

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт энергетики и электротехники  
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»  
(наименование кафедры)

13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»  
(код и наименование направления подготовки)

Техническое и информационное обеспечение интеллектуальных систем  
электроснабжения  
(направленность (профиль))

## МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему «Исследование возможности строительства ветропарка на территории Самарской области»

Студент

О.В. Податнова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный

А.Е. Бурмутаев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

руководитель

Руководитель программы д.т.н., профессор В.В. Вахнина

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ Г.

**Допустить к защите**

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Вахнина

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ Г.

Тольятти 2019

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1 Краткий обзор ветряных электростанций .....	8
1.1 Устройство и принцип действия ветряных электростанций .....	8
1.2 Системы управления ветряными электростанциями .....	22
1.3 Особенности генерации электрической энергии ветряными станциями.....	25
1.4 Параметры, характеризующие работу ветродвигателя и ветроустановки.....	28
1.5 Выводы по разделу 1 .....	31
2 Исследование ветрообстановки на территории Самарской области и выбор места расположения ветропарка .....	33
2.1 Анализ ветрообстановки на территории Российской Федерации .....	33
2.2 Анализ ветрообстановки на территории Самарской области .....	34
2.3 Выбор места расположения ветропарка .....	35
2.4 Расчет исходных данных к выбору ветроэлектростанции .....	42
2.5 Выводы по разделу 2 .....	45
3 Выбор основного электротехнического оборудования ветропаркаи разработка схемы интеллектуальной системы управления ветропарком.....	47
3.1 Расчет режима и требования к ветроэнергетической установке .....	47
3.2 Разработка структурной схемы ветроэнергетической установки.....	50
3.3 Выбор типа ветроэнергетической установки.....	51
3.4 Выбор конструкции сервопривода.....	56
3.5 Принцип управления углом наклона лопасти ВЭУ .....	59
3.6 Выбор стратегии управления ветроэнергетической установкой .....	61
3.7 Контроллер управления углом наклона.....	64
3.8 Выбор типа ветряного контроллера.....	65
3.9 Обоснование выбора ветроэнергетической установки как вспомогательного источника питания .....	66
3.10 Выводы по разделу 3 .....	67

4 Расчет затрат на реализацию проекта создания ветропарка.....	68
4.1 Расчет затрат на потребленную электроэнергию .....	68
4.2 Укрупненный расчет затрат на подключение к существующим сетям .....	68
4.3 Стоимость установки ветрогенераторов .....	71
5 Мероприятия, обеспечивающие безопасность эксплуатации ветроэнергетических установок .....	73
5.1 Общие правила безопасности .....	73
5.2 Техника безопасности при эксплуатации ветрогенераторных установок.....	74
5.3 Безопасные условия эксплуатации ветропарка .....	75
Заключение .....	81
Список используемых источников.....	83

## ВВЕДЕНИЕ

Использование нетрадиционных источников энергии во многих отраслях экономики все больше привлекают наше внимание. С каждым днем предлагается все больше направления путей развития экономики. Все это в первую очередь взаимосвязано с уменьшением ископаемых природных ресурсов и необходимостью увеличивать охрану окружающей среды.

К основным ископаемым источникам энергии долгое время являются уголь, нефть и газ. Но их запасы не вечны, к тому же их использование приносит достаточно большой вред, как окружающей среде, так и самому человеку. Чтобы уменьшить наносимый вред от ископаемых источников энергии, в последнее время все больше рассматривают альтернативные источники электроэнергии.

В отличие от обычных источников энергии, нетрадиционные источники энергии являются чистыми, надежными и обильными по своей природе. Ухудшение состояния окружающей среды, такое как загрязнение окружающей среды, глобальное потепление и выбросы парниковых газов, которые вызваны обычными источниками энергии и ускоряются в результате постоянно растущей промышленной деятельности во всем мире, является проблемой для всех.

Возобновляемые источники электроэнергии, в частности ветроэнергетика, в настоящее время является перспективным направлением.

В странах, располагающими береговыми линиями, граничащими с морями или океанами, активно развивается ветряная энергетика, а в странах, в которых количество солнечных дней в году, значительно превышает количество пасмурных дней, активно развивается солнечная энергетика. В России её очень продолжительная береговая линия приходится на Северный Ледовитый океан, на побережье которого практически нет населенных пунктов с большим числом проживающего населения. Значительная

удалённость этих районов от густонаселенных районов России, подразумевает строительство очень продолжительных, и очень затратных линий электропередач.

Среди причин, задерживающих развитие альтернативных источников энергии в России, можно привести следующие:

- сложные погодные условия, смена климата по временам года;
- высокая стоимость оборудования для электростанций, использующих альтернативные источники энергии;
- сложности с интеграцией альтернативных источников энергии с существующими энергосетями.

Но несмотря на это, очень медленно, но всё-таки развитие альтернативной энергетики в России происходит. Созданы следующие энергопомощности, использующие энергию ветра [1]:

- действующие электростанции, интегрированные в единую энергетическую систему (ЕЭС) России, общей мощностью 9,725 МВт (шесть станций);
- действующие электростанции, не интегрированные в ЕЭС, общей мощностью 95,725 МВт (одиннадцать станций).

В настоящее время спроектированы, и возможно будут построены ещё 11 ветропарков, общей мощностью 801 МВт. Причем две из них действительно больших размеров. Это Пилотная ветряная электрическая станция (ВЭС) компании ВетроОГК мощностью 460 МВт для размещения в Краснодарском крае и Шовгенская ВЭС мощностью 150 МВт для Республики Адыгея [2].

Актуальность работы.

Ветроэнергетика, потребляющая в качестве источника энергии возобновляемый источник (ветер), имеет непрерывный вектор своего развития. Для этого множество причин, среди которых можно выделить следующие три группы основных причин:

1) экономического характера (высокие цены на углеводородное сырье и т.д.);

2) экологического характера (катастрофы на атомных станциях, истощение природных ресурсов, негативное влияние на окружающую среду создание гидроэлектростанций и т.п.);

3) политического характера (стремление государств без углеводородных полезных ископаемых к энергонезависимости).

Многие страны предоставляют определенные преференции как производителям продукции (электростанций, использующим возобновляемые источники энергии) так и потребителям ветроэнергетики (налоговые льготы, более низкие тарифы). Для России данные проблемы также актуальны. Поэтому актуальность темы обусловлена необходимостью опытной разработки ветряной электростанции на территории Самарской области с целью оценки её технико-экономических показателей и перспектив применения.

Цель работы.

Целью данной работы является разработка ветропарка на территории Самарской области.

Задачи исследования.

1. Выполнить сравнительный анализ ветрогенераторов, электрических схем станций по генерации энергии с использованием ветроустановок.

2. Провести исследование ветрообстановки на территории Самарской области и выбор места расположения ветропарка.

3. Провести выбор основного электротехнического оборудования ветропарка и разработка схемы интеллектуальной системы управления ветропарком.

Практическая значимость.

Разработанный ветропарк позволяет оценить перспективность использования ветряных электростанций на территории Самарской области.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Конструкция ветропарка, включающая в себя механическую часть, генераторное оборудование и интеллектуальную систему управления.

Новизна магистерской диссертации

1. Новизна работы заключается в конструкции ветропарка, включающая в себя механическую часть, генераторное оборудование и интеллектуальную систему управления.

Основные материалы диссертации докладывались на IV Международной научно-практической конференции «Теория и практика приоритетных научных исследований» г. Смоленске (30 ноября 2018 г.), III Международной научно-практической конференции «Современные тенденции в науке, технике, образовании» г. Смоленск (31 марта 2018 г.), III Международной научно-практической конференции «Новые направления и концепции в современной науке» г. Смоленск (25 марта 2019 г.).

По теме диссертации опубликовано 3 научные статьи [14, 17, 18].

Структура и объём работы.

Структура: введение, 5 разделов, заключение, список использованной литературы.

Пояснительная записка содержит 86 страниц машинописного текста.

# **1 Краткий обзор ветряных электростанций**

## **1.1 Устройство и принцип действия ветряных электростанций**

Ветрогенераторы - альтернативные источники энергии будущего. Ветрогенераторы преобразуют кинетическую энергию ветра в электрическую и относятся к альтернативным источникам энергии [3].

Ветрогенераторы можно разделить на две категории: промышленные и для частного использования. В отличие от традиционных источников, ветрогенераторы не загрязняют окружающую среду и позволяют создавать устойчивые альтернативные источники энергии без затрат на топливо. Современные ветрогенераторы конечно, более производительны чем ветряки. Количество вырабатываемого ими электричества зависит от силы ветра и площади лопастей пропеллеров. Особенны эффективны ветрогенераторы в прибрежных районах крупных водоемов: озер, морей, океанов, где штиля практически не бывает. В последние несколько лет, ввиду всё более обостряющегося топливно-энергетического кризиса, развитие альтернативных источников энергии и, в частности, ветрогенераторов, получило дополнительный толчок. Современная жизнь человека немислима без электричества, даже в отдаленных от электроснабжения районах. Ветряные производители экологически чистой энергии света выполняют роль альтернативного источника [4].

Преимущества использования ветряных турбин включают следующее: это неисчерпаемый, возобновляемый по своей природе источник энергии, потому что, пока солнце светит, будет движение воздушных потоков, которые являются основной силой, через которую электрическая энергия производится. Производство энергии с помощью воздушных масс является экологически чистым процессом, который не наносит вреда окружающей среде. Строительство объектов ветроэнергетики является краткосрочным событием, поэтому быстрая установка ветрогенераторов обуславливает



сравнительно низкую стоимость монтажных работ по сравнению со строительством других объектов энергетики. К недостаткам ветроэнергетики относятся: эффективность установок, использующих энергию ветра в своей работе, зависит от географического положения, погодных условий, времени года и времени суток. Этот недостаток определяет возможность использования ветрогенераторов в определенном регионе планеты. При строительстве мощных электростанций требуются значительные земельные участки, которые должны быть исключены из общего оборота земель. Потребность в значительных первоначальных затратах, наличие которых подразумевает инвестиции в отрасль, на начальном этапе развития. Потенциальная опасность для птиц и других летающих организмов. Наличие отрицательных качеств, которыми обладает энергия ветра, не может перевесить число положительных. Можно с уверенностью сказать, что такая область энергии, как энергия ветра, будет развиваться в будущем. Наличие отрицательных качеств, которыми обладает энергия ветра, не может перевесить число положительных. Можно с уверенностью сказать, что такая область энергии, как энергия ветра, будет развиваться в будущем.

Наиболее экономически выгодным в наши дни считается получение электроэнергии переменного, либо постоянного тока используя энергию ветра, после чего преобразование ее используя нагреватели для отопления домов и производства горячей воды. У схемы существуют преимущества, основной потребитель энергии в каждом доме это отопление. Сильно облегчена схема ветрогенераторов и автоматического управления. В облегченном варианте существует возможность строения схемы на нескольких тепловых реле. Простой котел для отопления и горячего водоснабжения, уместно возможно применить в качестве электрического аккумулятора.

Виды ветрогенераторов [5].

Существует две разновидности ветрогенераторов: с горизонтальным расположением ротора и вертикальным ротором. Первый тип является

наиболее распространенным. Он характеризуется высокой эффективностью (40-50%), но обладает повышенным уровнем шума и вибрации. Кроме того, для его установки требуется большое свободное пространство (100 метров) или высокая мачта (6 метров).

Ветрогенераторы с горизонтальной осью [6].

Давайте перейдем к описанию горизонтальных ветряных турбин. По количеству лопастей они делятся на один-два-три (см. рисунок 1) и многолопастные. Преимущества горизонтальности заключаются в более высокой эффективности по сравнению с их вертикальными конкурентами. Недостаток: необходимость устройства флюгера для постоянного поиска направления ветра. Кроме того, при развороте скорость ветра уменьшается, что снижает его эффективность.



Рисунок 1- Ветрогенераторы с горизонтальной осью

Основное преимущество однолопастного – высокие обороты вращения. У них вместо второй лопасти установлен противовес, мало влияющий на сопротивляемость движению воздуха, что даёт возможность использовать их

для генераторов с высокими оборотами вращения. А это позволяет уменьшить массу и габариты всей установки.

Двухлопастные ВЭУ мало чем отличаются по мощности с однолопастными и рассматривать их более подробно не имеет смысла.

Трёхлопастные горизонтальные ветряки – самые распространённые на рынках сбыта. Их мощность на выходе может достигать семи мегаватт.

Многолопастные установки с числом лопастей до пяти десятков обладают большой инерцией, за счёт чего при небольших оборотах вращения развивают большой крутящий момент. Такое преимущество позволяет использовать установки для работы водяных насосов, где они и занимают лидирующее положение.

Генераторы с вертикальным ротором менее энергоэффективны (КПД почти в 3 раза ниже, чем у горизонтальных). К их преимуществам относятся простота монтажа и надёжность конструкции (см. рисунок 2).



Рисунок 2- Ветрогенератор с вертикальной осью вращения

Низкий уровень шума позволяет устанавливать вертикальные генераторы на крышах домов и даже на уровне земли. Эти подразделения не боятся обледенения и ураганов. Они работают от слабого ветра (от 1,0 до 2,0 м/с), в то время как горизонтальная мельница нуждается в воздушном потоке средней силы (3,5 м/с и выше). Форма рабочего колеса (ротора) вертикальной ветряной турбины очень разнообразна.

Роторные колеса вертикальных ветряков [7].

Благодаря малой частоте вращения ротора (до 200 об/мин), механический ресурс таких установок существенно превышает показатели горизонтальных ветрогенераторов.

При проектировании обычного ветрогенератора, выбор нужно начинать с вертикалок. Основным преимуществом ветросиловых установок с вертикальной осью вращения являются узлы.

Ротор Савониуса для вертикального ветрогенератора [8].

Ротор Савониуса является самым простым. В 1925 году Сигурд Савониус начал производить турбины, подобные поперечным роторным турбинам, которые в 1924 году запатентовали братья изобретатели Воронины.

За нами осталась слава изобретателя этой новинки. Ротор Ворониных-Савониуса, или для краткости, ВС, это, как минимум, два полуцилиндра на вертикальной оси вращения (см. рисунок 3).

И какое бы направление ветра не было, как бы резко он не изменял свои порывы, такой ветряк будет спокойно вращаться вокруг своей оси, вырабатывая энергию. Это единственное и главное преимущество вертикального ветряка перед горизонтальным.

А главный его недостаток – низкое использование ветровой энергии. Объясняется это тем, что лопасти-полуцилиндры работают только в четверть оборота, а остальную часть окружности вращения они как бы тормозят своим движением скорость вращения. Расчёты показали, что при этом используется лишь третья часть ветровой энергии.

Вертикальные ветрогенераторы с ротором Дарье (см. рисунок 4).



Рисунок 3- Ротор Савониуса



#### Рисунок 4- Вертикальные ветрогенераторы с ротором Дарье

В 1931 году французский конструктор Жорж Дарье (George Darrieus) предложил свой вариант ротора, который имеет от двух и более плоских лопастей [9].

Ротор Дарье имеет два недостатка. Первый недостаток заключается во вращении вектора тяги лопасти, которая делает оборот относительно ее фокуса, совершая при этом не ровные движения, а движения рывками. Второй недостаток заключается в частом разрыве ленты, которая рвется из-за ее вибрации. А также слышен сильный визг и рев, который усиливается с увеличением лопастей.

Геликоидный ротор [10].

Ещё один вид ветрогенератора с вертикальной осью вращения – с геликоидным ротором (см. рисунок 5). Он способен равномерно вращаться благодаря закрутке лопастей. Достоинство: уменьшает нагрузку на подшипник и увеличивает срок службы. Но из-за сложной технологии слишком дорогой.



## Рисунок 5- Геликоидный ротор

И, наконец, существуют ветрогенераторы с многолопастным ротором. Это один из самых эффективных типов из разряда вертикальных ветрогенераторов.

Ветрогенераторы являются промышленными, такие ветряные турбины устанавливаются государством или крупными энергетическими корпорациями для обеспечения электроэнергией промышленных объектов. Промышленные ветряные турбины являются самыми крупными и мощными на сегодняшний день, мощность отдельных ветровых турбин рассчитана в мегаваттах, но такие ветряные турбины не устанавливаются по одному и создают огромные ветряные парки в местах, где ветер наиболее подходит для стабильной Производство электроэнергии, например, на побережьях или на открытых холмах. Энергия от ветряных турбин поступает непосредственно в электрическую сеть, а стабильность и скорость генераторов обеспечиваются различными механизмами, например, путем регулировки углов лопастей относительно входящего потока ветра, так что ветровое колесо вращается и, следовательно, генератор работает стабильно.

Также существуют и коммерческие ветрогенераторы, которые устанавливают с целью продажи электроэнергии, или обеспечения энергией различных производств в тех местах где не хватает собственных мощностей, или электросети отсутствуют вовсе. Такие ветроэлектростанции тоже состоят из множества ветрогенераторов различной мощности. Энергия от таких ветрогенераторов может поступать напрямую в электросеть если они вырабатывают стабильное переменное напряжение 220/380 вольт или более. Или ветрогенераторы используются для зарядки большого массива аккумуляторов, с которого потом энергия преобразуется в переменное напряжение и подаётся в электросеть. Существуют и обычные бытовые ветряки малой мощности для частного использования, для установки которых не требуется никаких разрешений если высота мачты не превышает

25 метров и ветрогенератор не является помехой для воздушных судов. Такие ветрогенераторы низковольтные и их основная задача заряжать аккумуляторы с напряжением 12/24/48 вольт, а уже из аккумуляторов берётся энергия, которая преобразуется в 220 вольт 50 Гц как в обычной розетке. Ветряки небольшой мощности часто ставят для обеспечения энергией своих частных домов, дач, подсобных хозяйств, или для питания небольших удаленных объектов.

Различают три класса ветроэлектродгенераторов.

Существует три класса ветроэлектродгенераторов, в зависимости от цели и условий их эксплуатации в зависимости от энергосистемы, к которой они подключены, и способа управления.

Класс А включает автономные ветрогенераторы с одним генератором, не подключенные к энергосистеме для параллельной работы. Мощность таких ветротурбин используется для освещения, питания маяков, связи и т.д. И, как правило, не превышает 5 кВт. Если энергия таких ветряных турбин используется для отопления, их мощность может достигать 20 кВт и более. В автономных ветряных турбинах используются различные типы электрических генераторов. Стоимость таких ветровых турбин во многом зависит от выбора системы управления электродгенератором. Потребность в качественном электричестве со стабильными параметрами может быть достигнута за счет использования транзисторных или тиристорных преобразователей (инверторов) с питанием от батарей. В некоторых случаях можно получить качественные параметры всего произведенного электричества, используя либо механическое управление лопастями ветрового колеса для стабилизации его скорости, либо электрическое управление. При электрическом управлении постоянная скорость ветроколеса обеспечивается изменением электрической нагрузки на выходе генератора (с использованием балластной нагрузки). При таком методе стабилизации скорости энергия ветра используется более эффективно, поскольку лопасти ветроколеса работают в оптимальном режиме, а



использование современного электронного оборудования делает этот метод более надежным и более дешевым, чем механическое управление.

Ветроэлектрогенераторы класса В.

Ветровые турбины класса В характеризуются примерной пропорциональностью мощности ветряных турбин и дизель-генераторов. Эта опция является общей для локальных энергосистем в отдаленных районах. В таких системах использование ветряных турбин экономит дизельное топливо. Управление генераторами и достижение качества электроэнергии, производимой ветрогенератором, возможно получить используя те же средства, которые используются в системах класса, однако для достижения наибольшего эффекта можно использовать другие решения, основанные на использовании запас энергии. системы (электрические батареи, водородные преобразователи-батареи, гидроаккумулирующие станции и т. д.) с соответствующим управлением ветряными турбинами, ДЭС и системами хранения.

Ветроэлектрогенераторы класса С.

Класс С. ВЭУ подключена к системе гораздо большей мощности, чем сама ветровая турбина, работает параллельно с этой энергосистемой и называется сетью. Это область системной ветроэнергетики, то есть область масштабного использования энергии ветра, которая при соответствующем развитии может оказать влияние на состояние энергетического баланса всей страны. В этом случае целесообразно использовать ветряные турбины большой разовой мощности (от 1 до 10 МВт), собранные на ветряных электростанциях (ВЭС). Для ветрогенераторов этого класса все проблемы обостряются, поскольку ветрогенераторы этого класса имеют большие геометрические размеры и массу, а, следовательно, и напряженные режимы работы механического оборудования. В этом случае энергия ветра используется напрямую или полностью подается в энергосистему. Согласно статистике, основой современной ветроэнергетики является ветряная турбина класса С, работающая параллельно с энергосистемой. Их доля в

мощности составляет более 95% от общей установленной мощности ветрогенераторов. С помощью параллельной работы с сетью возникает вероятность повышения мощности ветротурбинного агрегата, уменьшение себестоимости электроэнергии, получение достаточного качества электроэнергии. Принцип работы бытовой ветряной электростанции прост: поток воздуха вращает лопасти ротора, установленные на валу генератора, и создает переменный ток в его обмотках. Получаемое электричество хранится в батареях и, при необходимости, потребляется бытовыми приборами. Конечно, это упрощенная схема домашней ветряной мельницы. В практическом плане его дополняют устройства, которые выполняют преобразование электроэнергии. Сразу за генератором в Energiedichte находится контроллер. Он преобразует трехфазный переменный ток в постоянный и направляет его на зарядку батарей. Большинство бытовых приборов не могут работать от «констант», поэтому на батарейках ставят другое устройство - инвертор. Он выполняет обратную операцию: преобразует постоянный ток в бытовое переменное напряжение 220 Вольт. Понятно, что эти превращения не проходят бесследно и занимают довольно приличную часть от начальной энергии (15-20%). Если ветряная мельница работает в паре с солнечной батареей или другим генератором энергии (бензин, дизель), цепь дополняется автоматическим выключателем (AVR). Когда основной источник тока выключен, он активирует режим ожидания. Чтобы получить максимальную мощность, ветряная турбина должна располагаться вдоль ветрового потока. В простых системах реализован принцип флюгера. Для этого на противоположном конце генератора закреплено вертикальное лезвие, которое поворачивает его по направлению к ветру. В более мощных установках используется вращающийся двигатель, управляемый датчиком направления.

Устройство и конструкции ветрогенераторов.

Внешне ветряная электростанция выглядит достаточно просто: на верхней части высокой строительной конструкции закреплено

поворачивающее закрытое объемное пространство (гондола). Из нее выходит вал, на котором закреплено ветро-колесо, имеющее лопасти. Лопасти горизонтального ветрогенератора внешне похожи на лопасти бытовых вентиляторов, но гораздо большего размера. Внутри гондолы «спрятано» остальное оборудование ветрогенератора: привод, генератора, системы управления и вспомогательное электропривода.

Есть вертикальные ветряки использующие также подъёмную силу, например, "Ротор Дарье" и другие ортогональные ветрогенераторы.

Если сравнивать два самых распространенных типа ветрогенераторов между собой, то получается что вертикальный более предпочтителен, так как его лопасти способны быстрее вращаться при одном и том же ветре, значит он более производителен, а при прочих равных выходных параметрах это позволяет снизить габаритные размеры.

Конкуренцию горизонтальным ветрогенераторам способны на определенных условиях создать ортогональные ветрогенераторы. Сравнение ветрогенераторов с размахом лопастей в два метра каждое при 10 м/с показало следующее КПД линии передачи «лопасти-входной вал электрического генератора»:

- у горизонтальных трехлопастных 40%;
- у вертикальных 10-25% в зависимости от типа применяемого ветроколеса;
- у ортогональных до 40%.

Несмотря на внушительные габариты ветрогенераторов, применяемых для создания больших электростанций, лопасти имеют возможность поворачиваться на определенный угол атаки набегающего ветра. В идеале, «гонятся» за ветром необходимо на углах от 0 до 360<sup>0</sup>, но без вращения (выполнять маятниковые движения). Тогда продолжительность неблагоприятных ветроусловий значительно снизится. В местах с постоянным сильным ветром возможно вал лопастей соединять с валом генератора напрямую, по прямой передаче. Но в России таких

благоприятных условий нет, поэтому применяется редукторная передача. Для регулировки оборотов генератора применяют следующие способы, причем используются совместно:

- изменение угла наклона лопастей к набегающему ветру, что позволяет не только увеличивать обороты, но и уменьшать их;
- использовать тормозной момент противо-ЭДС в обмотках генератора, который зависит от протекающего по обмоткам тока, т.е. нагрузки на электростанцию;
- специальную тормозную систему.

Главная цель системы управления работой ветрогенератора, это поддерживать такую частоту вращения вала генератора, при которой он вырабатывает напряжение какого-то определенного уровня, но частотой 50 Гц.

Большая высота расположения гондолы относительно поверхности земли требуется не просто из-за большого диаметра ветроколеса, но и из-за большей стабильности силы ветра в верхних слоях атмосферы. Около поверхности земли ветра менее стабильны, размеры применяемых генераторов меньше, стоимость их также меньше. Поэтому для управления «бытовыми» ветрогенераторами нецелесообразно использовать сложные, а следовательно, и более дорогостоящие системы управления, которые бы регулировали углы поворота и наклона лопастей. Здесь пошли другим путем, а именно в состав миниэлектростанции включают аккумуляторные батареи, по аналогии с фотоэлектростанциями. Только там аккумуляторы накапливают энергию днем (при солнце) а отдают ночью, а здесь накапливают энергию пока идет её выработка, а отдают в безветренную погоду. Для защиты от превышения силы ветра применяют в основном ветро- колесоэлектротормозом (см. рисунок б).

В типовую конфигурацию миниветроэлектростанции входят следующие компоненты:

- центральный контроллер. Его функция управлять работой всей миниэлектростанцией, распределять энергетические потоки по направлениям и величине (заряжать аккумуляторную батарею, переключать питание потребителей между ветрогенератором и аккумуляторной батареей, контролировать силу ветра и при необходимости активировать тормозную систему ветряка, для его защиты от повышенных оборотов, которые возникают при максимальных ветрах);

- блок аккумуляторных батарей. Могут применяться литий-ионные батареи, металло-полимерные и другие современные химические источники тока;

- преобразователь переменного напряжения с генератора в стабилизированное постоянное напряжение 12/24 или 48 В для заряда аккумуляторных батарей

- силовой инвертор, преобразующий постоянное напряжение 12/24 или 48 В (номинальное напряжение аккумуляторных батарей) в переменное напряжение 220В 50 Гц.



Рисунок 6- Конструкция ветрогенератора горизонтального типа с трёхлопастным винтом

Но можно обойтись и без инвертора если все потребители рассчитаны на питания от низкого напряжения. Например, если массив АКБ на 12 вольт, то можно использовать любые электроприборы на 12 вольт, автомобильные зарядные устройства, телевизоры, светодиодные ленты и лампочки на 12 вольт, авто-чайники, авто-холодильники и многое другое.

## 1.2 Системы управления ветряными электростанциями

На рисунке 7 показана схема передачи электричества от ветряных установок к потребителю [8].

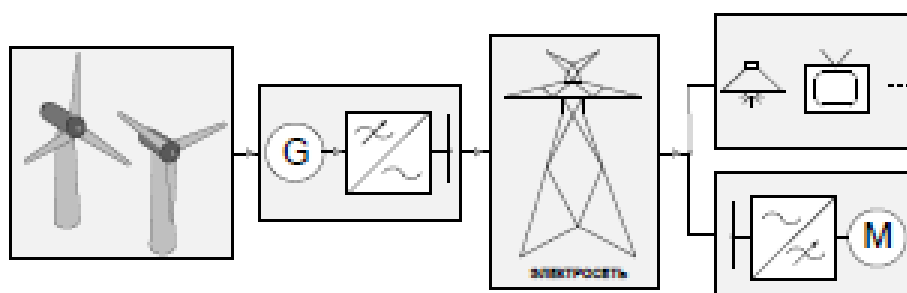


Рисунок 7 – Схема передачи электричества от ветряных установок к потребителю

Схема напоминает привычную нам систему электроснабжения, где ветрогенераторы (слева на схеме) выполняют роль других аналогичных источников электрической энергии (гидрогенератор, тербогенератор) которые через повышающую электрическую подстанцию поставляют энергию в линии электрических передач. От них электрическая энергия поступает теперь уже в понижающую электрическую подстанцию, где преобразуются в необходимые потребителям 220/380В 50 Гц. Для бытового использования требуются небольшие электростанции, которые в состоянии вырабатывать электрическую энергию при очень маленьких ветрах 3-4 м/с. Наибольшие продажи приходятся на торговые марки SIEMENS и

CONVERTEAM. Рассмотренную схему можно назвать схемой с централизованным снабжением электрической энергией.

Если объект - потребитель электроэнергии, не подключен к единой энергосистеме, то наиболее важным является вопрос бесперебойности электроснабжения в любое время суток, года, при любой погоде. Здесь без накопителей энергии уже не обойтись, причем их мощность должна быть достаточной для удовлетворения спроса. Но и этого часто оказывается недостаточно, когда из-за длительного отсутствия пополнения энергии от ветряка, аккумуляторные батареи успевают полностью разрядиться. В этом случае применяют резервное питание от дополнительного блока аккумуляторных батарей. Также возможна схема, при которой ветряк работает только на попеременный заряд аккумуляторных батарей (см. рисунок 8).

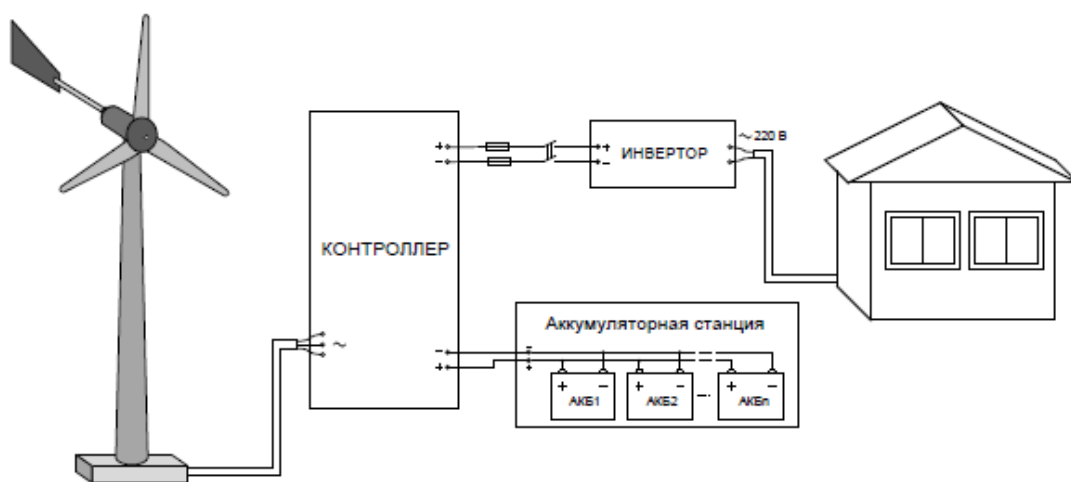


Рисунок 8 – Схема обеспечения электроэнергией без централизованного электроснабжения

Другая причина применения миниветроэлектростанции наоборот связана с резервированием уже существующей сети электроснабжения, например, при частом её нарушении (см. рисунок 9)

Схема электроснабжения при этом усложняется. Потребуется более функциональный центральный контроллер, силовой инвертор и главный

дополнительный компонент подобной системы – блок аварийного переключения питания (АВР). Скорость переключения видов питания очень высокая, порядка 4 мс, что не сказывается на бытовых потребителях, т.е. для них питание воспринимается как непрерывное [9].



Рисунок 9 – Схема обеспечения электроэнергией с централизованным электроснабжением

Для резервирования в свою очередь ветрогенератора, вместо центральной сети РАО ЕЭС РФ можно использовать фотоэлектростанцию или бензо-дизель генератор (или какой-нибудь другой источник энергии, например) (см. рисунок 10)





## Рисунок 10 – Схема обеспечения электроэнергией с дизель-генератором

Наиболее работоспособной и оптимальной для потребителей электроэнергии (они же заказчики миниветростанций или ветропарков) является схема, представленная на рисунке 9. Это совместная работа с Единой энергосистемой. Преимущества такой совместной работы в том, что Центральная ЕЭС (единая энергосистема) не только продает потребителям электрическую энергию, но и закупает её у частных производителей. Это позволяет «частникам» не только сэконоимить на электроэнергии, но и при благоприятных условиях заработать на этом, или как минимум сократить свои расходы на приобретение и ввод в эксплуатацию ветроэлектростанции. В развитых странах такое взаимодействие регулируется на законодательном уровне, в России пока нет, что также является существенным тормозом в развитии ветроэнергетики.

### **1.3 Особенности генерации электрической энергии ветряными станциями**

В отличие от базовой системы электроснабжения РАО ЕЭС России постоянство ветра, в отличие от постоянства сжигания углеводородов или падения воды с верхнего барельефа на нижний в гидроэлектростанции, сложное, трудно прогнозируемое событие.

Для примера, на рис. 11, показана зависимость количества вырабатываемой энергии ветропарка мощностью 2400 МВт в зависимости от силы ветра в западной Дании.

Главные проблемы ветроэнергетики связаны с её главным источником энергии – с ветром. Несмотря на многолетние наблюдения, сбор и обработка статистики, наличие метеостанций, спутникового сопровождения в виде фото и видеосъемки процессов, происходящих в верхних слоях атмосферы, ветер

всё равно является случайной величиной как по его направлению воздействия, так и по силе. Кроме того, ветер неодинаково ведет себя на равнинной местности, в горной местности или над большими водными пространствами. Для проектирования ветропарков очень важно владеть максимально правдоподобной картиной розы ветров.

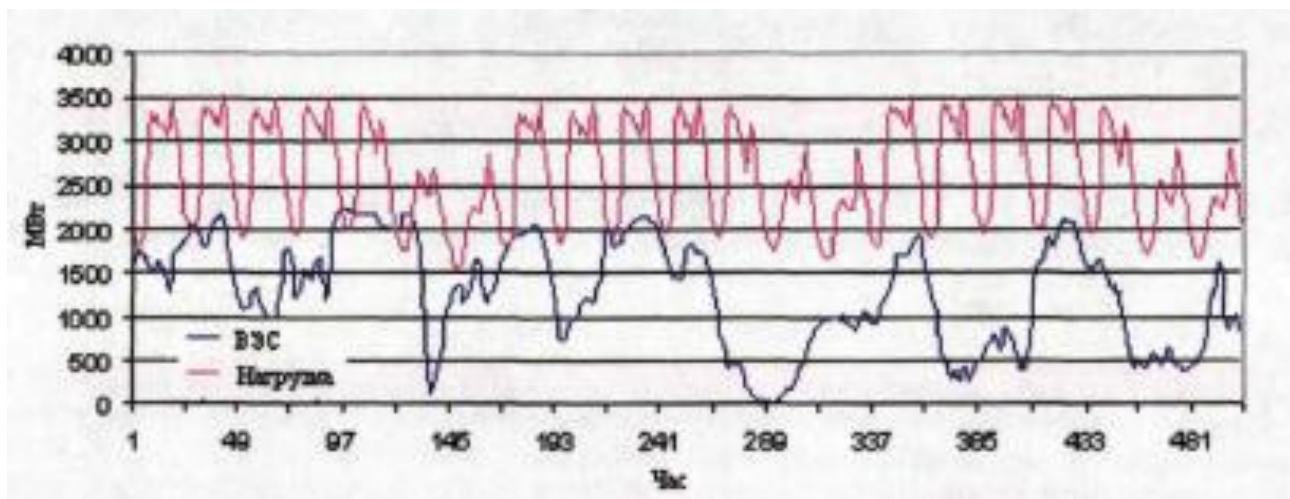


Рисунок 11 - Графики нагрузки и генерации ВЭС общей установленной мощностью 2 400 МВт в западной части Дании

Для определения количества вырабатываемого электричества нужно знать конкретные числовые значения ветрового напора и других показателей ветра. Получить конкретные числовые значения в конкретные временные отрезки задача очень сложная. Необходимо обладать достоверными статистическими данными и математическим аппаратом теории вероятностей. В этом случае можно прогнозировать поведение ветра на определенные периоды времени. Но как мы видим, прогноз погоды (а по сути прогноз на ветер входит в прогнозирование погоды) все равно часто ошибается. Для повышения точности прогноза нужно непрерывно вносить новые данные о происходящих в атмосфере и на земле процессах. Упростить прогнозирование можно приняв поведение ветра не динамическим, а статическим процессом за определенный период времени, чаще всего за один календарный месяц [11].

Метеорологическим документом, в котором хранятся результаты обработки статистических данных, является ветроэнергетический кадастр. Это документ, в котором можно найти более глубокую информацию о ветре в той или иной точке строительства ветропарка: энергетические, температурные и аэрологические показатели, которые являются исходными данными для предварительной оценки технико-экономических показателей работы проектируемого ветропарка.

Для формирования начальных данных используют:

- метеостанции. На метеостанциях возможен контроль самых необходимых для проектирования ветропарка исходных данных. Измерения многократные, не менее 3 раз за 24 часа. Хранятся данные за последние несколько лет;
- временные точки наблюдения, которые на несколько лет устанавливаются непосредственно в точке строительства;
- метеозонды.

Важным параметром для оценки коэффициента полезного действия проектируемого ветропарка является среднемноголетняя скорость ветра. Как следует из названия данного параметра, для его получения требуются многолетний наблюдения, чем больше лет проводятся наблюдения, тем точнее будет данный параметр. Но несмотря на повышение точности с увеличением количества обработанных статистических данных, среднемноголетняя скорость ветра остается случайной величиной с достоверностью, определяемой математическим аппаратом теории вероятности. В основном, с точки зрения математики, все параметры представляют собой среднеарифметические значения того или иного показателя. В странах со стабильным климатом, в котором сила и направление ветра более-менее постоянны, хорошей погрешностью считается точность прогноза параметров ветра в 15%. К таким странам, в частности, относится Дания и Голландия [12]. Но даже в этих странах довольно часто наблюдаются отклонения от прогноза более чем на пятьдесят

процентов. Это случается не очень часто, но такие факты тоже находятся в статистических данных.

Важным параметром для стабильности работы ветропарка является повторяемость скорости ветра. Под повторяемостью понимается процент времени за определенный период в котором ветер имеет одну и ту же скорость. Обычно используется небольшой промежуток времени (например, сутки) и каждый час контролируется сила ветра. Повторяемость более пятидесяти процентов позволяет говорить о высоких энергетических показателях ветра в данной точке. В зависимости от энергии ветра рассматривается и возможность строительства ветропарка. Низкий коэффициент полезного действия значительно снизит рентабельность и окупаемость проекта. Низкое количество переработанной энергии негативно сказывается на количестве вырабатываемой электроэнергии, её качественных и количественных характеристиках. Построить ветропарк, который может окупиться хотя бы за десять лет, задача очень сложная и требует очень грамотного проектирования и выбора места.

#### **1.4 Параметры, характеризующие работу ветродвигателя и ветроустановки**

Ключевыми особенностями ветровой энергии является:

- непостоянный характер выработки энергии;
- частотные характеристики.

Отсюда возникают трудности с дальнейшим использованием выработанной электроэнергии – составлением графиков передачи и потребления энергии.

Рассмотрим основные теоретические показатели работы ветряного генератора. Кинетическая энергия  $P_0$ , носителем которой является ветер, измеряется перед лопастями ветряка:

$$P_0 = \frac{m \cdot V_0^2}{2} \quad (1)$$

где  $P_0$  – кинетическая энергия в Дж.

$m$  – массовый расход воздуха (2)

$$m = \rho \cdot A \cdot V_0 \quad (2)$$

где  $A$  – площадь ометаемая ветром;

$\rho$  – плотность воздушного потока, набегающего на лопасти ветрогенератора;

$V_0$  – скорость воздушного потока, набегающего на лопасти ветрогенератора.

Для горизонтально-осевого ветродвигателя площадь рассчитывается по формуле (3), для вертикально осевого – по формуле (4)

$$A = \frac{\pi \cdot D_{\text{Л}}^2}{4} \quad (3)$$

$$A = D_{\text{Л}} \cdot H_{\text{а}} \quad (4)$$

где -  $D_{\text{Л}}$  - диаметр ветроколеса

Для упрощения расчетов принимается что ветер воздействует на лопасти ветрогенератора под прямым углом.

Мощность воздушного потока  $N$  который воздействует на лопасти ветрогенератора:

$$N_{\text{ветро}} = \frac{\rho \cdot V_0^3}{2} \cdot A \quad (5)$$

Мощность  $N$  показывает сколько кинетической энергии запасено в воздушном потоке.

Ветряная установка в состоянии извлечь из воздушного потока только часть кинетической энергии, которой он обладает. Величина этой части определяется коэффициентом полезного действия ветроустановки:

$$C_p = \frac{N_{\text{вд}}}{N_{\text{ветро}}} \quad (6)$$

где  $C_p$  – расчетный коэффициент полезного действия;

$N_{\text{вд}}$  – мощность, развиваемая ветроколесом;

$N_{\text{ветро}}$  – мощность, накопленная воздушным потоком.

Данный параметр называют коэффициентом использования энергии ветра. Таким образом, механическая мощность ветродвигателя (7)

$$N_{\text{вд}} = C_p * \frac{\rho * V_0^3}{2} * A \quad (7)$$

где  $\frac{\rho * V_0^3}{2} * A$  – скоростное давление (напор).

Практика показывает, что соотношение  $N_{\text{вд}}$  к  $N_{\text{ветро}}$  меньше максимального теоретического значения 16/27 [13].

Коэффициент скоростей  $X$ :

$$X = \frac{U_R}{V_0} = \frac{\Omega * r}{V_0} \quad (8)$$

где  $U_R$  – скорость лопасти в наиболее удаленной точке от центра вращения;

$r$  – радиус окружности, по которой движется наиболее удаленная от центра вращения точка на лопасти.

Коэффициентом крутящего момента  $M_{\text{кр}}$  развиваемого ветродвигателем, называют величину  $C_M$  (9)

$$C_M = \frac{M_{\text{кр}}}{\pi * R_n^3 * \rho * \frac{V_0^2}{2}} \quad (9)$$

Величины  $C_p$ ,  $C_M$ ,  $X$  связаны между собой зависимостью (10)

$$C_p = C_M * X \quad (10)$$

Коэффициент осевого давления:

$$B = \frac{P}{\rho * \frac{V_0^2}{2}} * A \quad (11)$$

где  $P$  – сила, с которой воздушный поток воздействует на условную площадь, которую определяет диаметр ветроколеса.

$B$  в знаменателе формулы (11) находится напор, с которым набегающий воздушный поток, воздействует на лопастную систему.

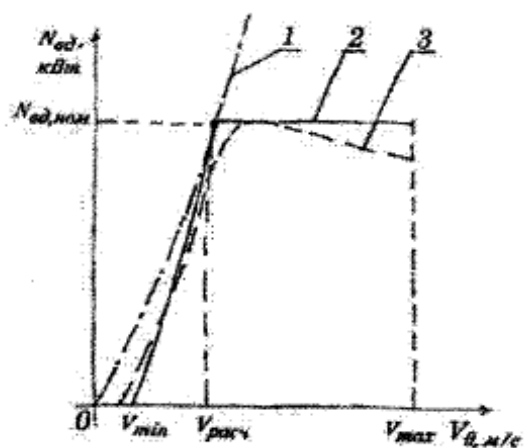
Зависимость мощности ветродвигателя от скорости ветра показана на рисунке 12.

Различают три скорости ветра:

- минимальная  $V_{\min}$ , м/с – скорость ветра при которой ветроколесо переходит из состояния покоя в движение. У современных ветрогенераторов данная скорость начинается с 2,5 м/с;

- максимальная  $V_{\max}$ , м/с – скорость ветра, при которой производитель ветрогенератора гарантирует его работы без повреждений;

- расчетная  $V_{\text{РАСЧ}}$ , м/с – эту же скорость можно назвать рабочей или номинальной. При этой скорости ветра генератор, установленный в ветряке, начинает вырабатывать номинальное количество электрической энергии.



1 –  $N_{\text{ветр}}$ , мощность ветрового потока; 2 –  $N_{\text{ВД}}$ , мощность ветродвигателя, регулируемого поворотом лопасти; 3 –  $N_{\text{ВД}}$ , мощность ветродвигателя, регулируемого за счет срыва потока с лопасти  
Рисунок 12- Зависимость мощности ветродвигателя от скорости ветра

### 1.5 Выводы по разделу 1

Наряду с солнечной энергетикой ветроэнергетика является самым массовым и самым распространенным видом альтернативной энергетики, использующей возобновляемые источники энергии.

Использование энергии ветра для выработки электрической энергии имеет хорошие перспективы. Территориальные особенности России располагают для масштабного внедрения ветроэнергетики, но далеко не во всех регионах.

На территории России экономически выгодно устанавливать ветряные электростанции мощностью до 5 кВт (малая ветроэнергетика).

Необходимо создание законодательной базы, регулирующей продажу (покупку электроэнергии сетевыми компаниями) электроэнергии частными электростанциями, использующими для производства электрической энергии возобновляемые источники энергии.

Регионы России со сложными погодными условиями требуют новых разработок ветрогенераторов, способных работать в таких условиях. Основные трудности связаны с низкими температурами и шквалистыми ветрами. В обоих случаях требуется конструкция как механической, так и электронной частей ветроэлектростанции, отличающаяся надежностью в работе при экстремальных условиях.

Для проектирования ветропарка необходимо определиться с исходными данными. Важнейшими из них являются энергетические показатели ветряного потока в точке строительства ветропарка.

Для использования ветростанции для электроснабжения населенного пункта предпочтительной является схема обеспечения электроэнергией с централизованным электроснабжением, когда традиционная электросеть работает параллельно с ветропарком. Среди классов ветрогенераторов предпочтительно использовать класс С, при этом не рекомендуется использовать ветрогенератор в единичном количестве. Желательно использовать несколько ветрогенераторов для взаимного резервирования.



## 2 Исследование ветрообстановки на территории Самарской области и выбор места расположения ветропарка

### 2.1 Анализ ветрообстановки на территории Российской Федерации

В России подходящими для использования и развития ветряных электростанций являются многие районы, в частности, регионы Нижнего Поволжья, Тюменская, Архангельская, Новосибирская области, Краснодарский край, республика Хакасия, Карелия, Коми и другие (см. рисунок 13).

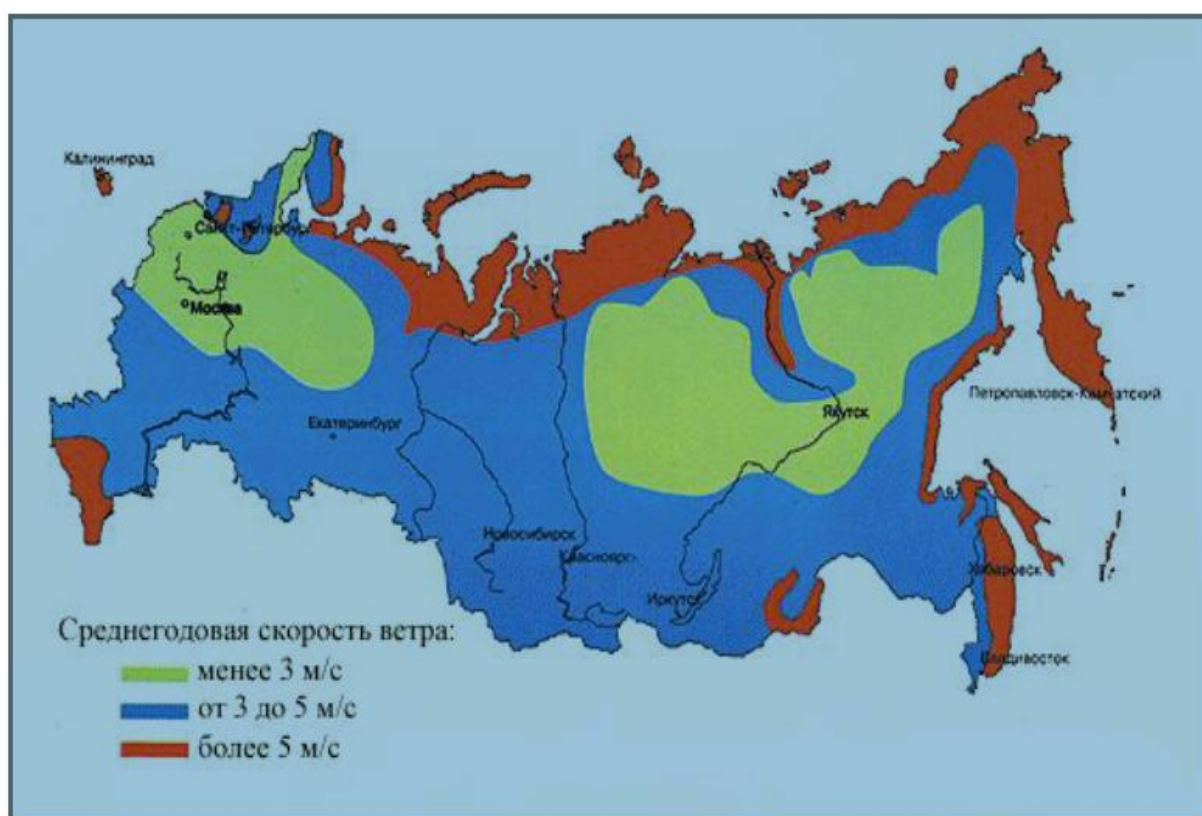


Рисунок 13 – Распределение среднегодовой скорости ветра на территории России

Рисунок показывает, что на территории России в большинстве регионов среднегодовая скорость ветра от 3 до 5 м/с. Более сильные ветра наблюдаются в прибрежных районах.

## 2.2 Анализ ветрообстановки на территории Самарской области

Скорость ветра на территории Самарской области приведена в таблице 1, роза ветров – на рисунке 14.

Таблица 1- Ветра в Самарской области

Расположение метеостанции	Среднегодовая скорость ветра (на высоте 10м)	Средняя скорость ветра (м/с)				Максимальная скорость ветра (м/с)
		Зима	Весна	Лето	Осень	
1	2	3	4	5	6	7
Самара	1,8	1,9	1,9	1,6	1,8	22
Алексеевка	3,5	3,5	3,7	2,9	3,4	27
Безенчук	2,3	2,4	2,4	2,0	2,3	19
Большая Глушица	2,4	2,5	2,6	2,1	2,4	26
Кинель-Черкассы	1,8	1,8	2,0	1,7	1,7	22
Клявлино	2,3	2,4	2,5	2,1	2,3	20
Курумоч (аэропорт)	4,0	4,2	4,3	3,6	4,1	29
Лопатино (Волжский р-н)	2,7	2,6	2,9	2,3	2,8	25
Новокуйбышевск	2,8	2,7	3,0	2,6	2,8	20
Сергиевск	3,3	3,2	3,4	3,0	3,3	25
Новодевичье (Шигонский район)	3,7	3,7	3,7	3,1	4,0	24

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7
Смышляевка (Волжский район)	3,0	3,0	3,4	2,8	2,9	20
Сызрань	2,9	2,9	3,1	2,8	2,8	25
Тольятти	3,3	3,5	3,4	2,9	3,3	26
Челно-Вершины	2,6	2,8	2,8	2,2	2,7	27

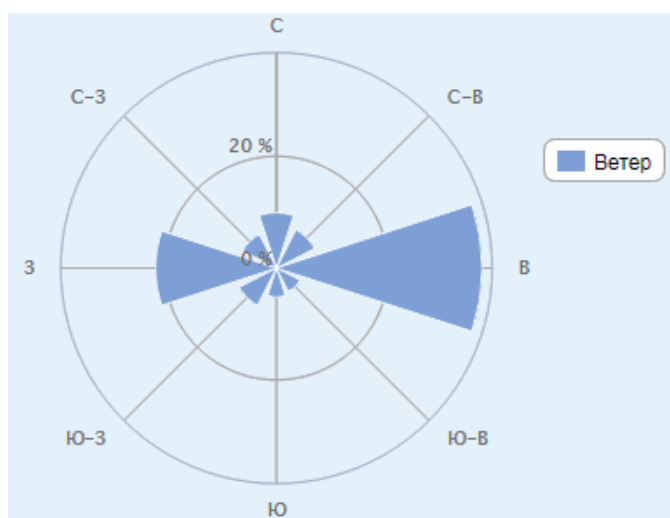


Рисунок 14- Роза ветров в Самарской области

### 2.3 Выбор места расположения ветропарка

Для обеспечения начала работы ветрогенератора требуется сила ветра более 3 м/с. В Самарской области этой силе ветра удовлетворяют только 6 территорий: Алексеевка, аэропорт Курумоч, Новодевичье, Сергиевск, Смышляевка, Тольятти.

Протяжённость территории и характер рельефа вызывают различия в скорости и направлении ветра. В течение года отмечается в основном преобладание юго-западных ветров, на севере области – южных, на юго-востоке – юго-восточных. В зимний период наибольшую повторяемость

имеют ветры южных направлений, в теплый период – ветры северных и северо-западных направлений. Среднегодовая скорость ветра колеблется по области от 3,4 до 4,9 м/с; на возвышенных и открытых участках, над водной поверхностью водохранилищ ветры более сильные, чем на равнинных участках и в низинах. Минимальные скорости ветра приходятся на летний период (июль–август), максимальные – на зимне-весенний период (реже на октябрь). Скорость ветра изменяется и в течение суток. В ночные и утренние часы она меньше, в послеполуденные (13-15 часов) – достигает максимума. Над акваториями водохранилищ максимум скорости ветра отмечается в ночные часы, минимум – в дневные. Амплитуда суточных колебаний её в холодный период обычно не превышает 1 м/с, в теплый – 1,5-2 м/с. В отдельные годы не исключена возможность возникновения ветра ураганной силы, когда порывы его могут достигать 40 м/с и более. Зимние бураны сопровождаются сильными снегопадами, позёмкой. При выходе оврагов в долину р. Волга образуются так называемые «долинные ветры», скорость которых также бывает очень велика. Летом имеют место суховеи, возникающие при ветрах восточных и юго-восточных направлений. Наиболее частые и интенсивные суховеи наблюдаются в июле–августе. Для них характерны высокие температуры и низкая влажность воздуха.

Скорость ветра на территории Самарской области в среднем составляет от 3,2 м/с до 4,4 м/с. Данная величина считается недостаточной для работы ветропарка, несмотря на то, что ветряки при этом будут вращаться. Порывы ветра обычно не превышают 18-20 м/с. Исключением являются южные степные участки, где порывы ветра могут достигать 40 м/с. Направление ветров через Самарскую область достаточно стабильное:

- зимой это южные и эго-западные;
- летом – западные и северо-западные.

Влияние ветровых установок на окружающую среду.

Для начала необходимо рассмотреть достоинства и недостатки ветропарков.

Ветер является альтернативным источником электроэнергии. На территории Российской Федерации достаточно много мест где преобладают повышенные ветра. Ветер является одним из бесплатных источников энергии, а так же не требует получать его из недр Земли.

В отличие от других источников электроэнергии ветропарки не являются источниками выбросов парниковых газов, которые в свою очередь плохо влияют на окружающую среду.

Для установки одного мощного ветрогенератора необходим небольшой участок земли, который так же можно использовать в дальнейшем для разведения сельскохозяйственных угодий, особенно часто это важно для сельскохозяйственных районов.

Ветропарки очень удобно размещать в удаленных регионах, которые по определенным причинам до сих пор не имеют электрически линий связи с большими электростанциями.

Достаточно большой размах в разновидностях и мощностях ветрогенераторов позволяют использовать их для определенных промышленных предприятий.

Недостатки ветряных электростанций.

Очень тяжело сделать конкретные точные прогнозы для определения точных объемов получаемой электроэнергии, этому мешает разное направление и сила ветра, в большей части это плохо сказывается на крупной генерации.

Ветрогенераторы издают шум, и близкое расположение их с населенными пунктами не желательно.

Если полностью перейти на ветряные электростанции, то понадобятся тысячи ветрогенераторов.

Ветрогенераторы изготавливают с применением разных химических соединений, а большое производство приведет к загрязнению окружающей среды.

Рассмотрим недостатки при установке ВЭС на местности и ее влияние на окружающую среду по подробнее. Главным недостатком при установке ветропарка является шум, издаваемый ходовой частью при работе, а так же в результате турбулентности воздуха, возникаемого при работе лопастей. Установив первые ветропарки спустя некоторое время начали поступали многочисленные жалобы от местного населения на шум. После чего началось интенсивное изучение ветрогенераторов на причину устранения проблемы сильного шума. В таких странах как Великобритания, Германия, Нидерланды и Дания, к решению вопросов безопасности здоровья подошли на серьезном законодательном уровне. В частности, зафиксированы следующие показатели безопасности:

- ночной шум от ветроколеса не более 35 дб;
- дневной шум от ветроколеса не более 45 дб;
- минимальное расстояние от территории, на которой живут или работают люди – не менее 300 м.;
- ветроустановки должны быть органично вписаны в окружающий ландшафт и не вызывать негативных эмоции граждан при их визуальном восприятии.

Такие страны как Дания, Германия, Нидерланды научились эффективно использовать площадь на которой располагаются ветроустановки, остаток земли сдается фермерам под аренду, что приносит дополнительный доход стране.

Влияние ветропарков на окружающую среду является достаточно интересным объектом исследования для многих профессоров и защитников окружающей среды.

Исследования свидетельствуют о том, что это влияние является чрезвычайно малым. Вообще об этих влияниях можно судить по отношению к ВЭС животных, которые их окружают: «За пять лет эксплуатации Аджигольской ВЭС здесь не было зафиксировано ни одного случая смерти птиц, млекопитающих или пресмыкающихся от воздействия ВЭС. На

станции живут ежи, зайцы, собаки и кошки. Больше года на ВЭС жили, рождались и росли кролики. Неоднократно замечалась склонность овец, пасущихся неподалеку прятаться от ветра за сооружениями ВЭС. Весной на солнце греются ужи и полозы, которые являются существами, наиболее чувствительными к вибрациям и шумов ... На практике вредное влияние на экосистему не установлено». А многолетние наблюдения ученых института продемонстрировали, что ветротурбины оказывают как косвенное, так и непосредственное влияние на окружающие их экосистемы. В качестве объекта изучения был выбран индийский горный массив Западные Гаты, где находится несколько крупных ветропарков. Так, например, профессор Мария Фэкер и ее коллеги обнаружили, что количество птиц в зоне ветроэлектростанций снизилось в четыре раза. «Мы наблюдали, как птицы подлетают к границам ветропарка и сразу улетают», – говорит профессор.

В результате у подножия ветротурбин чрезвычайно расплодился некоторые виды ящериц. Однако при этом у самцов, которые привлекают самок раздуванием красного кожаного мешка под горлом, цвет этого мешка существенно потускнел по сравнению с тем же видом ящериц, живущих вне территории ветропарков.

Исследователи полагают, что исчезновение высших хищников, которыми для ящериц являлись птицы, привело к снижению конкуренции за самку внутри популяции и одновременно к увеличению этой популяции. Отсюда потеря цвета подгорловых мешков.

Таким образом, расширение площадей, занимаемых ветроэлектростанциями, создает каскад экологических последствий. Фактически, ВЭС вытесняют со своей территории высших хищников, разрывая пищевую цепочку. В итоге расплодившиеся ящерицы начинают массово истреблять насекомых, что оказывает негативное влияние на опыляемую растительность. И данный пример не является единичным, уверена профессор Фэкер.

Если рассмотреть несколько исследований проведенные профессорами, то можно сделать вывод, что на каждой местности влияние ветроустановок разное и обусловлено многими индивидуальными факторами.

Перед установкой ветропарка очень важно определиться, с местом его расположения. Выбор места расположения ветропарка зависит от многих факторов, пренебрегать которыми нельзя. Основным фактором при выборе размещения ветропарка является направление ветра и его скорость. Среди таких мест самыми благоприятными местами по Самарской области являются места, расположенные на возвышенностях, равнинных участках и места расположенные близко к морским побережьям, долинам больших рек и водоемов. Так же при строительстве ветропарка стоит избегать мест расположенных рядом с лесом, жилыми домами и производственными помещениями. Ветроустановку стоит размещать на определенное расстояние. Ветроустановки производят достаточно сильный шум, который может мешать окружающим.

Рассмотрим местность Самарской области в зоне которых преобладают частые повышенные ветра. Частые ветра в Самарской области можно наблюдать в Шигонском и Ставропольском районах. В Ставропольском районе недалеко от села Жигули протекает Усинский залив, скорость ветра в Усинском заливе достигает 5 м/с и выше. Но к сожалению, существует существенный минус в установке вблизи Усинского залива. При установке на местности вблизи залива, где достаточно высокая скорость ветра, возникает необходимость дополнительного протягивания линии электропередач до места основного потребления электроэнергии. Для того, чтобы протянуть даже на несколько километров линии электропередач необходимы большие финансовые затраты, которые а свою очередь, иногда, даже превышают стоимость самой ветроустановки.

Если рассматривать залив Куйбышевского водохранилища, расположенный недалеко от села Актуши в Шигонском районе, так же возникает вопрос больших затрат на протяжение линий электропередач.



Ветер, постоянно дующий из залива в сторону поселка Подстепки (см. рисунок 14), сохраняет скорость ветра в поселке до 5 м/с и выше.



Рисунок 14- Карта Самарской области

На 01.01.2019 года население поселка Подстепки составляет 13031 человек. Если взять значения скорости ветра в обычные дни полученные за неделю в поселке Подстепки (см. таблицу 2), то можно сделать вывод о том, что среднее значение скорости ветра достигает 5 м/с.

Таблица 2- Среднее значение скорости ветра в с. Подстепки

День недели	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс	Ср.знач. м/с
Ветер: скорость, м/с	8	8	9	9	7	7	5	7,6
Порывы, м/с	15	16	15	17	14	12	12	14,6
Направление	Ю-З	С	Ю-З	С	Ю-З	В	Ю-В	

## 2.4 Расчет исходных данных к выбору ветроэлектростанции

Выполним приближенный расчет электрических нагрузок с. Подстепки.

Электрическая нагрузка объектов представляют собой в основном однофазную нагрузку. Мощность каждого электроприемника незначительная (обычно не более 2 кВт), в связи с этим в электрической сети при правильной группировке приборов можно достичь достаточно равномерной нагрузки по фа- зам (с не симметрией не более 5—10%) [13].

Характер нагрузки равномерный, без толчков, но ее значение изменяется в зависимости от времени суток, времени года и некоторых других причин связанных с характером работы объекта. Частота тока общепромышленная, равная 50 Гц. Напряжение сети 380 и 220 В. Объекты относятся к объектам III категории по надежности электроснабжения.

Электроприемники по режиму работы подразделяются на три основных режима: продолжительный режим, кратковременный режим и повторно кратковременный режим. Все электроприемники работают в продолжительном режиме или кратковременном режиме. В отношении мер безопасности все электроустановки работают с глухозаземленной нейтралью [14].

Перечень оборудования каждого объекта дан в таблице 4 и 7. Для расчета принимаем общую активную мощность для одного типа электроприемника.

Мощность ( $P_{уст}$ ) указана для одного электроприемника. Параметры  $\cos\varphi$ ,  $K_i$  определены в соответствии с таблицами [15, 16].

Расчет планируемых нагрузок.

Суммарное энергопотребление:

$$P_{H\Sigma} = P_H \cdot n, \quad (12)$$

где  $P_H$  – потребляемая мощность электроприемников;

n – количество электроприемников.

Коэффициент мощностей

$$m = \frac{P_{н.мах}}{P_{н.мин}}, \quad (13)$$

где  $P_{н.мах}$  – максимальная мощность;

$P_{н.мин}$  – минимальная мощность.

Коэффициент использования:

$$k_u = \frac{\sum P_c}{\sum P_n} \quad (14)$$

Принимаем коэффициент использования согласно таблицы 3.

Таблица 3- Значения коэффициентов использования бытовых электропотребителей

Наименование потребителя	Коэффициент использования $K_u$	Коэффициент спроса $K_c$
Светильники энергосберегающей лампой E27	0,8	0,8
Холодильник	0,8	1,0
Чайник	0,6	1,0
Конвектор электрический	0,7	0,5
ЖК телевизор	0,2	0,7
СВЧ печь	0,4	1,0
Плита двухкомфорчатая	0,4	0,5

Потребленная мощность за смену:

$$P_c = k_u \cdot \sum P_n, \quad (15)$$

Реактивная мощность за смену:

$$Q_c = tg\varphi \cdot P_c, \quad (16)$$

$tg\varphi_{cp}$  принимаем по справочным данным в зависимости от  $\cos\varphi$ .

Для нахождения эффективного числа электрических приёмников  $n_{\text{э}}$  воспользуемся формулой (17)

$$n_{\text{э}} = \frac{2 \cdot \sum P_H}{P_{H.\text{наиб}}}, \quad (17)$$

Зная  $n_{\text{э}}$  и  $m$  по таблице выбираем коэффициент максимума [14]. Тогда расчетная потребляемая мощность электрических потребителей

$$P_p = \sum P_c \cdot k_m, \quad (18)$$

расчетная реактивная мощность:

$$Q_p = \sum P_c \cdot \text{tg} \varphi_{cp} \quad (19)$$

Для определения общей расчетной полной мощности электрических потребителей  $S_p$ , ВА, применим формулу (20)

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (20)$$

Зная номинальное напряжение (0,22кВ) определим расчетный ток  $I_p$  по формуле (21)

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \quad (21)$$

Расчет выполним в виде таблицы 4.

Таблица 4- Укрупненный расчет электрических нагрузок с. Подстепки

№ п/п	Наименование электроприемников (ЭП)	Кол-во ЭП	Установленная мощность приведенная к ПВ=100%		$\frac{\text{Cos}\varphi/}{\text{tg}\varphi}$	Расчетная нагрузка			$I_p$ , А
			Одного ЭП	Всех ЭП		$P_p$ , кВт	$Q_p$ , квар	$S_p$ , кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Одна группа потребителей (условно один дом с. Подстепки)									
1	Светильники с лампой E27	10	20	200	$\frac{0,95}{0,329}$	0,128	0,042	0,135	0,61 2

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	Холодиль- ник	2	200	400	<u>0,65</u> 1,169	0,32	0,374	0,492	2,238
3	Чайник	1	1200	1200	<u>1,0</u> 0,0	0,72	0,0	0,72	3,273
4	Конвектор электри- ческий	1	1000	1000	<u>0,65</u> 1,17	0,35	0	0,35	1,591
5	ЖК телевизор	1	150	150	<u>0,9</u> 0,484	0,021	0,01	0,023	0,106
6	СВЧ печь	1	2500	2500	<u>0,65</u> 1,169	0,06	0,07	0,092	5,348
7	Плита двухконфор- чатая	1	3500	3500	<u>1,0</u> 0,0	0,7	0,0	0,7	3,182
	Итого на 1 дом					1,13 1	0,08	1,165	10,227
Общее потребление (примерно 3000 домов)									
	Итого на все село Подстепки					3393	240	3495	30681

Таким образом номинальная мощность проектируемого ветропарка составляет 3,495 МВт.

## 2.5 Выводы по разделу 2

На территории России в большинстве регионов среднегодовая скорость ветра составляет от 3 до 5 м/с. Более сильные ветра наблюдаются в прибрежных районах. Данная сила ветра является минимальной, при которой

возможно функционирование ветряных электростанций. На территории Самарской области для установки ветрогенераторов пригодны только 6 территорий. На остальной территории области среднегодовая скорость ветра менее 3 м/с. Для установки выбрана местность в районе с. Подстепки, на которой благодаря розе ветров и Куйбышевскому водохранилищу наиболее благоприятная ветряная обстановка. В зимний период направление ветра преимущественно с южных направлений, в теплый период – ветры северных и северо-западных направлений. Также в районе данного населенного пункта есть достаточная незастроенная территория, на которой возможно размещение ветропарка. Возможность размещения ветрогенераторов на значительном расстоянии от жилых построек позволит минимизировать негативное воздействие от ветрогенераторов, таких как шум и электромагнитное излучение.

Близость крупного энергоузла, которым является городской округ Тольятти, позволит максимально снизить затраты на интеграцию создаваемого ветропарка с существующей энергосистемой.

Упрощенный расчет электрических нагрузок определил номинальную мощность ветропарка в 3,495 МВт. Предварительно, для удовлетворения данной нагрузки, выбраны два варианта установки ветрогенераторов: 2 ветрогенератора по 2 МВт или 4 ветрогенератора по 1 МВт.

### **3 Выбор основного электротехнического оборудования ветропаркаи разработка схемы интеллектуальной системы управления ветропарком**

#### **3.1 Расчет режима и требования к ветроэнергетической установке**

Технические требования к ветроэнергетической установке (далее ВЭУ):

1) ВЭУ должна быть ориентирована по направлению ветра, по проведенной за интервал июнь-январь, по данным метеостанции установленной на объекте (в с. Подстепки). По сведениям метеостанции направление ветра эго-западное,  $-135^{\circ} \pm 35^{\circ}$  [9];

2) для выработки электроэнергии ВЭУ скорость ветра должна быть более 2 м/с, но при скорости более 15 м/с агрегат должен отключаться;

3) не должны превышать допустимые нормы шума: днем – 52 дБ, ночью – 44 дБ [13];

4) мощность ВЭУ должна соответствовать необходимой нам мощности по результатам расчетов.

Для оценки ресурсов использования энергии ветра определим потенциал ветра данного района. Методика определения описана в источнике [14].

В качестве интегральной энергетической характеристики ветра широко используется удельная мощность ветрового потока (ветровой потенциал), приходящаяся на единицу поперечного сечения потока. Теоретический ветроэнергетический потенциал оценивается с помощью формулы (21):

$$P_{уд} = 0,5 \cdot \rho \cdot (V3)_{cp}, \quad (21)$$

где  $\rho$  – плотность воздуха, равная  $1,225 \text{ кг/м}^3$  на уровне моря при атмосферном давлении 760 мм.рт.ст. и температуре  $15^{\circ}\text{C}$ ;

$(V3)_{cp}$  – средний куб скорости.

Средний куб скорости может быть выражен через среднюю скорость по формуле (22):

$$(V^3)_{\text{cp}} = 1,9(V_{\text{cp}})^3 \quad (22)$$

Подставив полученное выражение в формулу (21), получаем:

$$P_{\text{уд}} = 0,95 \cdot \rho \cdot (V_{\text{cp}})^3 \quad (23)$$

Подставим в формулу (23) значение плотности воздуха. Получаем упрощенную формулу (24).

$$P_{\text{уд}} = 1,17 \cdot V_{\text{cp}}^3 \quad (24)$$

Произведем расчет ветрового потенциала по формуле (24) по данным местной метеостанции установленной на объекте  $V_{\text{cp}}$  [9] и занесем их в таблицу 5.

Таблица 5 – Потенциал ветрового потока

Промежуток времени	$V_{\text{cp}}$ , м/с	$P_o$ , Вт/м <sup>2</sup>
Январь	3,6	54,59
Февраль	3,5	50,16
Март	3,3	42,05
Апрель	3,4	45,99
Май	3,1	34,86
Июнь	2,8	25,68
Июль	2,6	20,56
Август	2,8	25,68
Сентябрь	3,1	34,86
Октябрь	3,5	50,16
Ноябрь	3,7	59,26
Декабрь	3,7	59,26
За год	3,3	42,05



Построим зависимость ветрового потенциала от времени показанную на рисунке 15.

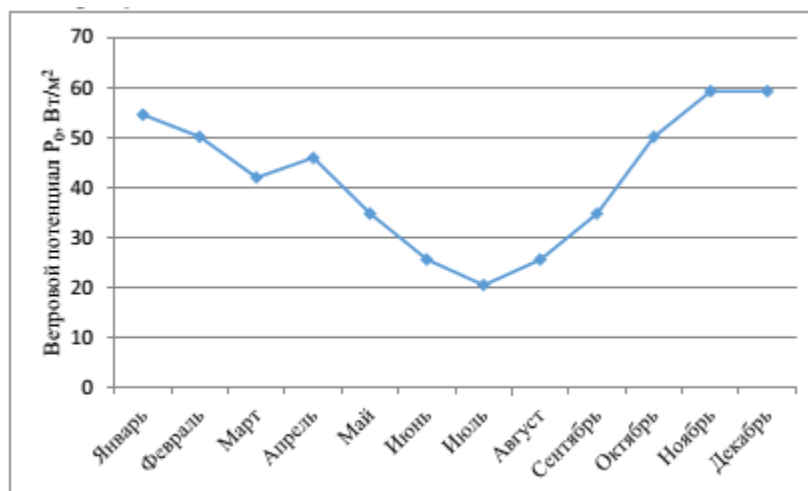


Рисунок 15 – График зависимости ветрового потенциала от времени года

По данному графику можно сделать вывод, что использование ветроэнергетических ресурсов будет наиболее выгодное в зимне-весенний период.

Для выбора ВЭУ определим мощность необходимую нам для питания объекта при минимальной выработке СЭС.

Выбор ветрогенератора необходимо производить с учетом двух важных параметров:

- $\xi$  - коэффициент использования энергии ветра. Коэффициент использования энергии ветра зависит от вида ветроколеса и составляет 35–40% для профилированного крыльчатого репеллера.

- $\eta_{\text{ген}}$  - КПД генератора, примерно составляет 80% [7].

Данные потери уже заложены в паспортные данные ветрогенераторов. Таким образом, при наших исходных данных подойдут ветрогенераторы с суммарной номинальной мощностью 4 кВт.

Следует заметить, что данный способ оценки является ориентировочным в силу субъективного выбора некоторых данных. Тем не менее, при правильном определении исходных он позволяет подобрать

ветрогенератор по номинальной мощности, близкой к реальной и избежать неоправданных расходов.

### 3.2 Разработка структурной схемы ветроэнергетической установки

Структурная схема современного ветроагрегат общего назначения представлена на рисунке 16 [15].

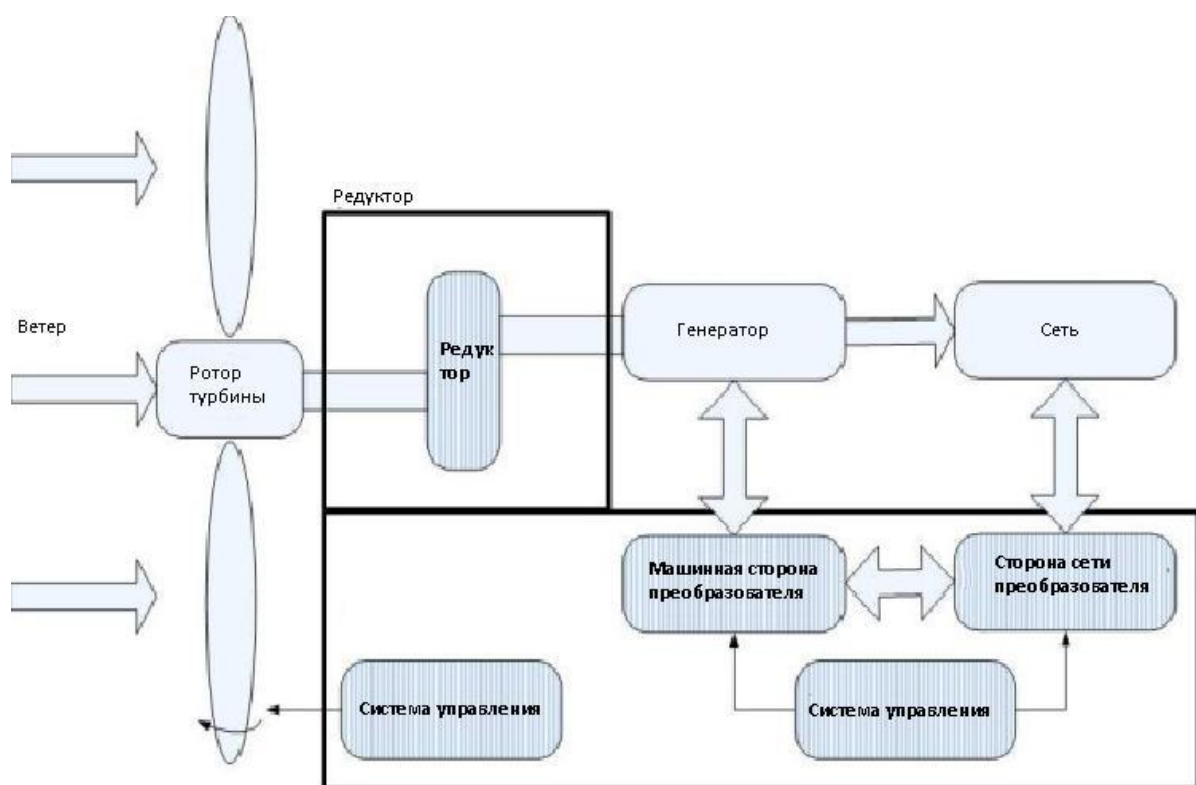


Рисунок 16 – Структурная схема ветровых турбин

Доминирующим конструктивным исполнением общего назначения является ветровая турбина с горизонтальной осью. Следует отметить, что выходная мощность по своей сути является неустойчивой и неуправляемой. Типичная ветряная турбина состоит из следующих подсистем (см. рис. 16):

- а) ротор турбины и лопасти винта (движущая сила);

- б) привод (валы, редуктор, муфты, механический);
- в) электрическая часть (кабели, коммутационные аппараты, трансформаторы и силовые электронные преобразователи, потребители);
- г) система управления.

Эффективность взаимодействия между каждым из упомянутых выше компонентов определяет, сколько кинетической энергии извлечено из ветра. На рисунке 17 показана укрупненная структура ВЭУ.

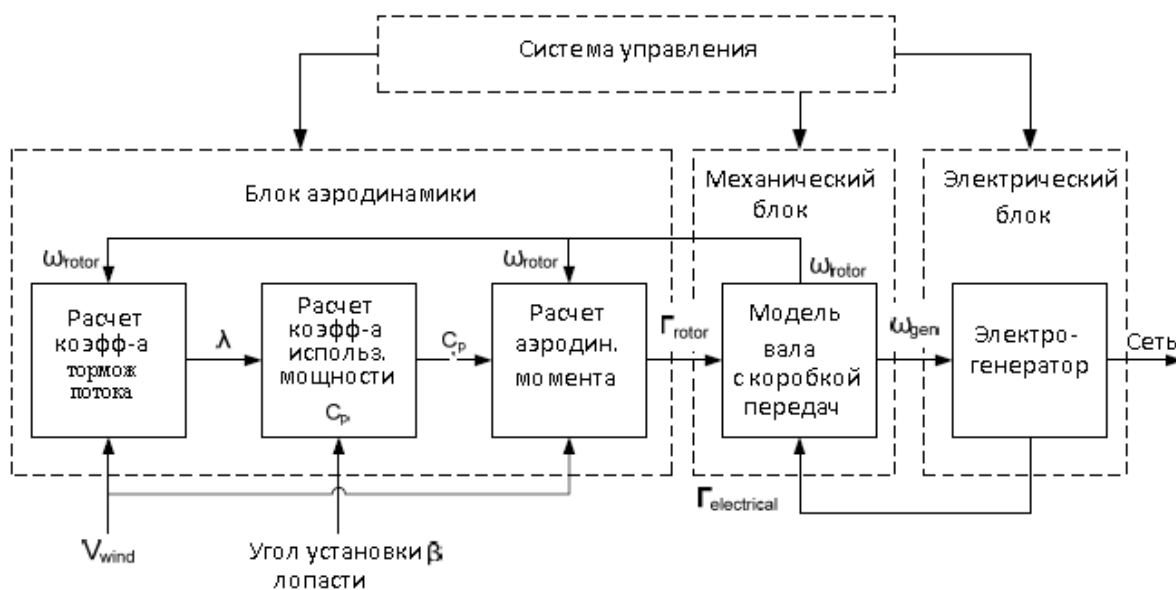


Рисунок 17 – Укрупненная структурная схема ВЭУ

### 3.3 Выбор типа ветроэнергетической установки

Критерии выбора ветрогенератора:

- 1)  $U_{ВЭУ}$  ( $U_{сети}$ ) – выходное напряжение генератора должно быть равно напряжению сетей, в которые будет интегрирован ветропарк;
- 2)  $P_{ВЭУ}$  ( $P_{сети}$ ) – мощность ветрогенератором должна соответствовать необходимой нам мощности или быть немного больше ее;
- 3) ветрогенератор должен быть рассчитан на минимальный и максимальную силу ветра.

На рынке России доступны к покупке и установке ветрогенераторы следующих европейских производителей:

- Vestas (Дания);
- Enercon (Германия);
- NEG Micon (Германия);
- Nordex (Германия);
- Bonus (Германия);
- Lagerwey (Голландия)

Главным критерием выбрала начальную скорость (с 3 м/с) и мощность 2 МВт (дешевле чем использовать 4 ветрогенератора по 1 МВт). Выбрала модель ветрогенератора EDS W2000 от фирмы Enercon (Германия) (см. рисунок 18, таблицы 6 и 7).



Рисунок 18- Ветрогенератор EDS W2000 от фирмы Enercon

Таблица 6- Краткая характеристика ветрогенератора EDS W2000

Наименование	Значение
Диаметр ветроколеса:	86,42 м
Регулировка угла лопастей:	Автоматическая
Номинальная скорость ветра:	12 м/с
Номинальное напряжение:	6,3 или 11 кВ, 50 Гц
Номинальная мощность:	2000 кВт
Генератор:	Синхронный, трехфазный
Номинальная скорость вращения:	300 об/мин
Стартовая скорость ветра:	3 м/с
Рекомендуемая высота мачты:	100 м
Срок эксплуатации	15 лет
Цена за кВт, т.руб	46,7
Цена за ВЭУ, т.руб	93417

Таблица 7- Полная характеристика ветрогенератора EDS W2000

Характеристика	Величина
1	2
Тип, модель	W2000
Стартовая скорость ветра	3 м/с
Номинальная скорость ветра	11 м/с
Макс. эксплуатационная скорость	25 м/с
Инструкция расчёта	Germanischer Lloyd
Тип, класс	TC IA

Срок службы	20 лет
Лопасть ротора	
Длина лопасти	45,3 м

Продолжение таблицы 7

1	2
Диаметр цапфы ротора	2110 мм
Угол стреловидности	0°
Угол конусности	0°
Материал	эпоксидный стеклопластик
Громоотвод	интегрированный
Привод поворота лопастей ротора	
Макс. скорость поворачивания	7°с
Тип подшипника лопасти	двухрядный шариковый
Ротор	
Количество лопастей ротора	3
Осевая линия ротора	горизонтальная
Положение по отношению к башне	против ветра
Диаметр ротора	93,02 м
Площадь ротора	6793 м <sup>2</sup>
Диапазон числа оборотов	11 – 18,1 об/мин.
Номинальное число оборотов	15,7 об/мин.
Направление вращения (вид по ветру)	вправо
Способ регулировки мощности	поворотом лопастей
Угол конусности	-2°
Наклон оси ротора	4,5°
Привод	
Номинальный момент	1120 kNm

Тип привода	планетарный/цилиндрическая передача
Передаточное отношение	1 : 115 – 1 : 68
Смазка редуктора	принудительная циркуляция

Продолжение таблицы 7

1	2
Соединение редуктор/генератор	эластическая муфта
Управление моментом	электро- гидравлический принцип
Тормозная система	
Рабочий тормоз	активный при работе
Тип	зубчатое зацепление/серводвигатель
Механический тормоз	дисковый
Активация	при остановке
Поставщик	Svendborg Brakes
Направляющая система	
Тип направляющей установки	активная
Тип подшипника	подшипник скольжения
Тип привода	серводвигатель
Количество секций	4
Тормоз	трением в подшипнике скольжения плюс тормоз двигателя
Генератор	
Модель генератора	синхронный
Номинальная мощность	2000 кВт
Класс защиты	IP54
Номинальное напряжение	6,3 или 11 кВ
Номинальное напряжение- опцион	0,69 – 11 кВ
cosφ	стандарт 0,90ind – 0,95cap
Корпус гондолы	
Тип конструкции	закрытая

Материал	полиэфирная смола /стекловолокно
Система управления	
Тип	PLC, свободно программируемый

Продолжение таблицы 7

1	2
Мониторинг	через модем
Масса	
Конструкция	коническая труба из стали
Высота оси ротора	100 м
Антикоррозионная защита	защитная покраска

График выработки электроэнергии представлен на рисунке 19.

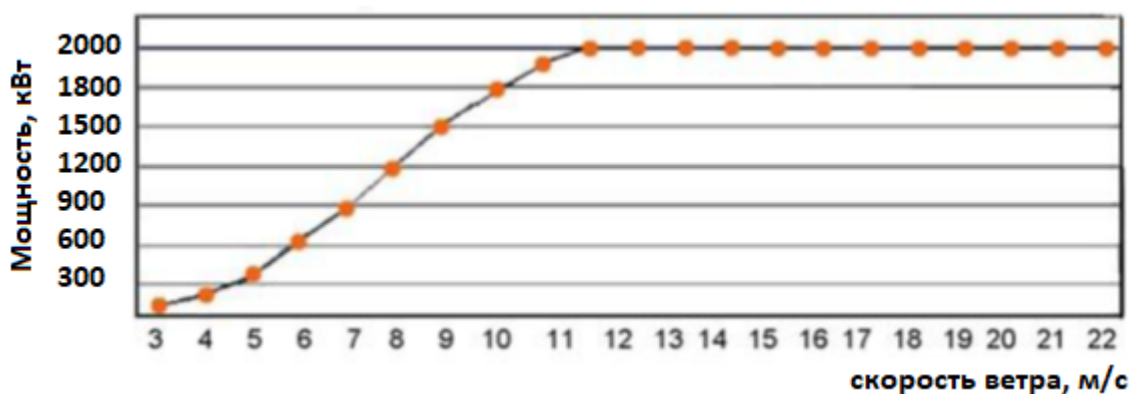


Рисунок 19 – Характеристики мощности в зависимости от силы ветра

### 3.4 Выбор конструкции сервопривода

Как было сказано ранее, основные функции управления – это оптимизация мощности в зоне 2 и ограничение мощности в зоне 3, последнее достигается снижением скорости, либо управлением углом наклона ВК (ветряного колеса) (см. рисунок 20). Для управления мощностью осуществим создание исполнительных механизмов для системы управления ВЭУ. Ограничение значения угла наклона, и его градиента, обеспечивается



сервоприводом. Связи с этим, необходимо разработать модель, которая бы имитировала работу сервопривода.

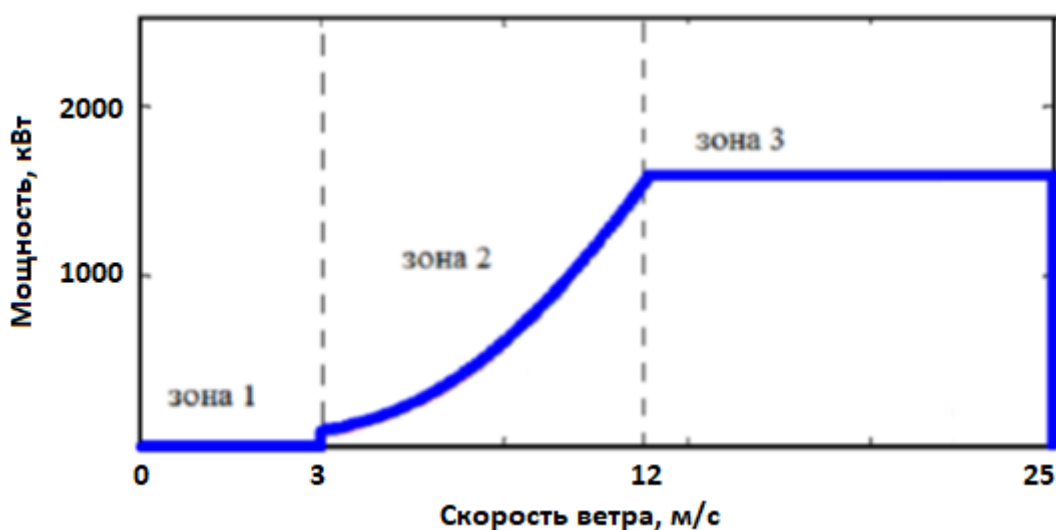


Рисунок 20 – Энергетическая характеристика ВЭУ

Ранее, в середине прошлого века, в конструкции лопасти для этих целей использовалась система противовесов, которые обеспечивали поворот лопастей вокруг своих продольных осей. Но по мере того, как турбины росли в размерах, а электроника интенсивно развивалась, эти механизмы были заменены на электрогидравлические или пневматические сервопривода. Высокая гибкость этих устройств повысила качество и эффективность стратегий управления вырабатываемой мощностью.

Выше было сказано, что главной задачей управления ветряной турбины является управление углом наклона ветроколеса. Для однозначного выбора способа повышения качества регулирования положения угла наклона ВК турбины, зададимся вопросом «каковы возможные пути улучшения характеристик регулятора?» Существенного улучшения характеристик регулятора следует ждать в том числе и за счет повышения быстродействия сервопривода, выступающего в качестве исполнительного элемента глобальной системы управления мощностью турбины [17].

В реальной системе максимальная скорость поршня сервопривода не увеличивается, так как она ограничена производительностью маслосистемы. Однако в процессах управления она может повышаться до максимально возможной, что выражается в более жесткой и уверенной отработке сигналов управления: вместо вялого «дотягивания» сервоприводом до заданного положения наблюдается уверенное перемещение сервопривода практически с максимальной скоростью.

Исследования в данной области показывают, что для сохранения жесткости позиционирования с увеличением усиления необходимо пропорционально увеличивать расход рабочей жидкости в импульсной линии. К сожалению, это влечет за собой увеличение производительности маслосистемы, что делает такой путь совершенствования системы регулирования практически невозможным. Однако в электрогидравлической системе регулирования, где управление сервоприводом реализуется в электрической части, указанных ограничений нет, и это является практической основой для реализации электрогидравлического сервопривода в качестве исполнительного механизма глобальной системы управления мощностью ветряной турбины.

Исходя из вышесказанных соображений, сделаем вывод, что качество управления положением сервопривода вносит существенный вклад в характер работы системы управления турбиной. Следовательно, контур управления положением гидравлического сервопривода является ответственным звеном во всей системе управления.

Сервопривод данной системы управления является нелинейным устройством, осуществляющим поворот лопастей винта турбины, вообще говоря, синхронно. В замкнутом контуре сервопривод может быть смоделирован как динамическая система первого порядка с насыщением по амплитуде и производной по выходу [18]. На рисунке 21 представлена структурная схема системы первого порядка.

Динамика этой системы в линейной части описывается дифференциальным уравнением вида:

$$\frac{d\beta}{dt} = -\frac{1}{\tau}\beta + \beta_d \quad (25)$$

где  $\beta$  и  $\beta_d$  это действительный и заданный угол наклона соответственно;

$\tau$  – постоянная времени, которая характеризует быстродействие сервопривода

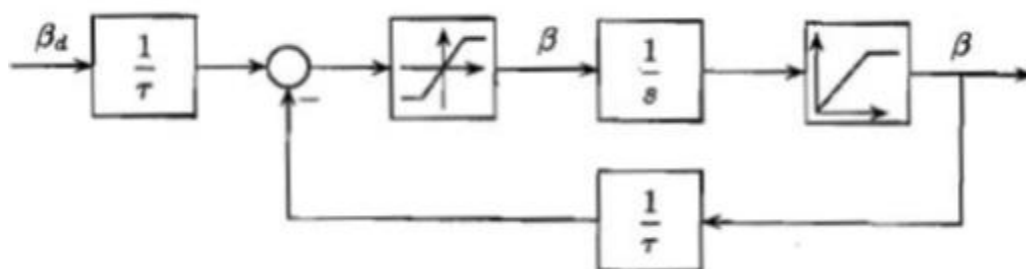


Рисунок 21 – Структурная схема сервопривода

### 3.5 Принцип управления углом наклона лопасти ВЭУ

Работа ВЭУ разделена на три зоны, в которых цели управления концептуально различаются. В зоне 1 задача управления сводится к тому, чтобы поймать минимальный ветер, способный преодолеть силу сопротивления турбины. Зону 2 можно назвать участком разгона турбины до рабочих значений мощности ВЭУ. В этой зоне задача управления сводится к максимальному использованию силы ветра для выработки электрической энергии. Другими словами, этот участок требует оптимального управления выработкой мощности ВЭУ. Для этих целей используются различные современные методы оптимального управления, такие как принцип максимума Понтрягина, принцип оптимальности (динамическое программирование Беллмана), метод Гамильтона-Якоби классического вариационного исчисления и др.

В третьей зоне скорость вращения ротора, по сравнению с предыдущим участком, остается неизменной. Что касается изменения угла наклона, то в данном случае процесс имеет обратный характер, т.е. до этого угол наклона располагался в его оптимальном положении ( $\beta=0^\circ$ ), а в третьей зоне происходит его изменение (см. рисунок 22). На рисунке 23 продемонстрирован пример изменения угла наклона лопасти при переменной скорости ветра.



Рисунок 22 – Зоны работы ВЭУ и принцип изменения в них угла наклона

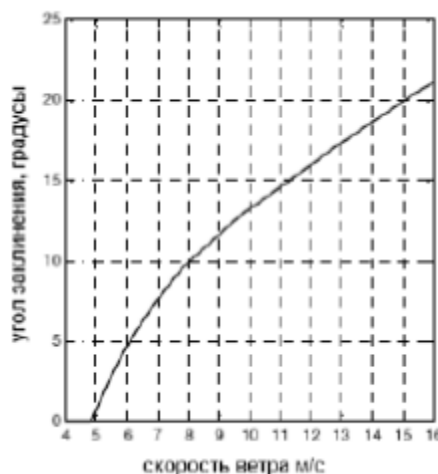


Рисунок 23 – Пример изменения угла наклона лопасти при переменной скорости ветра

Регулирование угла наклона необходимо для:

- повышения коэффициента полезного действия в зоне 2, где величина угла атаки должна быть оптимальной и близкой к нулю ( $\beta=0^\circ$ );

- ограничение выходной мощности турбины номинальной. При скорости ветра выше номинальной угол наклона регулируется по определенному закону, воздействуя на аэродинамическую мощность и на нагрузку ротора;

- ограничения разрушающих сил, воздействующих на конструкцию турбины. Система управления имеет сильное влияние на нагрузки, испытываемые турбиной. При проектировании системы управления необходимо принимать это во внимание для того, чтобы быть уверенным, что она не приведет к чрезмерным нагрузкам.

Обычно для изменения угла наклона пользуются стандартными ПИ- и ПИД- законами регулирования. Рассмотрим построение таких контроллеров для конструкции ВЭУ с двумя ветроколесами.

Данная установка имеет два исполнительных механизма с общей системой управления, получающих управляющее воздействие от системы управления мощностью ветрогенератора.

### **3.6 Выбор стратегии управления ветроэнергетической установкой**

Известны две стратегии управления (см. рисунок 24):

1. Кривая А-В-С-Д. Сила ветра  $V_w < V_{w,расч}$ . Режим выработки максимального количества электрической энергии. Оптимальный режим работы. Система управления оптимизирует частоту вращения ветроколеса.

2. Кривая D-E. Сила ветра  $V_w > V_{w,расч}$ . Ветряной напор превышает расчетную величину. Система управления регулирует объем вырабатываемой мощности.

Рассмотрим стратегию управления ВЭУ для каждого отрезка характеристик, представленных на Рисунке 24а (слева) и 24б (справа).

Стратегия I (отрезок А-В): скорость ветра настолько мала, что  $w_t \leq w_t^{min}$  и  $n_g \leq n_g^{min}$ . Задаваемая частота вращения ВК ВЭУ  $w_t^{ref} = w_t^{min}$  ( $n_g = n_g^{min}$ ).

Коэффициент торможения потока (относительное уменьшение в ВК набегающего потока ветра) рассчитывается следующим образом (26)

$$\lambda v_w = \frac{w_t^{min} * R}{v_w} \quad (26)$$

Каждому значению  $\lambda v_w$  соответствует оптимальный коэффициент использования мощности  $C_p$  и значение угла установки лопастей ВК ВЭУ.

Выдаваемая ВЭУ мощность  $P_{мех}^{opt}$  при  $w_t^{min}$ :

$$P_{мех}^{opt} v_w = \frac{1}{2} * \rho * \pi * R^5 * \frac{G_p^{opt} v_w}{\lambda^3 v_w} * (w_t^{min})^3 \quad (27)$$

где  $\rho$  – плотность воздуха, а  $R$  – радиус ВК.

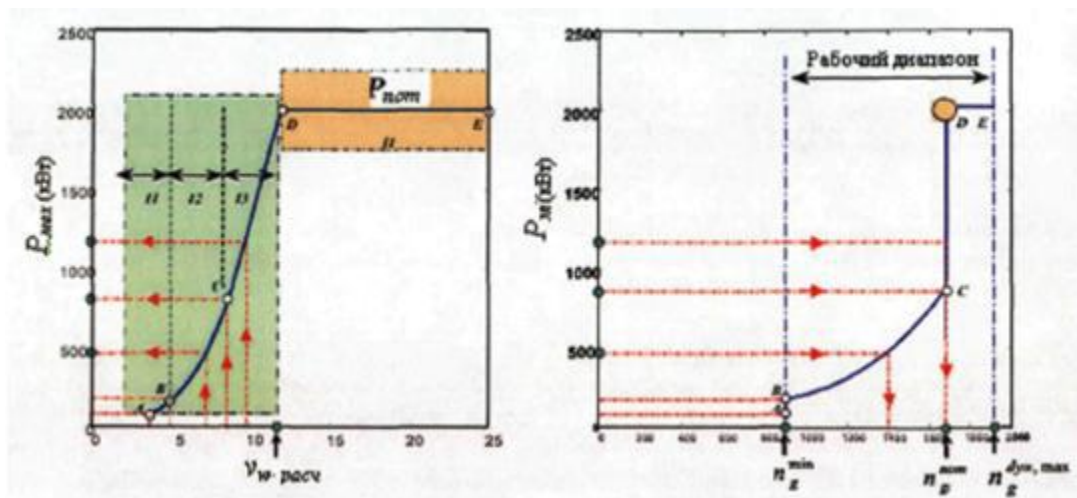


Рисунок 24 – Стандартные характеристики ВЭУ: а –  $P_{мех}=f(V_w)$ , б–  $P_{эл}=f(n_g)$

Стратегия I2 (отрезок В-С):  $w_t^{min} < w_t \leq w_t^{nom}$  ( $n_g^{min} < n_g \leq n_g^{min}$ ): задача системы управления ВЭУ состоит в обеспечении  $C_p^{max}$ , которому соответствует оптимальные значения  $\beta_{opt}$  и  $\lambda_{opt}$ . В результате значение  $\beta_{opt}$  поддерживается постоянным, а значение  $\lambda_{opt}(v_w)$  изменяется таким образом, чтобы значение  $w_t$  соответствовало задаваемому значению  $w_t^{ref}$  (28)

$$w_t^{ref} v_w = \frac{\lambda_{opt}(v_w)}{R} \quad (28)$$

Тогда

$$P_{\text{мех}}^{max} v_w = \frac{1}{2} * \rho * \pi * R^5 * \frac{G_p^{max} v_w}{\lambda_{opt}^3} (w_t^{ref} v_w)^3 \quad (29)$$

Стратегия I3 (отрезок C-D):  $w_t^{ref} = w_t^{nom}$  и  $P < P_{\text{ном}}$  задача системы управления аналогична задаче для участка A-B; единственным различием является то, что  $\lambda v_w$ ,  $G_p^{opt} v_w$ ,  $\beta_{opt}$ ,  $P_{\text{мех}}^{opt}$  распределяются при  $w_t^{nom}$ , что в свою очередь соответствует  $n_g^{nom}$ .

Стратегия II (отрезок D-E): ( $v_w > v_{w, \text{расч}}$ ) задача системы управления ВЭУ состоит в ограничении генерируемой ВЭУ мощности  $P_{\text{мех}}^{ref}$  до  $P_{\text{пот}}$  за счет поддержания  $P_{\text{пот}} = P_{\text{ref}}$  с помощью СГЭЭ и системы регулирования угла установки лопастей ВК  $\beta$ .

Кинематически соединить между собой вал ветряного колеса и вал электрического генератора можно несколькими способами. Самый простой способ соединить напрямую, без изменения угловых скоростей вращения валов. В этом случае обычно требуется ветер стабильно высокой скорости, чтобы иметь возможность разогнать вал генератора до определенной частоты, которая часто называется, как начало токоотдачи [16]. Но в большинстве случаев между валом ветроколеса и вала электрогенератора устанавливается повышающий редуктор. В результате вал генератора вращается гораздо быстрее вала ветроколеса, что положительным образом сказывается на работе генератора (на выработке им электроэнергии).

Важным моментом в работе ветрогенератора является момент трогания ветроколеса. Как в любой механической системе для преодоления статического момента требуется затратить больше усилия, чем для поддержания того или иного параметра в определенном диапазоне. Следовательно, если минимальная сила ветра, при которой ветроколесо вращается составляет 3 м/с, то для того чтобы оно начало вращаться требуется кратковременное увеличение силы ветра. Например, это может

быть порыв ветра, который сдвинет колесо с места, а далее постепенно колесо разгонится до номинальных значений.

Так как кратковременный порыв ветра величина случайная и его можно прождать очень долго, в большинстве ветряков есть своя «система пуска». Конструктивно это может быть электрический или пневматический привод. Электропривод предпочтительнее, так как он более простой, исключает дополнительные промежуточные детали. Мощность электропривода может быть незначительной, питаться от аккумуляторной батареи или резервного питания. Для повышения мощности используется редуктор с большим повышающим моментом.

При возникновении необходимости в защите элементов конструкции ветряка от критической силы ветра, при которой многократно возникает не только частота вращения, но и различные силы (осевая, центробежная и другие), используется несколько способов это сделать. Самый простой при помощи механических тормозов. Тормоз с электромагнитным управлением. Тормозной момент может быть магнитным, может быть механическим (тормозной диск, тормозные колодки). Более сложным представляется использование для торможения непосредственно электрического генератора, который на определенных частотах тормозит роторные обмотки, при этом работая в режиме рекуперации энергии [14].

Самым сложным торможением является перевод лопастей ветроколеса во флюгерное положение. В этом случае в конструкцию ветряка должны входить соответствующие возможности, т.е. должен быть соответствующий привод и система управления его работой [17].

### **3.7 Контроллер управления углом наклона**

Основная задача управления, заключается в регулировании мощности ВЭУ (см. рисунок 25). Таким образом, ошибка между значениями измеренной и заданной мощностью генератора передается на ПИ-регулятор



скорости (см. рисунок 26). Выход из ПИ-регулятора используется в качестве опорного сигнала для исполнительного механизма, в данном случае сервопривода. Чтобы получить реалистичный результат работы, в контур введены ограничения – максимальная скорость изменения угла наклона ( $\pm 10$  град/с) и максимальное положение угла (от 0 до 30 град). Таким образом, фактическое положение угла сравнивается с заданным и затем их ошибка корректируется сервоприводом.

Общий коэффициент усиления контура управления по скорости можно выразить как произведение коэффициента ПИ-регулятора на аэродинамическую чувствительность.

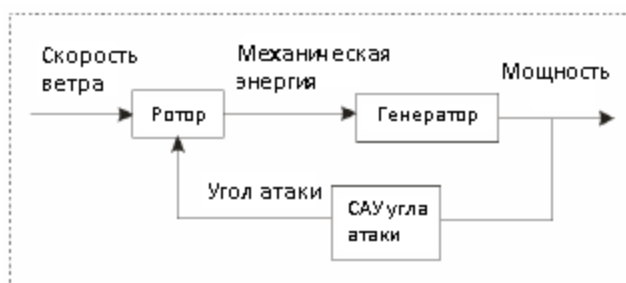


Рисунок 25 – Регулирование мощности турбины

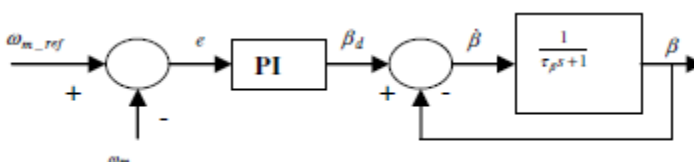


Рисунок 26 – Структурная схема ПИ-контроллера

Аэродинамическая чувствительность системы зависит от условий эксплуатации (заданное значение мощности, скорости ветра или угла наклона). Чем больше аэродинамическая чувствительность системы (большой угол  $\theta$  / большая скорость ветра), тем меньше должен быть коэффициент усиления регулятора и наоборот.

### 3.8 Выбор типа ветряного контроллера

Контроллер для ветрогенератора выполняет сразу несколько функций: контролирует повороты лопастей, распределение энергии, преобразовывает переменный ток в постоянный и другие функции. Без применения данного устройства невозможно нормальное функционирование ВЭУ.

Условия выбора ветрового контроллера:  $U_{\text{контр}} (U_{\text{ВЭУ}})$  – входное напряжение ветрового контроллера должно быть равно или больше максимальному напряжению выдаваемой ВЭУ (в том числе напряжением холостого хода ветрогенератора).

Контроллеры для ветрогенераторов никогда не отключают ветрогенератор и работают по двум основным принципам. Контроллеры для мощных ветрогенераторов обычно снабжены большим балластным резистором. Ветрогенератор без нагрузки оставлять нельзя в сильный ветер, без нагрузки винт будет крутиться на очень больших оборотах, сильно шуметь, и испытывать сильные ветровые перегрузки, от этого ветрогенератор может просто не выдержать и выйти из строя. Так же без нагрузки у ветрогенератора напряжение может достигать до больших значений, что так же может вывести из строя контроллер.

В выбранном мною ветрогенераторе EDS W2000 контроллер является встроенным и входит в комплект покупки.

### **3.9 Обоснование выбора ветроэнергетической установки как вспомогательного источника питания**

Как описывалось выше ВЭУ мы применяем для параллельной работы со стандартными электросетями. Это связано с тем, что аккумуляторные батареи на данную мощность, которые служат для исключения провала в электроснабжении, занимают очень большую площадь, требуют большое количество сетевых инверторов для их заряда и последующего преобразования постоянного тока в переменный. Стоимость данного оборудования также значительна. В случае же работы на электросеть данный

вопрос интеграции решается совместно с эксплуатирующей компанией, созданием электрической подстанции с соответствующим оборудованием.

### **3.10 Выводы по разделу 3**

В этой главе мы рассмотрели некоторые конструктивные особенности энергоустановки, генерирующей электричество от ветра. В зависимости от назначения установки такого типа могут сильно различаться по своей структуре. Использование ВЭУ чаще всего предполагает работу на внешнюю электросеть, которая в свою очередь может влиять на работу самой ВЭУ. Основные схемы генерации электроэнергии ВЭУ реализованы на синхронном генераторе с постоянными магнитами. Такая схема хорошо себе зарекомендовала на практике в ряде европейских стран и США.

Использование ветроэнергетических ресурсов будет наиболее выгодное в зимне-весенний период.

Система управления ВЭУ должна обеспечивать реализацию двух основных функций управления – это оптимизация мощности в зоне 2 (разгон ветрогенератора от начала вращения до оптимальной силы ветра) и ограничение мощности в зоне 3 (скорость ветра от оптимальной до критической), последнее достигается снижением скорости, либо управлением углом наклона ВК (ветряного колеса).

Выбранный ветрогенератор имеет минимальную начальную силу ветра в 3 м/с, номинальную силу ветра в 12 м/с. Уровень вырабатываемого напряжения 6,3 или 11 кВ с частотой 50 Гц.

## **4 Расчет затрат на реализацию проекта создания ветропарка**

### **4.1 Расчет затрат на потребленную электроэнергию**

Примерное электропотребление с. Подстепки в год на одного жителя составляет 640 кВт/ч. Тогда суммарное потребление всеми жителями с. Подстепки составляет  $13031 \cdot 640 = 8339840$  кВт/ч/год.

При стоимости электроэнергии в 2,5 руб стоимость оплаты за электроэнергию составляет 20849600 руб.

### **4.2 Укрупненный расчет затрат на подключение к существующим сетям**

#### 4.2.1 Расчет стоимости строительства ПС 6,3/0,4 кВ «Подстепки-2»

Расчет стоимости будем проводить согласно, методики [41].

Исходные данные для расчета:

##### 1. Общая характеристика района размещения ПС

1.1. Месторасположение ПС – с. Подстепки, Самарская обл, Россия.

1.2. Рельеф площадки ПС – равнинный.

##### 2. Технические показатели подстанции 6/0,4 кВ

2.1. Мощность – 4000 кВА

2.2. Тип и количество трансформаторов - ТМ-4000/10-У1, 2 шт.

3. Расчет затрат на строительство ПС «Подстепки-2» приведен в таблице 7.

Укрупненные стоимостные показатели ПС приведены по подстанции в целом и по отдельным основным элементам, к которым относятся: распределительные устройства и отдельные ячейки, трансформаторы (автотрансформаторы), постоянная часть затрат.

Таблица 7 – Расчет затрат на строительство ПС «Подстепки-2»

№ п/п	Составляющие затрат	Количество	Расчет затрат	Величина затрат, т.руб
1	2	3	4	5
1	Установка одного силового трансформаторов мощностью до 6,3 МВА	2	2х 2068	4172
2	Постоянная часть затрат (благоустройство, ограждение, дополнительное оборудование) для ПС	1	470	470
3			Итого	4642
4	Стоимость строительства ПС (с учетом затрат, сопутствующих строительству 16,5 %)	1	1,165 х 2538	2956
5			Всего	7598

Итоговая стоимость строительства подстанции составит в ценах на 2019 г. 7598 тыс. руб.

Составляющие стоимости строительства ПС составляют:

- стоимость оборудования (ПС (в том числе приборы учета и измерения электроэнергии), разъединитель на опоре);

- стоимость строительно-монтажных работ с учетом стоимости используемого материала (устройство фундамента, опорных металлоконструкций, заземления);

- стоимость проектно-изыскательских работ, стоимость подготовки и благоустройства территории, а также сопутствующие затраты.

Согласно расчетов приведенных выше, примерная стоимость работ по строительству подстанции на объекте «Подстепки-2» составит 7598 тыс. руб.

В данную стоимость не включена стоимость технологического присоединения, а так же стоимость строительства ВЛ 6 до объектов, а так же другие сопутствующие работы.

4.2.2 Расчет стоимости технологического присоединения объектов исследования

Согласно решения Правления Государственного комитета по тарифам и энергетике плата на технологическое присоединение энергопринимающих устройств, отнесенных ко второй категории надежности (по два источника электроснабжения) рассчитывается по формуле (30):

$$P = C_1 \cdot N + k_1 \cdot \sum_i C_{2,i} \cdot L_{2,i} + k_2 \cdot \sum_i C_{3,i} \cdot L_{3,i} + k_3 \cdot \sum_i C_{4,i} \cdot N, \quad (30)$$

где  $C_1$  – стандартизированная тарифная ставка на покрытие расходов при технологическом присоединении по мероприятиям, не включающим в себя строительство объектов электросетевого хозяйства, (руб./кВт);

$C_{2,i}$  – стандартизированная тарифная ставка на покрытие расходов сетевой организации на строительство воздушных линий электропередачи на  $i$ -м уровне напряжения, (руб./км);

$C_{3,i}$  – стандартизированная тарифная ставка на покрытие расходов сетевой организации на строительство кабельных линий электропередачи на  $i$ -м уровне напряжения, (руб./км);

$C_{4,i}$  – стандартизированная тарифная ставка на покрытие расходов сетевой организации на строительство подстанций, (руб./кВт);

$N$  – объем максимальной мощности, указанный в заявке на технологическое присоединение заявителем, (кВт);

$k_1$  - суммарная протяженность воздушных линий на  $i$ -том уровне напряжения, строительство которых предусмотрено согласно выданным техническим условиям для технологического присоединения заявителя, (км);

$k_2$  – суммарная протяженность кабельных линий на  $i$ -том уровне напряжения, строительство которых предусмотрено согласно выданным техническим условиям для технологического присоединения заявителя, (км);

$k_3$  – индексы изменения сметной стоимости по строительно-монтажным работам при воздушной прокладке кабеля с алюминиевыми жилами, подземной прокладке кабеля с алюминиевыми жилами, прочим объектам соответственно для субъектов РФ к федеральным единичным расценкам 2001 года, определенные Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации на квартал, предшествующий кварталу, в котором рассчитывается плата за технологическое присоединение, учтена в полной стоимости тарифной ставки.

Расчет стоимости  $P$  технологического подключения для объекта «Подстепки-2» согласно формуле (30), при учете, что длина линии 0,4 кВ от ближайшей подстанции составляет 0,5 км, а заявленная максимальная мощность 4000 кВт:

$$P = 199,42 \cdot 16 + 433652,26 \cdot 3,04 + 1073,23 \cdot 16 = 1338665,27 \text{ руб.}$$

### **4.3 Стоимость установки ветрогенераторов**

В стоимость установки ветрогенераторов входит стоимость работ по установке (строительно-монтажные работы, электромонтажные работы), а также стоимость на проектно-изыскательную работу.

Согласно [24] данные работы объединены в единый норматив. Максимальная стоимость строительства одного киловатта для проектов по

созданию ВЭУ составляет 5,76 тыс. рублей. Таким образом, стоимость строительных и проектно-изыскательных работ составляет  $4000 \cdot 5,76 = 23040$  тыс. руб.

Экономические показатели строительства ветропарка сведены в таблицу 8.

Таблица 8- Экономические показатели строительства ветропарка

№ п/п	Наименование статьи расходов	Величина, тыс. руб
1	2	3
1	Стоимость ветрогенераторов EDS W2000 (2 единицы)	186834
2	Стоимости строительства ПС 6,3/0,4 кВ «Подстепки-2»	7598
3	Стоимости технологического присоединения ПС к электросетям	1338
4	Стоимость установки ветропарка (строительно-монтажные, электромонтажные, проектно- изыскательные работы)	23040
	Итого	218810



## **5 Мероприятия, обеспечивающие безопасность эксплуатации ветроэнергетических установок**

### **5.1 Общие правила безопасности**

К работе с ветрогенератором допускается персонал, изучивший инструкцию. Не допускается монтаж и обслуживание ВЭС в нетрезвом состоянии. При подготовке ветрогенератора к работе внимательно изучите инструкцию.

Ветрогенератор сконструирован так, чтобы обеспечить безопасность при условии его правильной эксплуатации. Однако ответственность за безопасность лежит на тех, кто выполняет установку, эксплуатацию и обслуживание ветрогенератора. При соблюдении описанных ниже мер безопасности, возможность несчастного случая будет минимальной.

Прежде, чем выполнять какую-либо процедуру или действие, пользователь должен убедиться, что она безопасна.

Процесс эксплуатации ветроэнергетической установки требует внимательного и ответственного отношения. Устройства, входящие в ее состав могут представлять при неправильной эксплуатации или в тяжелых погодных условиях источник повышенной опасности.

Общие правила безопасности:

- а) регулярно проводите техническое обслуживание оборудования;
- б) не пытайтесь выполнять ремонт или обслуживание ветроэнергетической установки самостоятельно. Данные работы должен выполнять профессиональный персонал;
- в) проверьте состояние основных узлов оборудования при его получении;
- г) не допускайте к эксплуатации ветроэнергетической установки лиц, не получивших необходимые инструкции;

д) не допускайте детей к компонентам ветроэнергетической установки, независимо от состояния системы;

е) перед началом эксплуатации необходимо тщательно осмотреть ветрогенератор убедиться в надежности крепления лопастей, мачты, и всех фланцевых соединений;

ж) проверить, не повреждена ли изоляция проводов;

з) во время работы ветрогенератора не допускается прикасаться к проводам, и работающей турбине;

и) запуск ветрогенератора должен производиться без подключенной нагрузки;

к) мощность предполагаемой нагрузки не должна превышать мощность подключенного к системе инвертора.

Ветрогенератор представляет особую опасность при аномально сильных ветрах. Не смотря на то, что такое явление происходит крайне редко, необходимо перед монтажом выделить зону отчуждения ля ВЭС. Зона отчуждения – пространство вокруг станции, к которому не следует допускать людей, либо животных во время работы турбины (особенно при сильных ветрах). Зона отчуждения рассчитывается следующим образом: берется высота всей конструкции ВЭС, и ней прибавляется 15 метров, эта длина по радиусу вокруг ВЭС и является зоной отчуждения.

## **5.2 Техника безопасности при эксплуатации ветрогенераторных установок**

Техника безопасности при эксплуатации ветрогенераторных установок связана со следующими опасными факторами:

- протекание высокого электрического тока;
- обслуживание ветряка на высоте;
- наличие вращающихся и движущихся частей;
- статическое электричество.

Для избежания поражения электрическим током требуется обязательно выполнять простые требования изложенные в Руководстве по эксплуатации ветроустановок. Среди них:

- использовать провода соответствующего сечения;
- проверять качество заземления;
- не прикасаться к оголенным проводам, если вы не уверены, что они не находятся под напряжением;
- проверять целостность разъемов, проводов, изоляции;
- не работать с влажными (мокрыми) руками.

Главную механическую опасность представляют собой лопасти ветроколеса, вращающиеся с очень высокой окружной скоростью. В связи с этим необходимо полностью исключить возможный контакт ветроколеса с человеком. Второй момент направлен на возможность нанести повреждение ветроколесу при его обслуживании. Запрещается останавливать ветроколесо при работе турбины. Не обслуживать ветроколесо при наличии ветра, даже незначительного.

Техническое обслуживание ветроустановки заключается в ежегодной (1 раз в год) проверке опорных конструкций, осмотре лопастей на наличие механических повреждений (сколы, трещины), проверке электрической проводки.

### **5.3 Безопасные условия эксплуатации ветропарка**

Ветрогенератор обеспечивает номинальную мощность при температуре окружающего воздуха от -40 до +40°С и высоте над уровнем моря до 1000 м, и относительной влажности воздуха 98% (при t +25°С). При работе агрегата на высоте более 1000 м. обеспечивается 100% мощность: на высоте 2000 м. до 90% от номинальной, на высоте 3000 м. до 75% от номинальной.

Скорость ветра в месте установки не должен превышать 25 м/с, так как при более сильных ветрах существует вероятность разрушения станции.

В случае, если в месте установки станции грунт не плотный или есть грунтовые воды, без принятия мер по укреплению фундамента сваями возможно разрушение станции.

Помещение должно быть сухим, электрооборудование должно быть защищено от попадания влаги. Электрооборудование должно находиться в помещении, недоступном для детей и недееспособных лиц. Не располагайте доп. оборудование вблизи электрических обогревателей, нагревательных приборов и других источников тепла. Расстояние от приборов до радиаторов отопления приборов должно быть не менее 1 м. Защитите оборудование от попадания прямых солнечных лучей.

Запрещается устанавливать не герметичные аккумуляторные батареи в помещениях, предназначенных для длительного нахождения людей, а также в смежных с ними помещениях.

Для вентиляции помещения с не герметичными аккумуляторными батареями должна быть выполнена вытяжная вентиляция, которая обеспечивает не менее чем однократный обмен воздуха в час. Если естественная вентиляция не может обеспечить требуемую кратность обмена воздуха, должна применяться принудительная вытяжная вентиляция.

Для обустройства заземления необходимо использовать один из следующих заземлителей:

- а) металлический стержень диаметром не менее 15 мм, длиной не менее 1500 мм;
- б) металлическую трубу диаметром не менее 50 мм, длиной не менее 1500 мм;
- в) лист оцинкованного железа размером не менее 1000 x 1000 мм.

Любой заземлитель должен быть погружен в землю до постоянно влажных слоев грунта. на заземлителях должны быть оборудованы зажимы или другие устройства, обеспечивающие надежное контактное соединение провода заземления с заземлителем. Противоположный конец провода соединяется с клеммой заземления генератора. Сопротивление контура

заземления должно быть не менее 4 Ом, причем контур заземления должен располагаться в непосредственной близости от генератора. При установке генератора на объектах, не имеющих контура заземления, в качестве заземлителей могут использоваться находящиеся в земле металлические трубы системы водоснабжения, канализации или металлические каркасы зданий, имеющие соединение с землей. Категорически запрещается использовать в качестве заземлителей трубопроводы горючих и взрывчатых газов и жидкостей.

Перед запуском ветрогенератора необходимо помнить, что суммарная мощность подключаемых потребителей не должна превышать номинальную мощность подключаемого инвертора.

Использование с перегрузкой может привести к выходу инвертора из строя. При подключении к инвертору ветрогенератора различных типов нагрузки, необходимо выполнять следующее правило: сначала подключается индуктивная нагрузка с самым большим пусковым током, далее с меньшим, последним – подключается потребитель с самым маленьким значением активной нагрузки. невыполнение этих требований может привести к выходу инвертора из строя и отказу сервиса в гарантийном ремонте.

Нагрузки (электрические устройства, подключаемые к ветрогенератору) подразделяются на омические (активные) и индуктивные (реактивные). к активным относятся все нагрузки, у которых потребляемая энергия преобразуется в тепло (лампы накаливания, утюги). К реактивным нагрузкам относятся все потребители, которые имеют электродвигатель. При запуске электродвигателя кратковременно возникают пусковые токи, величина которых зависит от конструкции двигателя и назначения электроинструмента. Величину возникающих пусковых токов необходимо учитывать при выборе генератора. Большинство электрических инструментов имеют коэффициент пускового тока 2-3. Это значит, что при включении таких потребителей требуется инвертор, мощность которого в 2-3 раза выше мощности подключаемой нагрузки. самый большой коэффициент

пускового тока 5-7 у потребителей, которые не имеют фазы холостого хода (компрессоры, погружные насосы).

Где бы вы ни размещали свою систему, чем ближе вы к поверхности земли, тем меньше скорость ветра. Это результат действия силы трения у земной поверхности и существования препятствий на поверхности земли. Из-за этих препятствий возникают турбулентности, которые снижают эффективность любой ветротурбины. Поэтому размещать турбину следует на площадке, где для ветров существует как можно меньше помех. То есть, лучше всего расположить ветроустановку на возвышенности.

Энергия ветра – это кубическая функция скорости ветра. Это означает, что незначительные изменения скорости ветра вызывают существенные изменения выходной мощности. При удвоении скорости ветра выходная мощность возрастает в несколько раз. Даже незначительное изменение имеет существенные последствия.

Также, следует учитывать характеристики почвы места установки ветрогенератора.

Рыхлый песчаный грунт, неоднородные почвы и почвы, легко изменяющиеся в зависимости от погодных условий, не подходят для установки ветрогенератора, если не принять меры по укреплению фундамента, например сваями.

При выборе места установки необходимо учитывать расстояние между ветрогенератором и дополнительным электрооборудованием. Чем короче это расстояние, тем меньшей длины потребуется кабель. В итоге будет меньше потерь энергии при передаче. Если же это расстояние будет достаточно большим, то лучше использовать для передачи кабель с большим поперечным сечением.

Установку ветрогенератора должны производить специально подготовленный персонал, соблюдая все необходимые требования безопасности при проведении работ. Работы по установке должны

проводиться в сухую погоду, скорость ветра не должна превышать 2 м/с, все работы должны быть прекращены при скорости ветра более 2 м/с.

Установка лопастей должна производиться при скорости ветра не более 2 метров в секунду, все работы необходимо остановить при скорости ветра более 2 метров в секунду.

Установка лопастей производится на ротор, который установлен на гондоле. Предварительно гондолу необходимо поднять краном на высоту, обеспечивающую удобное положение ротора для монтажа лопастей.

Для подъема лопастей использовать подъемную технику, закрепление на роторе осуществлять при поднятой гондоле. Установка лопастей производится по маркировке указанной в паспорте на ветрогенератор.

Необходимо строго соблюдать технику безопасности при монтаже лопастей на ротор ветрогенератора.

Законцовки лопастей должны быть закреплены тросом на «удавку», чтобы предотвратить вращение лопастей от ветра. Трос оттягивается в одной позиции, допускается производить баланс для крепления на ротор при помощи рабочих - монтажников, после установки лопасти на ротор и закрепления на нем.

Подъем гондолы с лопастями осуществлять аккуратно, при этом оттяжки от лопастей снимать допускается после полного монтажа гондолы к верхнему фланцу мачты.

Электрическая часть ВЭУ состоит из блоков и элементов находящихся в гондоле, в щите управления и в непосредственной близости от щита управления, а также соединительных контрольных и силовых кабелей.

Ниже поворотного устройства расположен кольцевой токоприемник в кожухе. Кольцевой токосъемник необходим для предотвращения закручивания трех кабелей выходящих из гондолы, при ее поворотах по направлению ветра. Силовой четырехпроводный кабель- кабель генератора, тонкий двухпроводный кабель-актуатор и двухжильный экранированный кабель датчик оборотов. Все жилы и экран этих кабелей должны быть

расключены к девяти клеммам токосъемника. От гондолы к внутренним клеммам токосъемника и от внешних девяти клемм на снижение по мачте.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В энергетике России появляется стабильный спрос на развитие ветроэнергетических установок. Повышение качества и объема вырабатываемой электроэнергии являются основными направлениями развития. В данной работе было рассмотрено создание ветроэнергетической установки современного уровня для установки в с. Подстепки Самарской области. Для управления данной ветротурбиной была разработана система управления построенная на классических методах управления – ПИ- и ПИД-законах. Такие системы управления находят широкое применение в ветроэнергетике, они безопасны, эффективны. Подобная конструкция ветротурбины способна вырабатывать большее количество энергии в расширенном диапазоне скоростей. Такие конструкции ВЭУ целесообразно использовать в регионах России, в которых имеется сильная переменчивость погодных условий и силы ветра. Используемая система управления обеспечивает устойчивую работу на номинальной мощности даже при резких повышениях или понижениях скоростей ветра. Это хорошо сказывается на качестве вырабатываемой энергии, которая может быть далее использована локальными (местными) потребителями или отдана в общую энергосеть.

Настоящая магистрантская диссертация посвящена разработке ветропарка в районе с. Подстепки Самарской области номинальной мощности 4 МВт..

Актуальность работы обусловлена необходимостью развития альтернативной энергетики в России.

При работе над магистерской диссертацией были решены следующие задачи:

- выполнен сравнительный анализ ветрогенераторов, электрических схем станций по генерации энергии с использованием ветроустановок;
- проведены исследование ветрообстановки на территории Самарской области и выбор места расположения ветропарка;

- произведен выбор основного электротехнического оборудования ветропарка.

Основным результатом работы является разработка конструкции ветропарка на территории Самарской области. В качестве основного энергетического агрегата выбран ветрогенератор EDS W2000 от фирмы Enercon (Германия).

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ветряные электростанции России [Электронный ресурс] : Информационный портал «Smart-Lab». URL: <https://smart-lab.ru/blog/399700.php> (дата обращения: 31.01.2019).
2. О внесении изменений в постановление Совета Министров - Правительства Российской Федерации от 23 октября 1993 г. № 1090: постановление Правительства Российской Федерации от 12 июня 2017 года № 832 // Собрание законодательства РФ. – 2017. – № 30. – ст. 4666.
3. Трофимова Т.И. Курс физики: учеб. пособие для вузов .11-е изд., стер. М.: Издательский центр «Академия», 2016. 560 с.
4. Сидорович В. Мировая энергетическая революция: Как возобновляемые источники энергии изменят наш мир. М.: Альпина Паблишер, 2015. 208 с.
5. Степанов И. Энергия будущего: черный, голубой, зеленый? / И. Степанов // Эксперт Сибирь. – 2017. – № 29 (497).
6. Азимов Т. А., Безнощук Л. Ю. Актуальность развития в Российской Федерации биоэнергетической отрасли // Молодой ученый. 2017. № 9. С. 42–49
7. Бороздин А. Н. Экономические и технические аспекты строительства ветровых установок в Российской Федерации // Вестник Университета. 2016. № 10. С. 53–55.
8. Азимов Т. А., Безнощук Л. Ю. Ветроэнергетика в России: анализ актуальности и перспективы развития // Молодой ученый. — 2017. — №10. — С. 182-184. URL: <https://moluch.ru/archive/144/40345/> (дата обращения: 24.02.2019).
9. Вопросы развития альтернативной энергетики в России / Вестник Томского государственного университета. Экономика. 2016. № 4(36). С. 38–45. Кушнир В. Г.

10. Лагода Ф. И., Суков С. В., Бубенчикова Т. В. Методика (математическая модель) расчета энергетических характеристик ротора Савониуса // Молодой ученый. 2016. №22.3. С. 34-40. URL <https://moluch.ru/archive/126/35126/> (дата обращения 08.02.2019).

11. Германович В.Т. Альтернативные источники энергии. Практические конструкции по использованию энергии ветра, солнца, воды, земли, биомассы / В.Т. Германович, А.В. Турилин. СПб.: Наука и техника, 2014. 318 с.

12. Мархоцкий Я. Л. Основы экологии и энергосбережения: учеб. Пособие. Минск. : Вышэйшая школа, 2014. 287 с.

13. СНиП 2.09.04-87 «Административные и бытовые здания». Издание официальное [Электронный ресурс]: URL: [http://mfarm.ru/sites/default/files/node\\_files/snip\\_2.09.04-87\\_administrativnyye\\_i\\_bytovyye\\_zdaniya.pdf](http://mfarm.ru/sites/default/files/node_files/snip_2.09.04-87_administrativnyye_i_bytovyye_zdaniya.pdf) (дата обращения 31.04.2019 г).

14. Податнова О.В., Нагиев А.Р., Симонов А.М., Паршин В.А. Управление осветительной нагрузкой по протоколу DALI. Теория и практика приоритетных научных исследований. Сборник научных трудов по материалам IV Международной научно-практической конференции (30 ноября 2018 года, г. Смоленск) / МНИЦ «Наукосфера». Смоленск, 2018. 142 с.

15. Милованова К. А. Интеграция ветровой генерации в работу энергосистемы/ Автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук. М.: Типография МЭИ. 2015. 20 с.

16. СТО 56947007-29.240.124-2012 Сборник «Укрупнённые стоимостные показатели линий электропередачи и подстанций напряжением 35-1150 кВ» 324 тм - т1 для электросетевых объектов ПАО «ФСК ЕЭС». – Введ. 09.07.2012. Москва : ПАО «ФСК ЕЭС», 2016 – 33 с.

17. Податнова О.В., Губайдуллин Р.А., Колокольчикова Г.С., Мазитова А.М. Перспективы использования пьезоэлектрических датчиков для определения частичных разрядов в масляных трансформаторах.

Современные тенденции в науке, технике, образовании. Сборник научных трудов по материалам III Международной научно-практической конференции (31 марта 2018 года, г. Смоленск). В двух частях. Часть 2 / Международный научно-информационный центр «Наукосфера». Смоленск, 2018. 230 с.

18. Податнова О.В., Губайдуллин Р.А., Колокольчикова Г.С., Мазитова А.М. Акустический и оптический методы обнаружения частичных разрядов в масляных трансформаторах. Новые направления и концепции в современной науке. Сборник научных трудов по материалам III Международной научно-практической конференции (25 марта 2019 года, г. Смоленск) / МНИЦ «Наукосфера». Смоленск, 2019. 89 с.

19. Зубова Н. В. Основные принципы управления ветроэнергетической установкой // Научный вестник НГТУ. Новосибирск: Изд-во НГТУ, №3(48), 2012 г. С.153–161.

20. Об утверждении укрупненных нормативов цены типовых технологических решений капитального строительства объектов электроэнергетики в части объектов электросетевого хозяйства [Электронный ресурс]: АО «Кодекс». Москва, 2017. URL: <http://docs.cntd.ru/document/420339234> (дата обращения: 20.04.2019).

21. Господдержка проектов по использованию ВИЭ [Электронный ресурс] : Ассоциация «НП Совет рынка». Москва, 2017. Режим доступа : [http://www.np-sr.ru/presscenter/smipubl/SR\\_0V031364](http://www.np-sr.ru/presscenter/smipubl/SR_0V031364) (дата обращения: 20.04.2019).

22. Удалов С.Н. Возобновляемые источники энергии: Учебник. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2015. 432 с.

23. Штерцер В.А. Системы генерации электроэнергии для ветроэнергетических установок/ Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология», Научно-технический центр «ТАТА», 2015. № 5 (85). С.122–127

24. Зубова Н. В. Регулирование воздушного потока, окружающего лопасть ветроколеса, при изменении профиля лопасти / Энергетика в глобальном мире: сборник тезисов докладов первого международного научно-технического конгресса. Красноярск: ООО "Версо", 16–18 июня 2016 г. С. 331–332.

25. Rui Melicio. Doubly fed induction generator systems for variable speed wind turbine systems [Электронный ресурс]: URL: <http://www.aedie.org/9CHLIE-paper-send/296-MELICIO.pdf> . (дата обращения: 20.04.2019)

26. Munteanu I. Optimal control of wind energy systems: Advances in Industrial Control/ I. Munteanu, A. I. Bratcu, N-A. Cutululis, E. Ceanga// series ISSN 1430-9491– Springer-Verlag London Limited, 2018. p.284.

27. Hansen M.H. Control design for a pitch-regulated, variable speed wind turbine: Technical Report RISO–R–1500/ M.H.Hansen [et al.]// RISO National Laboratory. – Denmark, Roskilde, 2015. p.156.

28. Sorensen P. Wind farm models and control strategies/ P. Sorensen, A.D.Hansen, F. Iov, F. Blaabjerg, M.H. Donovan // Technical Report RISO– R–1464(EN), RISO National Laboratory, Roskilde, Denmark, 2015.

29. M. Maureen Hand Mitigation of Wind Turbine/Vortex Interaction Using Disturbance Accommodating Control: Technical report. – National Renewable Energy Laboratory, NREL/TP– 500– 35172, 2015. p.1 106.

30. Anca D. Hansen et al. Overall control strategy of variable speed doubly-fed induction generator wind turbine: Nordic wind power conference – Chalmers university of technology, march 1, 2014. P.1–7.