты резонанса ее собственных колебаний ниже возмущающих рабочих частот ветроколеса.

Таким образом, проведенный анализ показал, что благодаря таким принципиальным особенностям, как отсутствие необходимости ориентации на ветер, работа с переменной скоростью вращения, нижнее расположение генератора и мультипликатора, самозапуск ротора при любом направлении ветра, отсутствие поворота лопастей, постоянство сечения лопастей по длине, тихоходность, минимальное воздействие на окружающую среду, автономные вертикально-осевые ветроустановки с выгодно отличаются от традиционных горизонтально-осевых ВЭУ по таким характеристикам, как эффективность, простота конструкции, надежность, экологическая чистота, удобство технического обслуживания и ремонта.

В настоящее время существуют разные типы ВЭС с различными техническими и энергетическими характеристиками (ниже указаны коэффициенты использования энергии ветра различных ветроэнергетических установок рис. 5.1).

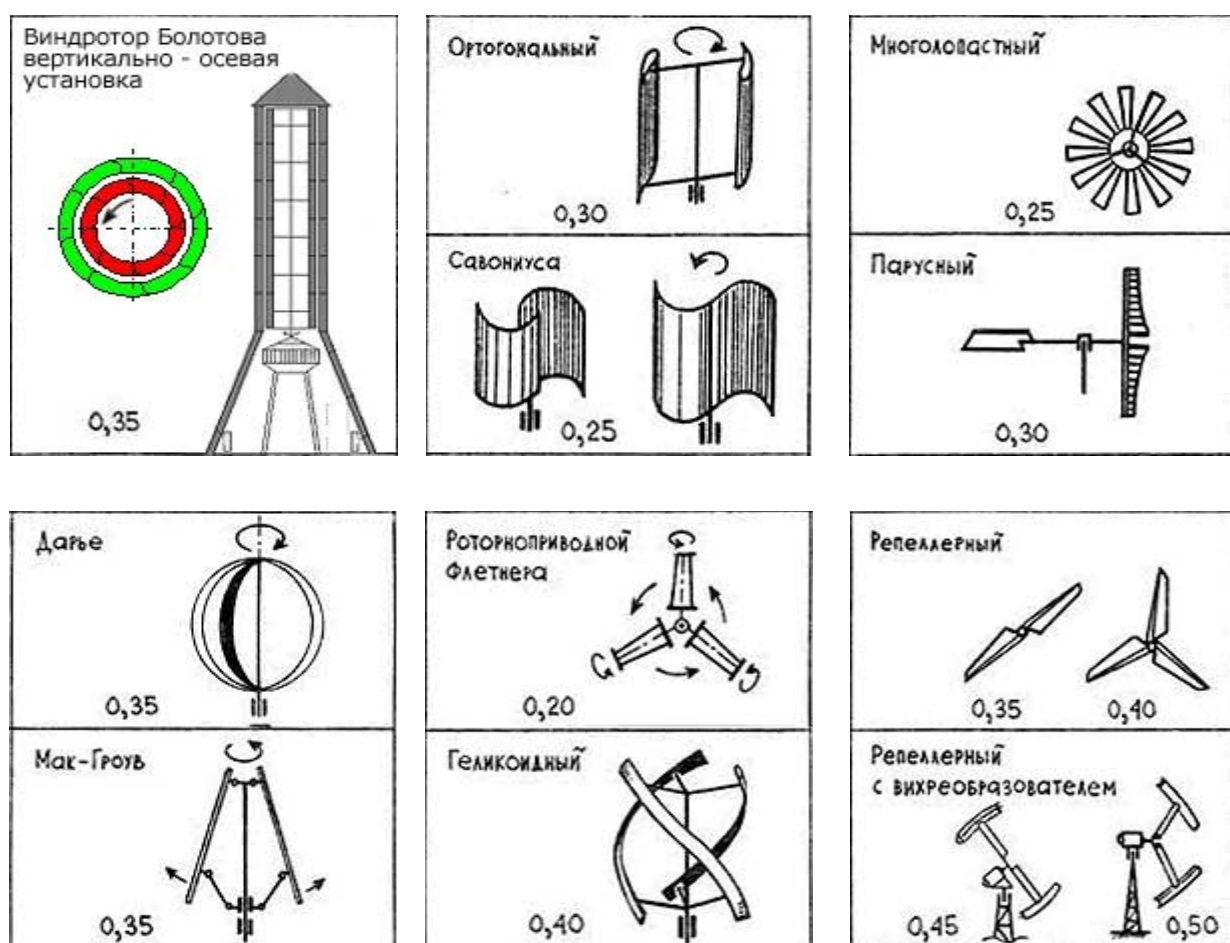


Рисунок 5.1- Коэффициент использования энергии ветра различных ВЭУ

Пропеллерные ветростанции имеют 1, 2 или 3 лопасти сложной конструкции, дорогой редуктор, систему контроля и тормоза. Известно, что из ветра максимально можно извлечь 59 % кинетической энергии, после чего движение воздуха прекратится.

Преобразование кинетической энергии ветра пропеллерными станциями в механическую широко варьируется в пределах от 10 до 30 %, в зависимости от типа станции. Можно уточнить, что эти результаты верны только в том случае, если направление ветра перпендикулярно рабочему профилю лопастей станции. При порывистом и изменчивом ветре результаты извлечения энергии ветра более удручающие, поскольку системы "наведения на ветер" являются примитивными в виде хвоста и расположены за рабочей поверхностью пропеллера, в "отработанном" потоке воздуха, а не в поступающем. Из-за неэффективности даже такого наведения на ветер многие современные ветростанции выпускаются без системы "наведения" (в больших станциях "наведение на ветер" осуществляется за счет поворота лопастей пропеллера специальным механизмом). Механическая энергия пропеллерных станций преобразуется в электрическую с КПД 50-69 %. Другой факт - пропеллерные станции часто выходят из строя из-за высоко расположенного ВЭУ, поскольку не производится ежегодное обслуживание и замена масла. Как результат - относительно высокая стоимость кВт/ч электроэнергии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ результатов научно-исследовательской работы, представленных в диссертации, позволяет сделать выводы о том, что её цель достигнута, а поставленные в ней задачи решены. Основные научные и практические результаты работы состоят в следующем:

1) Проведенные в данной работе исследования имеющихся ресурсов ветра в Павлодарской области, позволяют сделать вывод о возможности широкого использования ВЭУ на территории области. Проведенные исследования позволили разработать экологически чистый автономный источник электрической энергии, в котором используется энергия ветра. Для усиления скорости потока ветра, поступающего на ветродвигатель, разработан усилитель скорости ветра, повышающий производительность ВЭУ в два раза.

2) Простота изготовления элементов предлагаемой конструкции ветродвигателя, использование стандартного оборудования в электрической части ВЭУ дает широкие возможности её использования, в качестве автономного источника энергии, даже при низких скоростях ветра.

3) Данная конструкция выгодно отличается от ВЭУ с пропеллерной вертушкой. Во-первых, она не требует при изготовлении большой точности и дает широкий выбор применяемых материалов. Во-вторых, она компактна. Мощность генератора, приводимого в действие барабаном, диаметром всего около метра, будет такой же, как при использовании трехлопастного пропеллера диаметром 2,5м. И если пропеллерную вертушку нужно устанавливать на высокой штанге или на крыше дома (этого требует техника безопасности), то вертушку-барабан можно ставить прямо на земле, под навесом. Есть у барабана и еще ряд достоинств: большой крутящий момент при малых оборотах (значит, можно обойтись либо без редуктора, либо использовать, простейший одноступенчатый), отсутствие щеточного токосъемного механизма.

4) Проведенный сопоставительный анализ показал, что благодаря таким принципиальным особенностям, как отсутствие необходимости ориентации на ветер, работа с переменной скоростью вращения, нижнее расположение генератора и мультипликатора, самозапуск ротора при любом направлении ветра, отсутствие поворота лопастей, постоянство сечения лопастей по длине, тихоходность, минимальное воздействие на окружающую среду, автономные вертикально-осевые ВЭУ с выгодно отличаются от традиционных горизонтально-осевых ВЭУ по таким характеристикам, как эффективность, простота конструкции, надежность, экологическая чистота, удобство технического обслуживания и ремонта.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Научно-техническая программа «Разработка перспективных источников возобновляемой энергии на 2008-2015 годы», Астана, 2007г.
2. Я.И. Шефтер «Использование энергии ветра», М.: Энергоатомиздат., 1983г.
3. «Информация о перспективах развития ветроэнергетики и законодательных механизмах по ВИЭ», подготовленный Дорошиным Г.А., руководителем проекта по ветроэнергетики Программы развития ООН, www.memr.gov.kz.
4. А.А. Фёдоров «Справочник по электроснабжению и электрооборудованию», Энергоатомиздат, М. - 1986г. С. 261.
5. А.В. Дробинский, С.М. Леонов статья «Современное развитие ветроэнергетических систем в Казахстане и мире», сборник трудов «Новые технологии на транспорте в энергетике и строительстве», г. Омск, 2 – 3 декабря, 2010 года, С. 271.
6. А.В. Дробинский, С.М. Леонов: статья «Перспективы использования ветроэнергетики Казахстана», г. Усть-Каменогорск, ВКГТУ им. Д. Серикбаева, 22-23 апреля 2010 г.).
7. Стратегический план (проект) ПРООН Министерства энергетики и минеральных ресурсов на 2009 –2011 годы.
8. Ветродвижитель системы Савниуса, Авторское свидетельство KZ, 3230 F03д 3/02, Би №1, 1996г.
9. Ветростанция вертикально-осевая ENECSIS.RU Болотов А.В и Болотов С.А. виндротор VAWT, статья за 2010г.
10. Герасимов А., Толмачев В., Уткин К. «Ветроэнергетические установки для автономного энергоснабжения», Новости электротехники, 2006г. - N 2(38). С.50-53.
11. Каргиев В. М., Мартиросов С. Н., Муругов В. П., Пинов А. Б., Сокольский А. К., Харитонов В. П. «Руководство по применению ветроустановок малой и средней мощности», Москва - 2001 г.
12. Бакенов К.А. Болотов А.В. Ветроэлектроустановки для Казахстана. №1, 2009г. С. 29.
13. Болотов С.А. «Вихревая роторная ветроэлектростанция», Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: тр. 3 междунар. науч.-техн. конф., Москва 14-15 мая 2003 г. В 4 ч. Ч.4. - М.:ВИЭСХ, 2003г. С.177-185.
14. Красовский А.А. «Модульные ветроэнергетические установки с управляемым колебательным рабочим движением путь решения энергетических проблем» / Теория и системы управления №6. 2001г., С.145-147.
15. Зуев Н. В. «Использование ветроустановки для автономного энергоснабжения маломощного объекта», С-П, 1998г.

16. Чиженко И.М., Руденко В.С., Сенько В.И. Основы преобразовательной техники, «Промышленная электроника», М., 1984г.
17. Стратегия эффективного использования энергии и возобновляемых ресурсов Республики Казахстан в целях устойчивого развития до 2024 г.
18. www.membrana.ru
19. www.kazenergy.com
20. Я.И. Шефтер, И.В. Рождественский «Изобретателю о ветродвигателях и ветроустановках, М., 1987г.
21. Бакенов К.А. Эффективный электромеханический преобразователь для ветроэлектростанции. Вестник Павлодарского государственного университета. №3, 2009г., С. 6-16.
22. Харитонов В.П. Автономные ветроэлектрические установки // М.: ГНУ ВИЭСХ, 2006г. С. 280.
23. www.energy.com
24. www.ecotoc.ru/alternative_energy/wind_energy/d582
25. Болотов А.В. и Болотов С.А. «Автономное энергоснабжение отдалённых объектов из неисчерпаемых источников энергии», avb@aipet.kz.
26. Янсон Р.А. Ветроустановки: Учеб. пособие по курсам «Ветроэнергетика», «Энергетика нетрадиционных и возобновляемых источников энергии», «Введение в специальность», М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007г.
27. Приходько А.А., Редчиц Д.А. Математическое моделирование динамики и аэродинамики вертикально-осевых ветроагрегатов //Вестник Харьковского национального университета, 2005г. - № 703. Вып.5. С.178-197.
28. Лушников О. Г. «Оптимизация структуры энергетического комплекса на основе возобновляемых источников энергии» / Гидротехническое строительство, 1996г. - № 5. С. 10.
30. Стационарная ветроэнергетическая установка. Авторское свидетельство, RU №2068117, A03д 3/02, 3/04.
31. wetroenergetika.ru
32. Яковлев А.И., Затучная М.А. «Расчет ВЭУ с вертикальной осью вращения», 2002г. С. 61.
33. Грибков С.В. «Ветро-дизельные энергетические комплексы для районов удаленных от централизованных линий электропередачи», Энерг. Политика, 2008г. - Вып.3. С.37-38.
34. Ротор Савониуса (Патент США № 413407, нач.кл. 415-И, 1979.
35. Веников В.А. «Теория подобия и моделирования» (применительно к задачам электроэнергетики), М., 1976г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

экспертной комиссии на магистерскую диссертацию: Исследования и разработка конструкции ВЭУ мощностью 5 кВт

магистрант Леонов Семён Михайлович

1. Актуальность темы исследования: Перспективы развития ветроэнергетики Казахстана обусловлены высоким потенциалом ветровой энергии в РК и «Стратегией территориального развития Республики Казахстан до 2015 года», согласно которой намечены мероприятия по проработке вопроса развития ветроэнергетики в регионах, обладающих значительным потенциалом ветровой энергии. На данный период времени работы по использованию энергии ветра ведутся преимущественно на территориях с хорошими ветровыми условиями. Актуальность заключается в том, что по проведенным исследованиям ветрового потенциала в Павлодарской области, данная конструкция ВЭУ мощностью 5 кВт позволяет обеспечить электроснабжением бытовых потребителей на отдалённых участках, таких как отгонные пастбища, полевые станы, отдаленные жилые дома и помещения.

2. Научные результаты в рамках требований к диссертации: Автором исследована активность ветра на территории Павлодарской области, по которой была построена гистограмма средних скоростей ветра в течении года. Проведены исследования различных конструкций ВЭУ малой и средней мощности. Сделан сопоставительный анализ ветроустановок роторного и пропеллерного типа малой мощности, построены графики сравнительных характеристик ВЭУ. Разработана конструкция ветродвигателя малой мощности предназначенного для энергообеспечения бытовых потребителей. Для усиления скорости потока ветра, поступающего на ветродвигатель, использовался усилитель скорости ветра, повышающий производительность ветродвигателя в два раза.

3. Степень обоснованности и достоверности научных результатов, выводов и заключений магистранта, сформулированных в диссертации: В процессе выполнения исследований использовались последние наработки в данной сфере наук взятые из авторитетных источников научно-технических изданий, а также использовались компьютерные программы Coral Draw, Microsoft Excel. Общий объём теоретических и практических исследований в достаточной мере раскрывают тему диссертации.

4. Подтверждение достаточной полноты публикаций основных положений, результатов, выводов и заключений диссертации: Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на X Республиканской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых преподавателей:

«Творчество молодых – инновационному развитию Казахстана» (г. Усть-Каменогорск, ВКГТУ им. Д. Серикбаева, 22-23 апреля 2010 г.); Региональной научно-технической конференции молодых ученых, студентов, аспирантов (с международным участием): «Новые технологии на транспорте в энергетике и строительстве» (г. Омск, 2 – 3 декабря, 2010 г.), научно – технических семинарах кафедры «Электроэнергетика».

5. Недостатки по содержанию и оформлению диссертации: Недостатки по содержанию заключаются в том, что не ко всем главам сделаны выводы, встречаются опечатки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ экспертной комиссии:

Магистерская диссертация представляет собой выпускную квалификационную работу научного содержания. Экспертная комиссия рекомендует магистерскую диссертацию Леонова С.М. к публичной защите.

Члены экспертной комиссии:

д.т.н., профессор Сальников В.Г.

к.т.н., профессор Калиев Б.К.

к.т.н., доцент Приходько Е.В.