

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

Институт энергетики и электротехники
(институт)

Кафедра «Промышленная электроника»

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Промышленная электроника
направленность (профиль)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему ВЕТРОГЕНЕРАТОР И ЕГО СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ

Студент(ка)	<u>Д.О. Павлов</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Руководитель	<u>А.К. Кудинов</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Консультант	<u>О.А. Парфёнова</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой к.т.н., доцент А.А. Шевцов
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия) _____ (личная подпись)

« _____ » _____ 20 _____ г.

Тольятти 2019

Abstract

The title of the graduation work is Wind Turbine and Control System.

The object of the research is the wind power unit of electricity production.

The aim of the work is to research the wind power station on the basis of the solutions which are available in the market, capable to provide a country house during the whole year with the electric power.

The tasks of the work consist of the development of an optimal skeleton diagram of the wind generator and study of each block of the scheme, the reasonable choice of its use in climatic and an environment of the Samara Region. There are made some brief calculation of parameters of the generator, controller, inverter and capacity of rechargeable batteries proceeding from which the necessary devices are selected. The cost and the efficiency of use and installation are estimated.

The work consists of three chapters in which the following objectives are solved: question status, calculation of parameters of the wind generator with system control, calculation of installation cost.

In the course of work the installation that can be used as the power source of a country house all the year round was calculated.

In conclusion, it can be said that the problem of renewable or alternative energy sources search becomes more and more relevant every year. In the work the wind power unit which can transform energy of an air flow to electricity was studied.

Аннотация

ВЕТРОГЕНЕРАТОР И ЕГО СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ

Объектом исследования является автономная ветроэнергетическая установка.

Цель работы — снижение неблагоприятного влияния на природу и затрат на электроэнергию, которое достигается путём внедрения ветроэнергетической установки.

Задачи работы заключались в разработке оптимальной структурной схемы ветрогенератора и проработке каждого блока этой схемы, обоснованном выборе её использования в климатических и природных условиях Самарской Области. Произвели кратко расчёт параметров генератора, контроллера, инвертора и ёмкость аккумуляторных батарей, исходя из которых выбрали нужные устройства. Кратко оценили экономическую эффективность использования установки.

Работа состоит из трёх глав в которых решаются поставленные задачи:

1. Состояние вопроса
2. Расчёт параметров ветрогенератора с системой управления
3. Расчёт стоимости установки

В процессе работы была рассчитана установка, которая может использоваться в качестве источника питания загородного дома круглогодично и не зависит от общей сети.

Степень внедрения — установка по разработанной методике является проектным образцом.

Областью применения данного комплекса является обеспечение электроэнергией коттеджных домов, дачных участков, небольших фермерских угодий.

В заключении можно сказать, что проблема возобновляемых или альтернативных источников энергии с каждым годом становится всё более актуальной. В бакалаврской работе была рассмотрена автономная

ветроэнергетическая установка, которая способствует снижению негативного влияния на окружающую среду и затрат на электроэнергию.

Содержание

Введение.....	6
1. Состояние вопроса.....	7
1.1. Рациональность использования энергии ветра.....	7
1.2. Обзор конструкций ветрогенераторов.....	9
1.3. Обзор контроллеров заряда АКБ.....	15
1.4. Обзор конструкций аккумуляторных батарей.....	21
1.5. Обзор конструкций инверторов.....	27
2. Расчёт параметров ветроэнергетической установки.....	31
2.1 Выбор схемы обеспечения объекта электроэнергией.....	31
2.2 Расчёт параметров инвертора.....	32
2.3 Расчёт ёмкости аккумуляторной батареи.....	34
2.4 Расчёт параметров контроллера.....	35
2.5 Расчёт параметров генератора.....	36
3. Расчёт стоимости ветроэнергетической установки.....	38
Заключение.....	42
Список используемой литературы.....	43

Введение

Сегодня сложно вообразить жизнь людей без источников энергии. Потребление энергии является основным показателем для комфортного существования каждого человека на нашей планете. Долгое время ископаемое сырьё, такое как нефть, уголь, газ, дрова использовали в качестве источников энергии, которые принято называть традиционными. Однако запасы таких ресурсов конечны и с каждым годом становится всё более актуальным вопрос поиска альтернативных(возобновляемых) источников энергии. Сжигание таких видов топлива ведёт к выбросу вредных веществ в атмосферу, что довольно сильно сказывается на здоровье человека, ухудшая его состояние и приводя к серьёзным экологическим проблемам. Использование урана и плутония в качестве топлива на атомных электростанциях частично решило проблему, однако аварии на таких предприятиях ведут к серьёзным экологическим последствиям. Поэтому рациональное применение возобновляемых и экологически безопасных энергетических ресурсов таких как энергия солнца, воды, ветра, термального тепла, просто необходимо.

Ветроэнергетика является весьма перспективным направлением в развитии энергетики в целом. Ветроэнергетические установки позволяют преобразовывать энергию ветра в электрическую. Однако стоит выбрать как именно подобрать нужные устройства под потребности потребителя, так как производитель не всегда предлагает оптимальное решение. Целью бакалаврской работы является снижение затрат на электроэнергию и негативного влияния на природу, которое достигается путём внедрения энергетической установки.

1 Состояние вопроса

1.1 Рациональность использования энергии ветра

Ветер – это движение воздушных масс, обусловленных разностью атмосферного давления. Это происходит из-за того, что происходит неравномерный нагрев постоянным циркуляционным потоком земной поверхности. В свою очередь ветер является достаточно хорошим энергетическим источником естественного происхождения.

Важнейшим параметром, характеризующим ветер, является его скорость. Под действием ряда метеорологических факторов, таких как возмущение слоёв атмосферы, наличие или отсутствие солнечной активности, изменение температуры и давления и др., а также ввиду наличия рельефа местности, влияет на скорость и направление ветра, которые изменяются по случайному закону. Самарская область благодаря своему географическому положению, находится под влиянием циклонов, которые в большинстве проходят над южной частью региона, поэтому ветер имеет южное и юго-западное направление, а по мере смещения меняет направление на северо-западное и северное соответственно.

Ветер довольно сложный геофизический процесс, который прогнозируется только с определённой вероятностью. Поэтому обычно используют усреднённый показатель, который рассчитан на основе 10 – летних наблюдений. Данный показатель – это скорость ветра которая определяет целесообразность использования ветрогенераторов и других установок на использующих энергию ветра. Эту скорость можно считать оптимальной и применяемой начиная с 3м/с. Далее в таблице 1 приведём усреднённые данные скорости ветра и его направления на примере города Самара.

Таблица 1.1– Таблица скоростей и направления ветра в г. Самара

Месяц года	Скорость ветра, м/с	Направление ветра, °
Январь	4,63	203
Февраль	4,91	194
Март	4,68	189
Апрель	4,30	193
Май	4,26	199
Июнь	3,83	200
Июль	3,45	209
Август	3,54	221
Сентябрь	3,80	224
Октябрь	4,30	229
Ноябрь	4,32	226
Декабрь	4,68	222

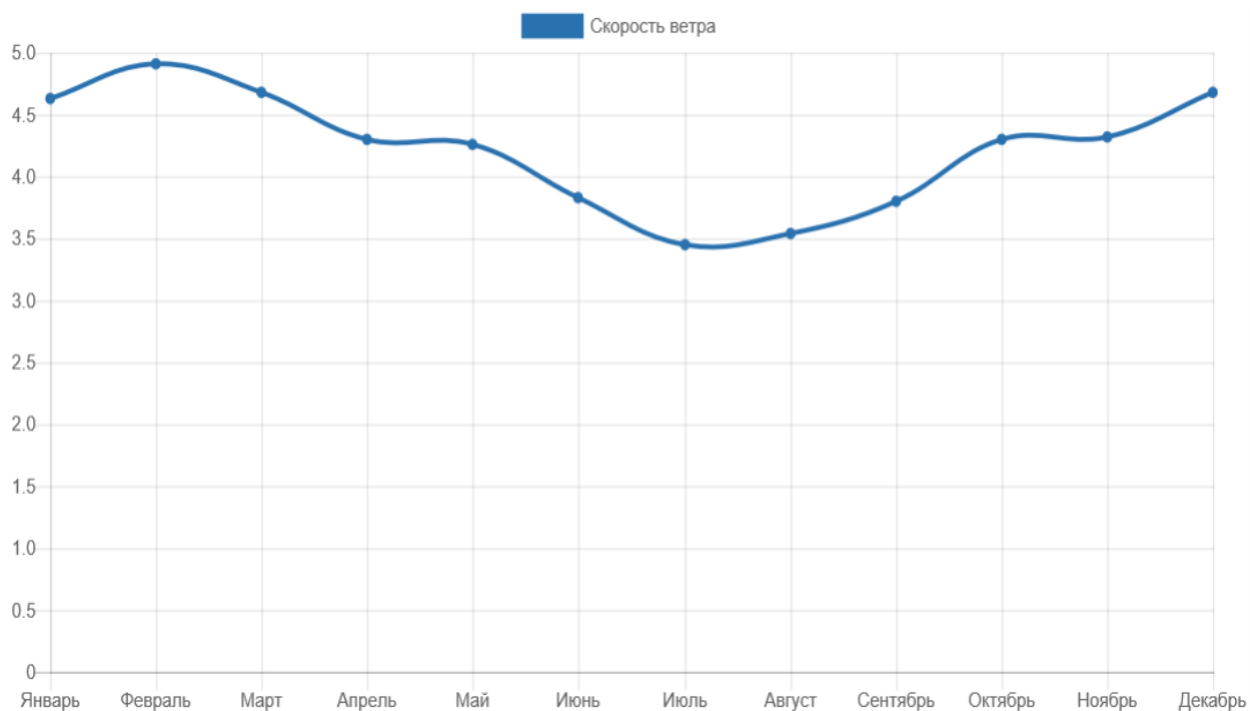


Рисунок 1.1- график зависимости скорости времени от времени года в г. Самара

Из графика хорошо видно, что скорость ветра превышает 3 м/с из чего можно сделать вывод, что имеются все условия для размещения на нашей территории ветроэнергетических установок.

1.2 Обзор конструкций ветрогенераторов

Ветрогенератор служит для преобразования энергии воздушного потока в электрическую. В современной энергетике в основном используются конструкции двух основных типов:

1. Горизонтально-осевые с горизонтальной осью вращения
2. Вертикально-осевые с вертикальной осью вращения

В конструкции первого типа ветровое колесо имеет форму крыла и вращается в вертикальной плоскости, перпендикулярной направлению потока. Такие ветроэнергетические установки используют одно, двух, трёх или многолопастные ветроколеса, причём последняя имеет повышенный коэффициент полезного действия (КПД), уменьшенную вибрацию и работает с ветром низкой скорости ($< 3 \text{ м/с}$). Но в основном используют трёхлопастные ветроколеса, которые обеспечивают хорошую плавность хода. На рисунке 1.3 приведена конструктивная схема горизонтально-осевой ветроэнергетической установки.

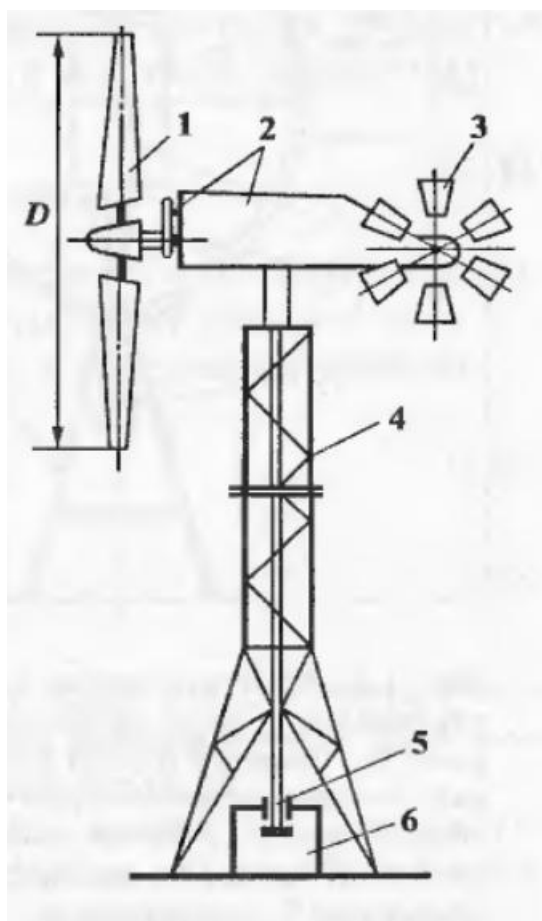


Рисунок 1.2.1 – конструктивная схема ВЭУ с горизонтальной осью вращения: 1 – рабочая лопасть; 2 – трансмиссия; 3 – виндроза; 4 – вышка (мачта); 5 – вал мощности; 6 – генератор

Под воздействием ветра на лопасти они начинают вращаться, способствуя запуску ротора. Вращающий момент с ротора передаётся на трансмиссию. Мультипликатор повышает частоту вращения вала мощности и тем самым обеспечивает согласование оборотов двигателя с ветроколесом. После этого происходит запуск генератора, который начинает вырабатывать электроэнергию. Виндроза нужна для того, чтобы головка с ветроколесом плавно и равномерно следовала за ветром, что очень важно для быстро вращающихся ветровых колёс. Однако такая конструктивная схема устарела и вся электромеханическая часть располагается в гондоле установки, закреплённой на мачте.

Преимуществами использования установок первого типа можно назвать:

- Однотипность использования схем установки

- Обеспечение самостоятельного пуска без дополнительных приспособлений

- Меньше массогабаритные размеры

- Высокая эффективность использования воздушного потока

К недостаткам использования такой схемы можно отнести:

- Лопастные таких установок создают шумы, негативно влияющие как на людей, так и на животных

- Необходимость ориентации установки на ветер

- Серьёзная нагрузка на механизмы конструкции

- Нет возможности к самостоятельной раскрутке лопастей установки

В конструкции второго типа используется прочная ось вертикального вращения и несколько параллельных лопастей или тонкие изогнутые поверхности без аэродинамического профиля. В таком исполнении ветроколесо при любом направлении ветра вращается в одну и ту же сторону и не зависит от направления воздушного потока. Такие типы ветряных установок, имеют генератор с ротором «Дарье» или «Савониуса». В роторе «Дарье» вращающий момент создаётся за счёт двух или трёх лопастей изогнутого вида без особенного аэродинамического профиля, которые крепятся к нему с низу и верху устройства. Подъёмная сила максимальна в момент пересечения лопасти, у которой наибольшая скорость набегающего воздушного потока. Агрегаты с ротором «Дарье» не могут самостоятельно запускаться, поэтому необходим сильный воздушный поток или статор, который ещё называется ротором «Савониуса». На рисунке 1.3.2 изображена конструктивная схема ветроэнергетической установки с вертикальной осью вращения типа «Дарье».

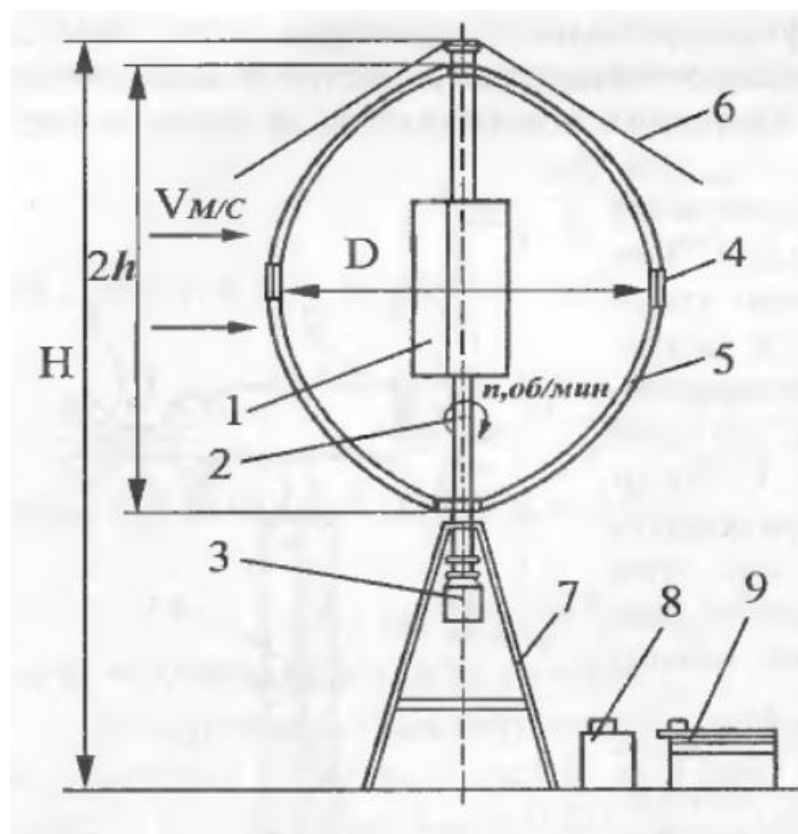


Рисунок 1.2.2 – конструктивная схема ветроэнергетической установки с вертикальной осью вращения типа «Дарье»: 1– стартер (ротор «Савониуса»); 2 – вал генератора; 3 – электрогенератор; 4 – тормозное устройство; 5 – рабочая лопасть; 6 – растяжки; 7 – опорная рама; 8 – преобразователь напряжения; 9 – аккумулятор.

Под воздействием набегающего воздушного потока запускается стартер и начинает вращаться рабочая лопасть. Вращающий момент от стартера передаётся на вал генератора и начинается выработка электроэнергии. Дальше выработанная энергия запасается в аккумуляторах для последующего использования. Тормозное устройство в данной конструкции используется для полной остановки лопастей при достижении слишком больших оборотов стартера. Опорная рама служит для надёжного крепления установки на месте. Преобразователь напряжения делает из переменного – постоянное напряжение, которое нужно для питания аккумуляторов. Растяжки предназначены для крепления верхней части установки тросами с целью более надёжной фиксации.

Ветрогенераторы с ротором типа «Савониуса» выполняются из тонких изогнутых лопастей прямоугольной формы, которые просты в изготовлении и дёшево стоят. Вращающий момент в таких установках создаётся благодаря, сопротивлению оказываемому набегающему воздушному потоку на вогнутую и выгнутую сторону лопасти ротора. На рисунке 1.3.3 изображён ротор «Савониуса».

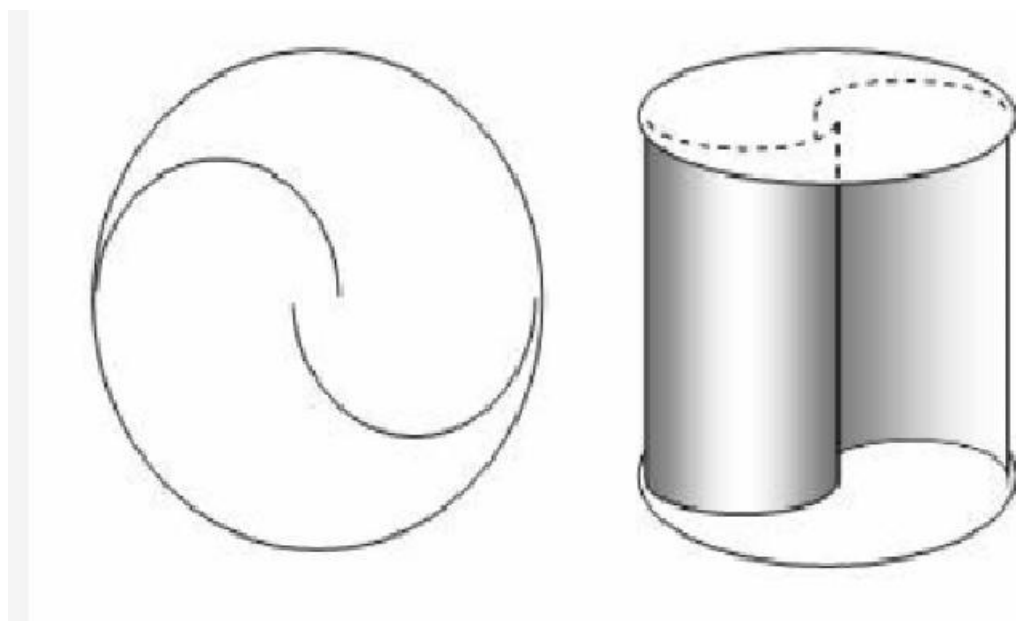


Рисунок 1.2.3- ротор «Савониуса»

Эти два типа роторов используются сегодня в большинстве ветроэнергетических установок вертикально-осевого типа. Однако существуют ещё несколько типов ротор, которые реже применяются, такие как ротор «Горлова» или геликоидные турбины в форме закрученной спирали и многолопастные роторы. Мало-применимость обуславливается дороговизной изготовления лопастей закрученного характера и довольно громкими звуками, которые идут от агрегата у турбин «Горлова», и большая стоимость материалов, как и всей установки в месте с трудностью технического обслуживания у многолопастных турбин. Например, на рисунке 1.3.3 изображена одна из таких ветроустановка, а именно с ротором «Горлова».

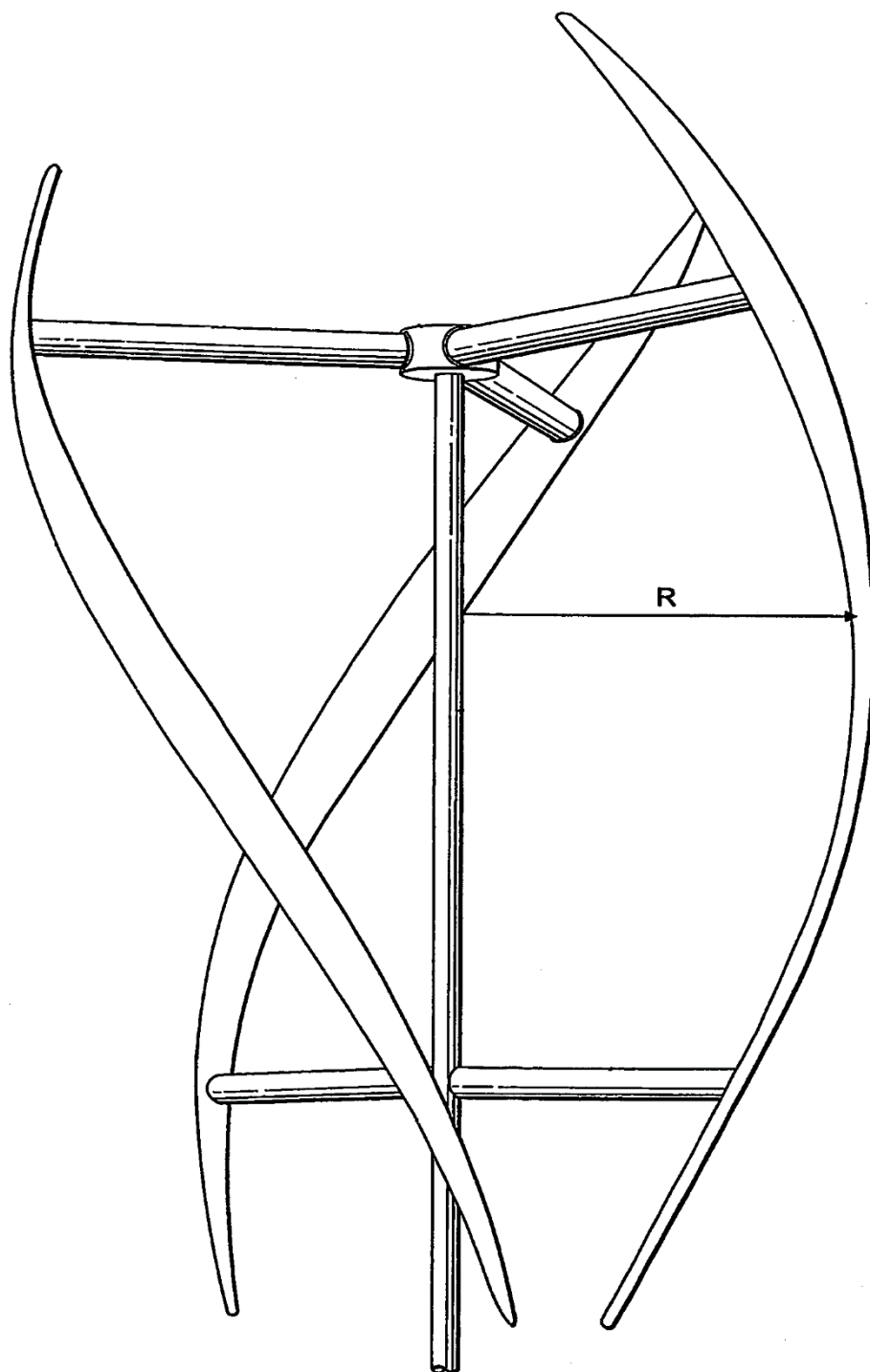


Рисунок 1.2.4-турбина с ротором «Горлова».

В мире примерно 90% ветроэнергетических установок – это горизонтально-осевые, а остальные 10% вертикально-осевого типа. Установки с вертикальной осью вращения скорее носят экзотический характер или используются в качестве опытных образцов. Объясняется это несколькими существенными недостатками, которые приведу ниже:

- 1) Более низкий КПД, чем у горизонтально-осевых (25% против 45%).

2) Скорость вращения в несколько раз ниже, а это в свою очередь требует более мощного генератора, который и будет соответствующе стоять (генератор – это более 70 % стоимости ветряка).

3) Повышенная требовательность к материалам и сложность в изготовлении, что ведёт к увеличению веса конструкции.

4) Ветрогенераторы таких типов не бывают мощнее 2 мВт, что ограничивает их применяемость.

Наиболее широкое применение получили ветрогенераторы пропеллерные ветрогенераторы горизонтально-осевого типа из-за своей эффективности и надёжности.

1.3 Обзор контроллеров заряда АКБ

Контроллер – это электронный прибор, позволяющий преобразовывать трёхфазное переменное напряжение, которое вырабатывает генератор в постоянное для последующего заряда аккумуляторных батарей. Также одной из основных функций, выполняемой данным устройством является контроль уровня заряда аккумуляторных батарей. Помимо этого, контроллер позволяет следить за скоростью вращения лопастей ветрогенератора. Если скорость ветра превышает скорость 15 м/с, а это уже штормовой порыв ветра, то устройство начинает тормозить ротор или отключает ветрогенератор полностью. Оптимальные режимы работы, обеспечивающие наилучший коэффициент полезного действия, контроллер выбирает автоматически. Он в режиме реального времени снимает данные от таких параметрах как: ток, напряжение на клеммах и степень заряда аккумуляторных батарей, мощность, скорость вращения ветрогенератора. Когда напряжение на батарее достигает верхнего уровня в 15В, что соответствует полностью заряженной батарее, то контроллер начинает ограничивать зарядный ток и замыкает обмотки генератора, приводя к

полной остановке лопасти ветрогенератора. Таким образом прибор ограничивает аккумуляторы от перезаряда. Однако, когда напряжение на клеммах упадёт до 13,5В, контроллер обратно разблокирует обмотки генератора и агрегат вновь продолжит нормально функционировать. Есть ещё вариант, когда при полностью заряженных батареях, контроллер подключает к ней термо –нагревательный элемент (или ТЭН) для нагрева воды, например, что способствует уменьшению напряжения на батарее. Когда напряжение на аккумуляторной батарее снова достигает нижнего порога, то ТЭН отключается от батареи. Такое ограничение перезаряда обеспечивает хороший срок службы батарей и помогает сэкономить средства. Контроллеры дополнительно оснащаются системой защиты от молний, коротких замыканий и обратных токов. Любой контроллер ветрогенератора состоит из следующих компонентов:

1) Выпрямитель – способствует преобразованию трёхфазного, переменного тока, идущего от генератора в постоянный. В большинстве ветрогенераторов используется трёхфазный асинхронный генератор, выполненный с соединением обмоток по типу «звезда» с нулевым проводом. Генератор преобразует механическую энергию вращения от вала в электрическую переменного трёхфазного тока. В дальнейшем выпрямленное переменное напряжение понадобится для заряда аккумуляторных батарей.

2) ШИМ или MPPT контроллер. Управляет процессом заряда аккумуляторной батареи, а при полной зарядке перенаправляет электроэнергию на ТЭН или балластный резистор.

3) Блок управления ветрогенератором. В зависимости от внешних факторов, изменяет скорость вращения лопастей ротора ветрогенератора путём уменьшения частоты его вращения. Либо управляет поворотным хвостовым механизмом для последующего его складывания перпендикулярно направлению воздушного потока и поворачивая ротор

параллельно ветру. Также применяется в качестве защитной функции подключается нагрузка в виде ТЭНа, рассеивающая энергию тепла на корпус радиатора контроллера или блока терморезисторов, если используются более мощные ветрогенераторы.

Наличие ШИМ или MPPT контроллеров заряда АКБ, подразумевает, что в качестве источника электроэнергии может использоваться как ветрогенератор, так и солнечные панели. Такие контроллеры называют гибридными. И убедимся далее в хорошей эффективности их использования при эксплуатации автономной ветроэнергетической станции.

Все современные контроллеры можно разделить на три основных типа:

1) Включить/выключить или On/Off.

Данные устройства имеют небольшую цену, просты во внутреннем устройстве и работе. Основную задачу, которую он выполняет – это отключает подачу заряда на аккумуляторную батарею при достижении верхнего порога напряжения, чтобы не вызвать её перегрева. Такие контроллеры как правило имеют один существенный недостаток – слишком раннее отключение батареи. После того как напряжение на ней достигнет верхнего уровня, то прибор сразу отключает подачу энергии в батарею. Однако следует как минимум ещё пару часов поддержать процесс заряда АКБ, чтобы она зарядилась полностью. И в итоге аккумуляторная батарея зарядится только приблизительно на 70% от максимального значения, что негативно скажется на её эксплуатации и сроке службы. Такой вариант, конечно, не может устраивать, однако цена является весьма заманчивой. Поэтому данный тип контроллеров почти не используется и применяется он в основном для солнечных модулей, которые не боятся коротких замыканий. На рисунке 1.3.1 приведём изображение такого типа устройства.



Рисунок 1.3.1 – простой контроллер заряда типа On/Off

2) ШИМ или Pulse – Width Modulation (PWM) контроллеры.

Данный тип контроллеров основан на широтно – импульсной модуляции (ШИМ) тока. Устройство, основанное на данном принципе работы, позволяет зарядить аккумуляторную батарею на 100%. Этот положительный эффект достигается следующим образом: когда уровень напряжения на клеммах батареи достигает верхнего предела, то устройство не отключает её, а начинает поддерживать постоянное напряжение на ней за счёт ШИМ тока заряда. При этом сила тока начинает постепенно уменьшаться по мере заряда АКБ. За эти действия отвечает микроконтроллер семейства ATmega AVR. Он как раз и считывает данные с показания приборов – силу тока и напряжения и исходя из этого выбирает нужный режим заряда батареи. Если же аккумуляторная батарея заряжена полностью, то микроконтроллер выбирает режим сброса лишней энергии в ТЭН, для ограничения от максимального тока заряда и от перенапряжения. В случае, если батареи заряжены на 100% и сброс лишней энергии в ТЭН не имеет смысла, то контроллер или даёт команду на остановку вращения лопастей ветрогенератора, или разворачивает его параллельно воздушному потоку. Такие контроллеры довольно надёжны,

имеют небольшие массогабаритные размеры и обладают хорошим быстродействием. В функцию такого прибора может входить в отсутствие ветра давать лёгкий старт ветрогенератору, приводя сам генератор в свободное вращение и тем самым способствуя выработке электроэнергии при малых скоростях ветра. Недостатком таких устройств является сравнительно небольшой коэффициент полезного действия и часть энергии будет теряться при зарядке аккумулятора. На рисунке 1.3.2 приведём пример такого устройства.



Рисунок 1.3.2 – контроллер заряда АКБ

3) Maximum Power Point Tracking (MPPT) контроллеры.

Данное устройство позволяет в режиме реального времени отслеживать точку максимальной мощности, которая обычно характеризуется напряжением и силой тока в данный моменты времени. Это в свою очередь позволяет повысить производительность выработки электроэнергии на 25-30%. Процесс зарядки аккумуляторных батарей в таких контроллерах примерно идентичен по сравнению с ШИМ контроллерами. Различие заключается в том, что в самом приборе используется сложная вычислительная система, которая в каждый момент времени сравнивает напряжение, ток, зарядную мощность, скорость вращения ветрогенератора и т.д. Исходя из этих данных контроллер может ограничить напряжение или ток

с помощью изменения величины зарядного тока ветрогенератора. Это в свою очередь положительно сказывается на сроке службы аккумуляторной батареи, продлевая его. Так же данная технология позволяет избежать потерь энергии за счёт более грамотного её перераспределения между корпусом радиатора и нагрузкой. Нагрузка может использоваться та-же (ТЭН) или другие нагревательные приборы. У таких контроллеров КПД выше (95-97%), чем у аналогов PWM типа. Такие устройства обычно гибридные и их используют в сочетании ветрогенератора с солнечными модулями. Главным недостатком таких устройств является очень высокая цена из-за того, что силовые компоненты являются качественными. Устройство имеет дополнительные функции, защищающие его от различных неблагоприятных факторов, что необходимо для оптимального функционирования любого ветрогенератора, так как контроллер – один из ключевых агрегатов в ветроэнергетической установке. На рисунке 1.3.3 приведём картинку такого гибридного котроллера.



Рисунок 1.3.3- гибридный котроллер заряда АКБ

В мире существует большое множество различных контроллеров заряда аккумуляторных батарей, сделанные для определённых функций и потребностей, но все до единого выполняют две основные задачи – это преобразование переменного напряжения в постоянное и контролируют уровень заряда АКБ.

1.4 Обзор конструкций аккумуляторных батарей

Очень важным компонентом любой автономной ветроэнергетической установки являются аккумуляторные батареи. Они позволяют в отсутствие ветра обеспечивать электроэнергией дом и оптимальную работу всей ветроэлектростанции. Такие батареи должны быть большой ёмкости и способны выдерживать большое количество циклов глубокого разряда. От того какой тип аккумулятора использовать зависит надёжность и эффективность работы всей системы. Сегодня можно выделить четыре вида аккумуляторных батарей, используемые в ветроэнергетических системах:

1) Автомобильные стартерные аккумуляторные батареи.

Данный тип аккумуляторов характеризуется простотой конструкции, технологией изготовления (штамповкой решётчатые листы свинца накладываются друг относительно друга) и своей недолговечностью. Такие аккумуляторы обычно бывают обслуживаемыми (нужна проверка уровня электролита и доливка дистиллированной воды) и не обслуживаемыми или герметичными (в случае перезаряда вода в них выпаривается через специальные клапаны и долить её уже не выйдет, придётся выбросить). Обслуживаемые аккумуляторы обычно выдерживают порядка 100 циклов разряда на 80%. Количество циклов зависит от качества АКБ, а именно расходе свинца на одну пластину. Герметизированные аккумуляторы рассчитаны на 200 циклов разряда и после этого подлежат утилизации. Важно, что в таких батареях нельзя превышать зарядных токов и повышенных напряжений, так как при этом вода выпарится, долить не выйдет и не рассчитаны на глубокий разряд (в особенности для АКБ на основе кальциевых

сплавов, например кальциево-свинцовые). Однако такие батареи редко используются в автономных ветроэнергетических системах из-за низкого количества циклов разряда, малого КПД и негативного воздействия на глубокий разряд. На рисунке 1.4.1 приведём конструктивную схему такого типа аккумуляторов.

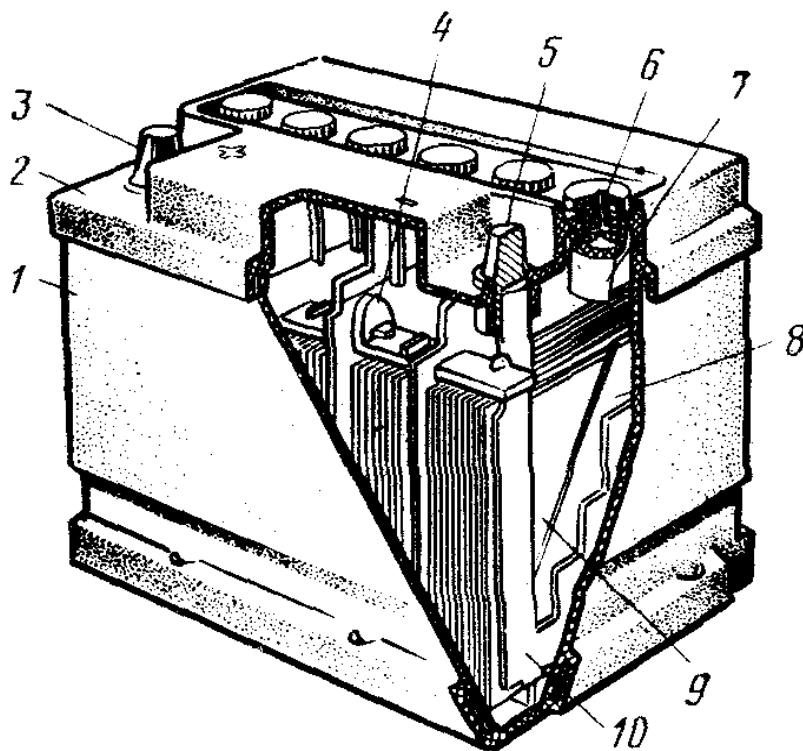


Рисунок 1.4.1 – конструктивная схема свинцово-кислотной аккумуляторной батареи: 1 – корпус батареи; 2 – крышка аккумуляторной батареи; 3 – положительно выводная клемма; 4 – баретка; 5 – отрицательная выводная клемма; 6 – пробка наливной горловины; 7 – индикатор для проверки уровня электролита; 8 – сепаратор; 9 – положительная пластина; 10 – отрицательная пластина.

2) Absorbent Glass Mat (AGM) аккумуляторные батареи.

Данные аккумуляторы являются разновидностью герметизированных кислотно-свинцовых батарей, в которых в качестве впитывающего материала используется пористый стекловолоконный материал или абсорбирующие стекло-маты (пластины) по-другому.

Пористый материал не даёт электролиту растекаться и служит диэлектрическим разграничителем. Такие аккумуляторы выдерживают обычно 250-400 (самые современные больше 600) циклов разрядов на 80%, что больше, чем у обычных автомобильных и не требуют специального технического обслуживания. В буферном режиме с глубиной разряда не менее 20% могут служить 10-15 лет, что очень хорошо. Главным плюсом таких аккумуляторов можно назвать работу в режиме глубокого разряда (могут отдавать электроэнергию длительное время, когда заряд упадёт до низкого значения). После полной зарядки его рабочая ёмкость восстанавливается. Полностью заряженная батарея, если не подключена может за год потерять около 20% от своего начального значения, что весьма неплохо. Однако такие устройства плохо переносят перезаряд и высокие токи заряда. К плюсам таких аккумуляторов можно отнести: устойчивость к вибрациям и низким температурам. Применяются такие виды аккумуляторов в ветроэнергетических установках не часто из-за небольшого числа циклов разрядки, высокой цены и не очень хорошей работы в циклическом режиме. На рисунке 1.4.2 приведём конструктивную схему AGM аккумулятора.

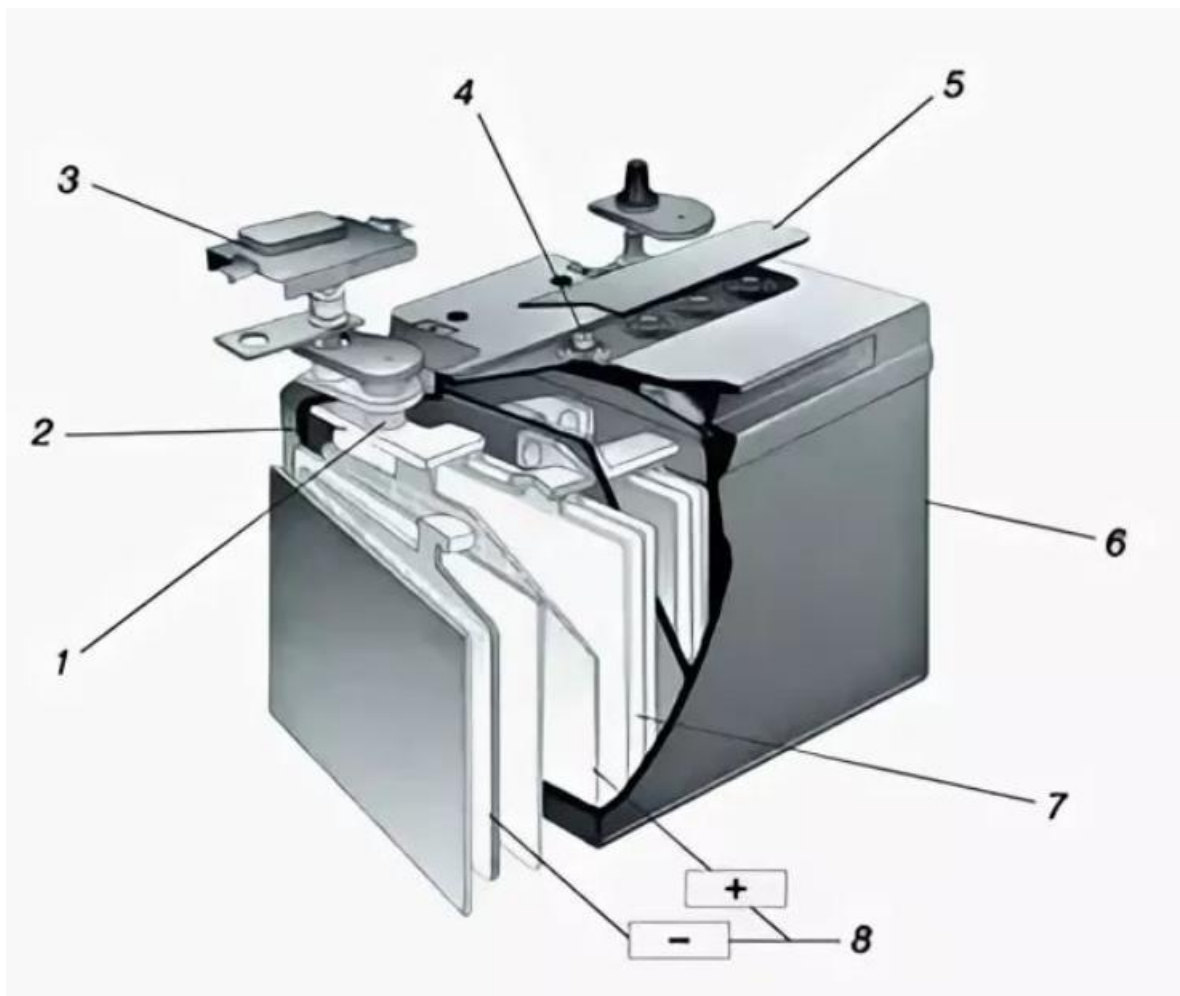


Рисунок 1.4.2 – конструктивная схема AGM аккумуляторной батареи: 1 – уплотнительное кольцо вывода; 2 – положительный вывод; 3 – изолирующая крышка; 4 – клапан избыточного давления; 5 – крышка клапанов; 6 – корпус; 7 – стекловолоконный сепаратор; 8 – положительные и отрицательные пластины.

3) Gel Electrolite (GEL) аккумуляторные батареи.

В таких типах аккумуляторов расстояние между электродами заполнено смесью специального загустителя силикогеля в составе жидкого электролита. В пластиковом корпусе размещаются пластины электроды изготовленные из свинца или другого сплава и погружены в электролит, а стекловолоконные сепараторы, расположенные между ними, не позволяют электролиту растекаться. Гелиевые аккумуляторы очень хорошо восстанавливаются из состояния глубоко заряда, в отличие от предыдущей технологии. Они способны перенести до 1000 циклов разряда на 80%, без утраты своей

ёмкости. Корпус у таких батарей герметичный, а сами они хорошо переносят механические деформации в виду своего внутреннего устройства. У таких аккумуляторов срок службы больше на 10-30% и лучше переносят глубокий разряд, чем AGM аккумуляторы. Гелиевые аккумуляторы лучше переносят отрицательные температуры и существенно меньше теряют ёмкости при её понижении. Однако главным плюсом таких типов аккумуляторов является то, что такие батареи рассчитаны на циклические режимы заряда-разряда. А это очень хорошо в системах, где происходят частые отключения от электрической сети, как например в ветроэнергетических установках в виду нестабильности ветра. Эти аккумуляторы находят частое применение в системах автономного электроснабжения. Недостатком таких батарей является строгое соблюдение режимов заряда, высокая цена, чувствительность к изменениям напряжения и такие аккумуляторы необслуживаемые, то есть самостоятельно при поломке с ними ничего не сделаешь. Н рисунке 1.4.3 приведём конструктивную схему такого типа аккумуляторов.

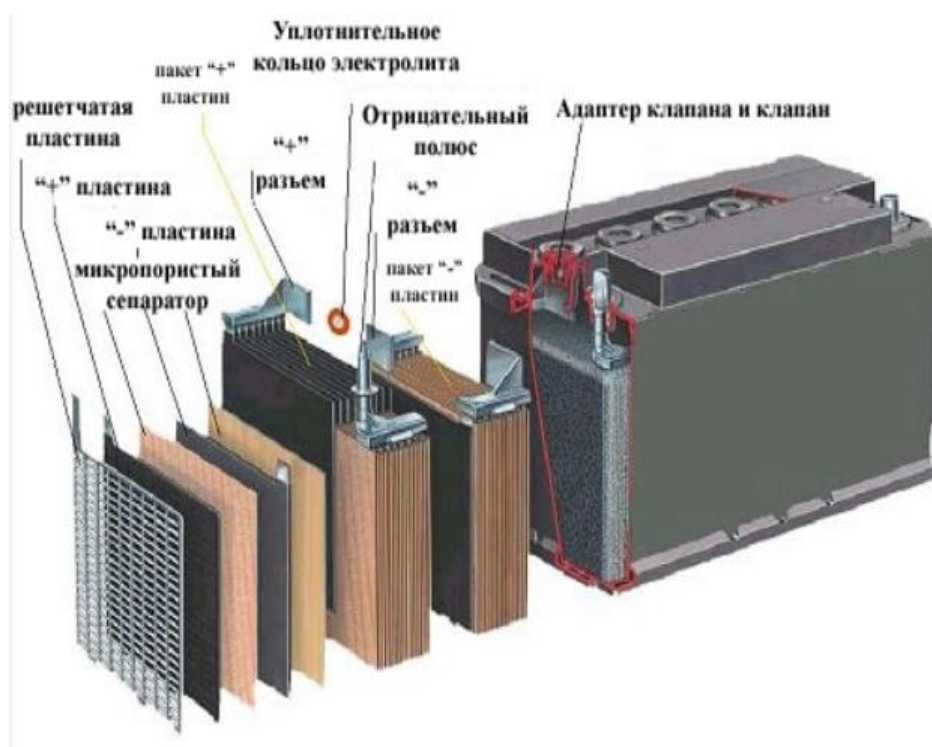


Рисунок 1.4.3 – конструктивное устройство гелиевой аккумуляторной батареи.

4) Панцирные аккумуляторные батареи

Данные аккумуляторы являются разработкой нового поколения. Эти высококачественные, кислотные, аккумуляторы, основанные на решётчатой структуре с трубчатыми электродами, изготавливаются по технологии, основанной на том, что каждый компонент заключён в полимерный кислотопроницаемый стержень, который изготавливается из сплава химически чистого свинца 99,9% и 2-6% сурьмы. Такие аккумуляторы выполняются в герметичном корпусе с большим циклом работы. Количество циклов разрядки таких аккумуляторов на основе панцирных пластин достигает 1500 разрядов на 80%. Такая технология применяется в аккумуляторах тягового типа, которые широко применяются в ветроэнергетических установках. Такие аккумуляторы имеют надёжную конструкцию, хорошую устойчивость к погодным условиям, рассчитаны на большое количество циклов заряда-разряда и соответствуют самым современным требованиям. Запаса мощности в виду конструкции в таких батареях хватает для работы в тяжёлых условиях. Однако недостатком использования таких батарей является очень высокая цена, большой вес. На рисунке 1.4.4 приведём конструктивную схему такого типа аккумулятора.

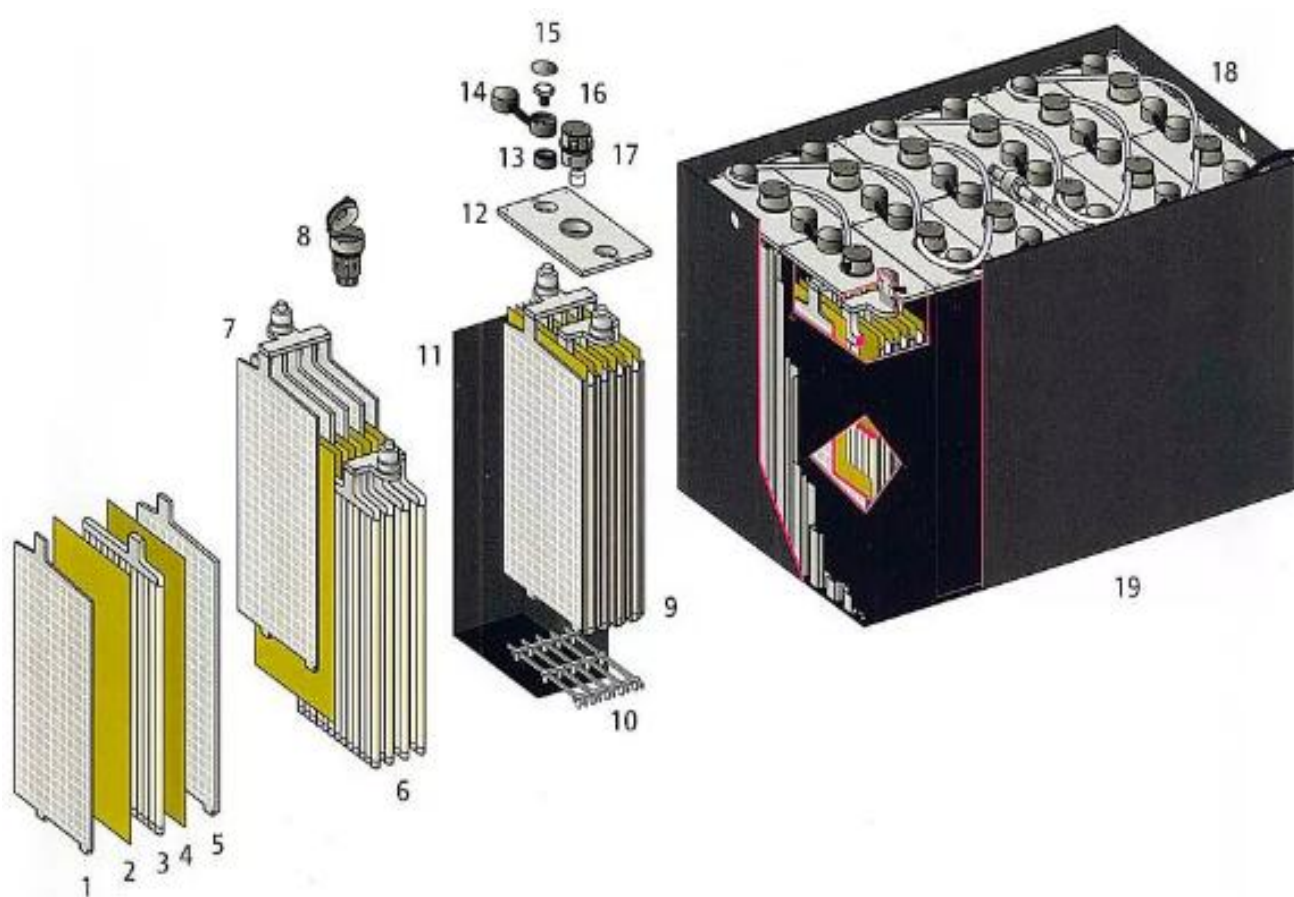


Рисунок 1.4.4 – конструктивное устройство аккумуляторной батареи панцирного типа: 1,5 – отрицательные пластины; 2,4 – микропористый сепаратор; 3 – положительная панцирная пластина; 6,7 – блоки пластин с полюсной перемычкой и болтовым полюсом; 8 – пробка; 9 – блок пластин; 10 – призма; 11,12 – корпус и крышка элемента; 13 – полюсное уплотнение; 14 – гибкое межэлементное соединение; 15 – защитный колпачок; 16 – полюсный болт; 17 – пробки для централизованного долива воды с контролем уровня; 18 – шланговый провод системы долива; 19 – корпус батареи.

1.5 Обзор конструкций инверторов

Инвертор – электронное устройство, которое преобразует постоянное напряжение от аккумуляторов в переменное 200В 50Гц. Большинство таких устройств работает как источник бесперебойного питания, то есть они автоматически могут переключать бытовые устройства на аккумулятор, при отсутствии энергии от ветрогенератора и обратно на сеть, если она вновь

появилась. Инвертор является основным компонентом любой автономной ветроэнергетической системы, без него её полноценная работа будет невозможна. Поэтому от правильного выбора инвертора будет зависеть правильность работы автономной системы электроснабжения. Инверторы бывают двух типов:

1) Высокочастотные – работают на повышенной частоте 20-30кГц, имеют маленький трансформатор, конденсаторы и рассчитаны на небольшую мощность (порядка 4кВт).

2) Низкочастотные – работают на частоте 50Гц, т.е. на промышленной частоте и на такой частоте работают большие и тяжёлые трансформаторы, и большое количество конденсаторов. Рассчитаны такие инверторы на большую мощность (больше 10кВт).

В инверторах первого типа используется высокопроизводительное процессорное управление, которое предназначено для сбережения электроэнергии и переключения между различными режимами работы. Корпус такого устройства металлический, имеющий сзади выходы под вентиляторную систему принудительного воздушного охлаждения, так как в трансформаторах выделяется большая мощность. Такие инверторы обычно содержат DC/AC преобразователь, схему управления, трансформатор с радиаторами, датчики тока, фильтр ЭМС и также может содержать контроллер. Такие инверторы излучают сильные электромагнитные помехи, и чтобы уменьшить их ставится ЭМС фильтр. Поскольку это высокочастотный инвертор, то большую нагрузку к ним подключить не удастся. Поэтому такие инверторы находят применение в автомобилях, быту и в автономных солнечных энергетических системах. Стоят такие инверторы как правило не дорого. На рисунке 1.5.1 приведём рисунок внутреннего устройства такого инвертора.



Рисунок 1.5.1- внутреннее устройство высокочастотного инвертора.

В инверторах второго типа также используется продвинутая система процессорного управления, которая анализирует различные параметры, такие как: ток, напряжение, мощность, температуру и другие. И в зависимости от изменения того или иного параметра инвертор, выполняет определённую задачу, например, если устройство видит падение силы тока на выходе автоматически включает резерв в виде АКБ. А когда уровень тока восстанавливается, то устройство переключается обратно на основной источник электроэнергии, а АКБ начинают заряжаться. Низкочастотные инверторы имеют трансформатор в виде тора или обычный броневого трансформатор. Тороидальный трансформатор имеет меньший размер, излучение электромагнитных помех и больший КПД (96%), однако у него очень высокая цена из-за количества меди и сложности намотки. Обычный броневого трансформатор имеет больший вес и размеры, меньший КПД и цену, и такие трансформаторы как правило надёжны и проверены временем. В таких инверторах используется много конденсаторов большой ёмкости с обоих боков которых установлены радиаторы для охлаждения. Конденсаторы нужны для того, чтобы инвертор смог выдержать в течение короткого времени

выдержать пусковую мощность некоторых бытовых приборов, например холодильника. Форма выходного сигнала таких устройств может быть как чистый синус, так и модифицированный. На рисунке 1.5.2 приведём картинку внутреннего изображения таких инверторов.



Рисунок 1.5.2 – внутренне устройство низкочастотных инверторов с тороидальным и броневым трансформаторами.

Если же инвертор не способен выдержать пусковую мощность в течение короткого промежутка времени, то устройство выйдет из строя. Такие инверторы нашли широкое применение в ветроэнергетических системах из-за своей надёжности. Устройства такого типа имеют встроенную защиту от перенапряжений, переплюсовки и встроенную защиту от электромагнитных и импульсных помех. Форма выходного сигнала у таких приборов – это чистый синус. Однако главным недостатком является цена.

Как можно заметить инвертор является весьма важным устройством в автономной ветроэнергетической системе, обладающим рядом функционала, хорошей надёжностью и выполняющим основную свою задачу преобразование постоянного напряжение в переменное промышленной сети.

2 Расчёт параметров ветроэнергетической установки.

2.1 Выбор схемы обеспечения объекта электроэнергией.

Так как предполагается использовать автономную систему электроснабжения без коммутации с сетью, то выберем следующую структурную схему:

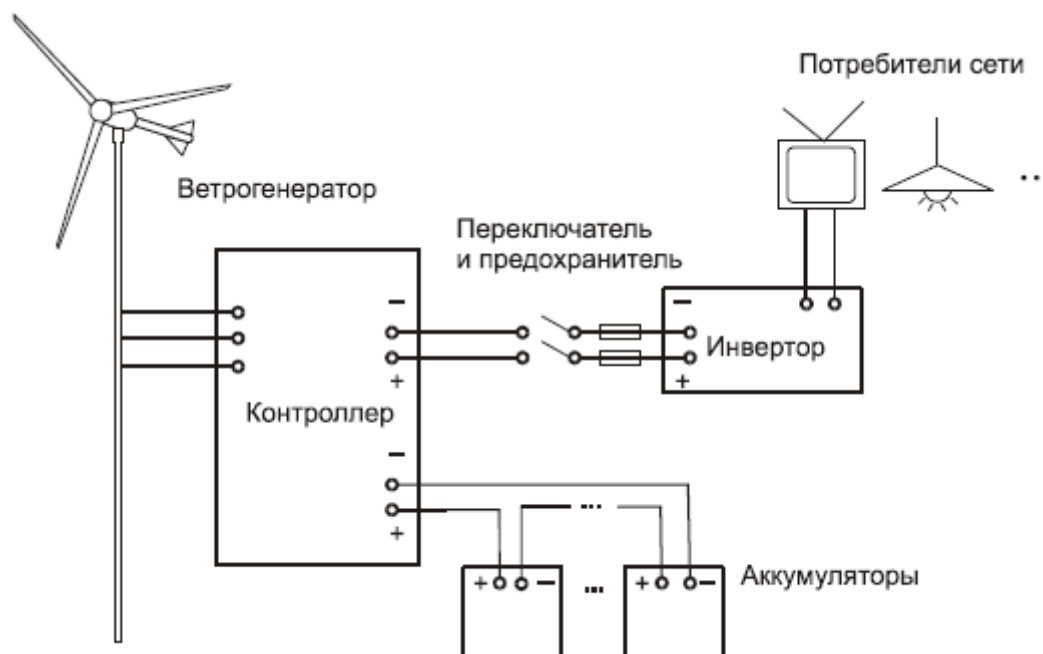


Рисунок 2.1.1 – структурная схема автономной системы электроснабжения.

Данная схема состоит из следующих компонентов:

- 1) Ветрогенератор
- 2) Контроллер
- 3) Аккумуляторы
- 4) Переключатели и предохранители
- 5) Инвертор

С помощью данной схемы будет обеспечиваться круглогодичное снабжение потребителя электроэнергией. Ветрогенератор вырабатывает переменное напряжение, которое контроллер преобразует в постоянное и затем энергия отдаётся в аккумуляторы для заряда или через инвертор потребителям. Контроллер также отслеживает уровень заряда батарей и в случае избытка энергия прекращает вырабатываться. Аккумуляторы

автоматически переключаются на питание объекта без остановки работы приборов в случае остановки работы ветрогенератора, как резервный источник электроэнергии. Инвертор преобразует постоянное напряжения с АКБ в переменное промышленной сети 220В 50Гц. Он также может контролировать заряд батарей. После этого энергия распределяется между нагрузкой.

2.2 Расчёт параметров инвертора

Для начала определим выходную мощность инвертора. Чтобы это определить нужно знать какая подключается нагрузка или какое количество электроприборов подключается к системе. Не получится подключить больше электроприборов, чем позволяет выходная мощность инвертора. В таблице 2.2.1 приведём список основных нагрузок переменного напряжения, их мощность и сколько часов они работают в неделю.

Таблица 2.2.1 – список нагрузок переменного напряжения, их мощности и часы работы в неделю.

Нагрузка переменного тока	Мощность, Ватт	Количество, штук	В среднем используется, час/в день	Используется дней в неделю	Всего час/в неделю	Итого Втч/в неделю
Стиральная машина	1800	1	2	1	2	3600
Холодильник (учитывая автовыключения)	170	1	8	7	56	9520
компьютер	230	1	6	7	42	1610
телевизор	250	1	5	7	35	8750
электроплита	4500	1	2	7	14	63000

лампы накаливания	40	6	6	7	42	1680
светодиодные лампы	60	8	6	7	42	2520
фен	850	1	0,15	2	0,3	255
пылесос	2200	1	0,25	2	0,5	1100
электрочайник	2200	1	0,3	7	2,1	4620
кондиционер	2500	1	8	7	56	14000 0
утюг	1700	1	0,4	1	1,4	2380
саундбар	300	1	2	5	10	3000
AC/DC адаптер для телефона	18	4	1,5	4	6	108

В итоге суммарная мощность нагрузки составила 16908 Вт, что довольно много. Для примера возьмём, частный коттедж, находящийся в Самарской Области, который потребляет такую нагрузку в течение летнего периода. Чтобы выбрать нужный инвертор существует два основных критерия;

1) По номинальной мощности – в расчёт идёт сумма подключённых нагрузок (берутся те, которые могут работать одновременно больше получаса). И тогда получаем суммарную номинальную мощность инвертора, равную 9568 Вт, возьмём с запасом и получим 10000 Вт.

2) По перегрузочной мощности, которую должен обеспечить инвертор в течение 6 секунд. Такую перегрузку дают устройства с асинхронными двигателями, с сильно индуктивно/ёмкостные устройства. К ним относятся:

Холодильник – пуск больше номинала в 10 раз и равен 1500 Вт

Двигатель стиральной машины – пуск больше номинала в 3 раза 5400 Вт.

Кондиционер – пуск больше номинала в 3-5 раза 12500 Вт

Двигатель пылесоса – пуск больше номинала в 2 раза 4400 Вт

Однако в реальности наиболее вероятен пуск холодильника, пылесоса и стиральной машинки. Суммарная пиковая мощность тогда будет равна 11300 Вт. Таким параметрам соответствует инвертор МАП SIN 48-220 15кВт PRO.

Далее вычислим нагрузку постоянного тока на аккумуляторы для питания инвертора в неделю. Коэффициент полезного действия инвертора примем равным 90%. Потребление общей нагрузки умножим на 1,1.

$$Z_{п.т.} = P_{нед} \cdot 1,1 = 242.143 \text{ Вт}\cdot\text{ч} = 242 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

Входное напряжение постоянного тока примем равным 48 В. Общую нагрузку разделим на входное напряжение и получим полную токовую нагрузку.

$$Z_{т.н.} = P_{нед} \div U_{вх.ин.} = 50446 \text{ А}\cdot\text{ч}$$

Поделив это значение на 7 получим значение в А·ч в сутки.

$$Z_{т.н.} \div 7 = 7206 \text{ А}\cdot\text{ч} \text{ или } 34.59 \text{ кВт в сутки}$$

Как видно потребляемая энергия в сутки большая.

2.3 Расчёт ёмкости аккумуляторной батареи

Для выбора аккумуляторной батареи возьмём суточное потребление электроэнергии 7206 А·ч и прикинем максимальное количество дней без ветра – примерно два дня. И умножим суточное потребление на два дня и получим количество электроэнергии необходимое запasti в АКБ.

$$N_{эл} = Z_{т.н.} \cdot 2 = 14412 \text{ А}\cdot\text{ч}$$

Введём глубину разряда для аккумуляторных батарей и примем её равной 80% от максимального значения. Ниже этого значения АКБ не смогут разрядиться. Так как глубина разряда 80%, то используем коэффициент 0,8. Разделим количество электроэнергии в АКБ на этот коэффициент и получим:

$$N_{эл} \div 0.8 = 14412 \div 0.8 = 18015 \text{ А}\cdot\text{ч}$$

Выберем номинальную ёмкость и напряжение в паспортном значении 200 А·ч и 12 В (гелиевый аккумулятор Multi – Brand12-200). Это число из предыдущего выражения разделим на 200 и получим количество аккумуляторов, соединённых параллельно: $18015 \div 200 = 90$ батарей. Разделим номинальное напряжение системы на напряжение одного АКБ и получим количество, которое нужно соединить последовательно: $48 \div 12 = 4$ батареи. Тогда общее количество АКБ будет равно $90 \cdot 4 = 360$ батарей. После соединений аккумуляторов получим общий аккумуляторный блок ёмкостью $18000 \text{ А}\cdot\text{ч} \times 48 \text{ В}$. Общая энергоёмкость будет равна:

$$18000 \cdot 48 \cdot 0.8 = 691200 \text{ Вт в сутки или } 691 \text{ кВт в сутки.}$$

Оптимальным током заряда для таких АКБ будет являться ток в 180А. а оптимальная мощность заряда будет равна 8640 Вт. Аккумуляторных батарей потребуется очень много. Однако не стоит забывать, что в периоды похолодания ёмкость акб уменьшается и не стоит в таком случае использовать АКБ с жидким электролитом, иначе замёрзнет. Надо помнить, что это только пример и в других случаях так много акб не понадобится.

2.4 Расчёт параметров контроллера

Контроллер будет необходим для контроля уровня заряда аккумуляторных батарей и защиты от перенапряжений. Первое на что стоит обратить внимание это на зарядное напряжение контроллера 48В. Зарядное напряжение для АКБ будет равно 360 Вт/ч. За 8 часов работы ветрогенератор сможет выработать 2800 Вт·ч энергии. В ветреные дни он сможет выработать 5600 Вт/ч энергии, что неплохо. Общая мощность ветрогенератора 8640 Вт·ч и тогда для того чтобы выбрать контроллер необходимо узнать какой ток он выдерживает. Для этого общую мощность установки нужно разделить на входное напряжение контроллера. Тогда получаем:

$$P \div U_{н} = 900 \div 48 = 18.75 \text{ А}$$

Однако необходимо взять контроллер с запасом, так как в некоторых случаях напряжение, выдаваемое генератором может быть больше. По параметрам выбрал Morningstar TriStar MPPT 60А который отлично подойдёт в такой системе, а большие радиаторы, сделанные из алюминия помогут эффективно рассеять тепло и эффективно отдавать электроэнергию. Также предусмотрена функция сброса лишней энергии в ТЭН или просто остановка лопастей ветряка, если не требуется дальнейшая выработка. Такой контроллер прослужит долго и надёжно, однако на первое время можно сэкономить и взять более простой.

2.5 Расчёт параметров генератора

Ветрогенератор необходим для выработки электроэнергии. Это довольно сложная электромеханическая система и требует правильного использования в определённых условиях работы. Важным является выбор генератора, который будет преобразовывать энергию ветрового потока в электрическую и отдавать её через контроллер в АКБ или через инвертор в сеть. Выработка электроэнергии определяется по формуле:

$$P_{\text{в}} = P * t_{\text{р}}, \text{ где}$$

$P_{\text{в}}$ – выработка электроэнергии

P – номинальная мощность генератора

Зная, потребляемую мощность нагрузки можно рассчитать номинальную мощность генератора:

$$P = P_{\text{в}} \div t_{\text{р}} = 16800 \div 24 = 700 \text{ Вт}$$

Однако так как ветер не постоянен и могут возникнуть перебои в поставке электроэнергии, поэтому нужно выбрать генератор с запасом для бесперебойного обеспечения электроприёмников 30%, а именно 5кВт. Тогда мощность генератора будет равна;

$$P = P_{\text{в}} \div t_{\text{р}} = 21800 \div 24 = 900 \text{ Вт}$$

Этого запаса вполне хватит для таких нужд. Такой генератор обычно асинхронного типа. Под такие нужды подойдёт ветрогенератор Energy Wind на 10 кВт станет вполне неплохим решением.

3. Расчёт стоимости ветроэнергетической установки

В итоге то, что выбрали:

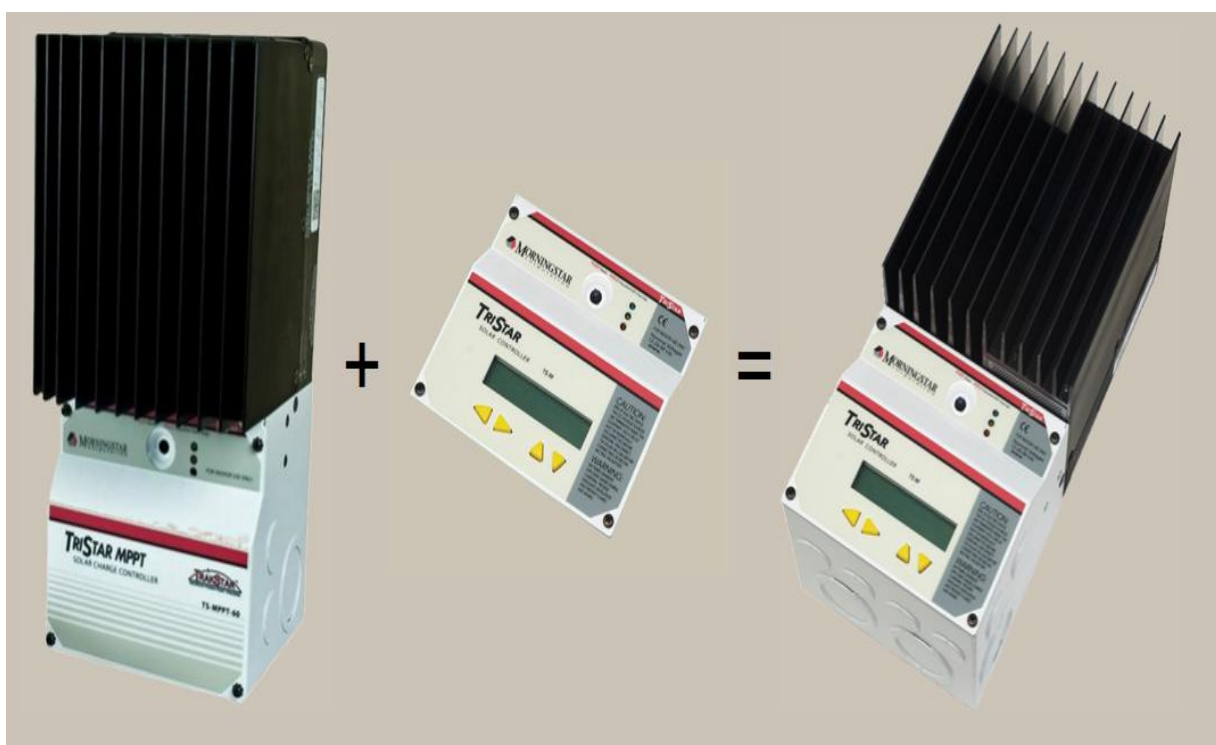
1) Инвертор МАП SIN 48-220 15кВт PRO



2) Аккумуляторные батареи Multi – Brand 12-200



3) Контроллер гибридный Morningstar TriStar MPPT 60A



4) Ветрогенератор Energy Wind на 10 кВт



Тогда сумма всего ветроэнергетического комплекса будет состоять из стоимости инвертора, контроллера, аккумуляторных батарей и ветрогенератора. Итого:

$\Sigma = 138000 + 64250 + 903600 + 650000 = 9888250$ рублей по текущему курсу.

Почему так много вышло – потому что такой дом как правило рассчитан на целую семью и потребление от самых мощных приборов идёт довольно длительное время, отсюда и вытекает цена. Конечно, за такие деньги никто его не будет покупать, однако в качестве примера стоило рассмотреть. Плюс ещё смело можно накинуть несколько тысяч которые уйдут на провода и

другую мелочь. В целом использование такой установки оправдано и выгодно. Даже такая дорогая ветроэнергетическая установка рано или поздно окупит себя, учитывая что электроэнергия дорожает с каждым годом, а ископаемых становится всё меньше.

Заключение

В проделанной бакалаврской работе была рассмотрена и изучена автономная ветроэнергетическая установка, которая, должна снизить затраты на электроэнергию и негативное влияние на природу, путём её внедрения в Самарский регион. Были рассмотрены конструкции ветроэнергетических установки различного типа и их внутренне устройство. Обоснован выбор использования горизонтально-осевого ветрогенератора пропеллерного типа, по сравнению с другими. Рассмотрены конструкции различных типов контроллеров заряда аккумуляторных батарей и обоснованы причины выбора того или иного контроллера под потребительские нужды. Рассмотрены конструкции аккумуляторных батарей 4 основных типов, используемых сегодня в ветроэнергетических и солнечных системах. Рассмотрены кратко конструкции инверторов и показано внутреннее устройство под те или иные нужды потребителя. Рассчитаны параметры всех основных элементов автономной ветроэнергетической установки. Кратко подведена предварительная стоимость такой установки, параметры нагрузки для которой были выбраны в качестве примера. Была показана оптимальная структурная схема на плакатах А1 и проработан параметр каждого её блока. И итоге можно сказать, что направление ветроэнергетики весьма перспективно и выгодно. Использование таких установок поможет снизить количество выбросов в атмосферу и тем самым улучшить экологическое положение как в Самарской Области, так и в стране в целом.

Список используемой литературы

- 1) С. Aubrey. Still waiting to take off. New Energy, 2000, №1.
- 2) С. Hinsch. Wind power flying ever higher. NEW Energy, 2000, №1.
- 3) Wilson R. E. Wind Turbine aerodynamics / R.E. Wilson // J. of Ind. Aerod. 1980. v5. – P 357-372.
- 4) Sorensen Bent. History of, and recent progress in wind energy utilization/ Annu. Rev. Energy Environ. – 1995. P. 387 – 424.
- 5) Field maintenance manual 56 – 100 wind turbine. U.S. Windpower, INC.
- 6) Неисчерпаемая энергия. Книга 2. Ветроэнергетика / В.С. Кривцов, А.М. Олейников, А.И. Яковлев. – Учебник. – Харьков: нац. аэрокосм. ин-т « Харьк. авиац. ин-т», Севастополь: Севаст. нац. тех. ун-т, 2004. – 519с.
- 7) Неисчерпаемая энергия. Книга 2. Ветроэнергетика / В.С. Кривцов, А.М. Олейников, А.И. Яковлев. – Учебник. – Харьков: нац. аэрокосм. ин-т « Харьк. авиац. ин-т», Севастополь: Севаст. нац. тех. ун-т, 2003. – 400с.
- 8) Бут Д.А. Бесконтактные электрические машины / Д.А. Бут. — М. высш. шк., 1990. – 416с.
- 9) Малышев Н. А. Ветроэлектрические станции / Н.А. Малышев, В.М. Лятхер. — М. Энергоатомиздат, 1988. — 165с.
- 10) Укрощаем Ярило-Солнце! Первый в России тест солнечных контроллеров премиум-класса.2014. URL: <http://www.invertor.ru/mppt.php>. (дата обращения 16.05.2019).
- 11) Обзор конструкций инверторов на российском рынке. URL: <http://energywind.ru/recomendacii/sovety-specialistov/ibp/obzor-konstrukcij-invertorov-na-rossijskom-rynke-v-2015-godu>. (дата обращения 24.05.2019).
- 12) Типы аккумуляторных батарей AGM и GEL. URL: <https://s-ways.ru/informations/akkumulyatornye-batarei-agm-i-gel.html>. (дата обращения 01.06.2019).

- 13) МАП "Энергия" расчет системы. URL: <http://www.invertor.ru/syscalc.html>.
(дата обращения 12.05.2019).
- 14) Типы и конструкция ветрогенераторов: 03.20.2019. URL:
<https://radiofishka.in.ua/ru/content/typy-i-konstrukciya-vetrogeneratorov>. (дата
обращения 07.05.2019).
- 15) Артём. Устройство и принцип работы кинетического ветрогенератора —
рассказываем в общих чертах / Артём. [Сайт]. 16.02.2019. URL:
<https://kachestvolife.club/ekologiya/princip-raboty-vetrogeneratora-video-i-obzor> —
статья в интернете.