

Конструирование прототипа ветрогенератора

Проект
Направление «физика»

Автор: Хрущева Дана Олеговна,
учащаяся 8 класса, МАОУ СОШ №22
с углублённым изучением иностранных языков
г. Пермь

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	2
Теоретический материал.....	3
Классификация промышленных ветрогенераторов.....	3
Устройство промышленных ветрогенераторов.....	5
Принцип работы промышленного ветрогенератора.....	7
Достоинства и недостатки промышленных ветрогенераторов.....	9
Ротор Савониуса - История создания ветряной турбины.....	10
Принцип работы ротора Савониуса.....	10
Область применения ротора Савониуса.....	11
Достоинства и недостатки ротора Савониуса.....	11
Проектирование прототипа ветрогенератора.....	12
Введение по сборке прототипа ветрогенератора.....	14
Этапы сборки прототипа ветрогенератора.....	14
Процесс сборки прототипа ветрогенератора (по этапам).....	14
1. Тест генератора и определение его характеристик.....	14
2. Расчет размеров и характеристик ротора.....	16
3. Конструирование ротора и каркаса.....	17
4. Соединение ротора и каркаса, тест получившейся конструкции, выявление недостатков конструкции.....	18
5. Модернизация каркаса, соединение модернизированного каркаса и ротора, тест конструкции.....	19
6. Соединение конструкции с генератором, тест ветрогенератора.....	19
Проведение опытов.....	20
Заключение.....	21
Список литературы.....	22
Приложение.....	23

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире всем нужна электроэнергия. Она востребована как в производстве, так и в быту. Например, на заводах не обойтись без станков, работающих с помощью электричества, а дома, нельзя приготовить чай без электрического чайника и т.д.

Где же взять электроэнергию? Есть несколько способов, такие как гидрогенерация (ГЭС), тепловая генерация (ТЭС), атомная энергетика (АЭС), солнечная генерация (СЭС) и ветрогенерация (ВЭС).

Темой проекта является ветрогенерация, потому что это одно из самых перспективных направлений энергетики в РФ. 2/3 энергии добывают ТЭС, но их ресурс невозобновляем, поэтому их надо сокращать, остальную энергию добывают ГЭС, АЭС, СЭС и ВЭС. Количество ГЭС в нашей стране сложно увеличить, так как почти не осталось подходящих рек под установку новых станций, АЭС активно развивается, но люди по-прежнему боятся их, для СЭС в РФ мало подходящий климат в большей части страны.

Цель: сконструировать прототип ветрогенератора

Задачи:

1. Изучение теории
2. Проектирование и сборка ветрогенератора
3. Проведение опытов

Гипотеза: прототип ветрогенератора позволит найти пути решения для минимизации существующих недостатков.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

Ветрогенератор — это устройство для преобразования кинетической энергии ветрового потока в механическую энергию вращения ротора с последующим её преобразованием в электрическую энергию. (ротор — это вращающаяся часть двигателя, получающее энергию от рабочего тела или отдающие её рабочему телу). Своими словами, ветрогенератор преобразует энергию ветра в электричество [4].

Классификация промышленных ветрогенераторов:

По ориентации оси ротора ветряные турбины подразделяются на два типа:

- Горизонтальная ось
- Вертикальная ось

Горизонтальная ось

Турбины с горизонтальной осью делятся на два типа:

- Тип пропеллера
- Тип многолезвийный

В турбине с горизонтальной осью ориентация оси сохраняется вдоль горизонтальной оси. В турбине пропеллерного типа количество лопастей равно трем или меньше трех. А в многолопастной турбине используется большее количество лопастей [1].

На рисунке 1 изображены пропеллеры ветровой турбины с одним, двумя и тремя лопастями.

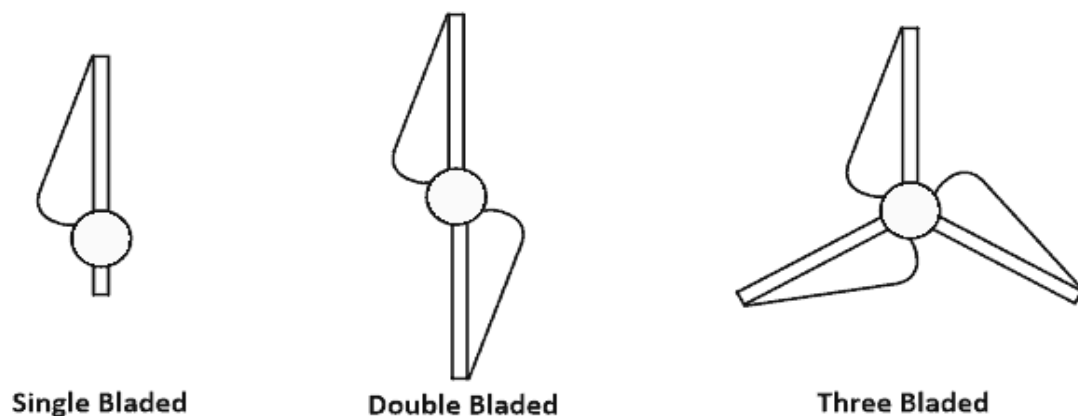


рис.1 пропеллеры ветровой турбины [1]

На рисунке 2 изображена многолопастная турбина, в которой используются от 12 до 20 лопастей.

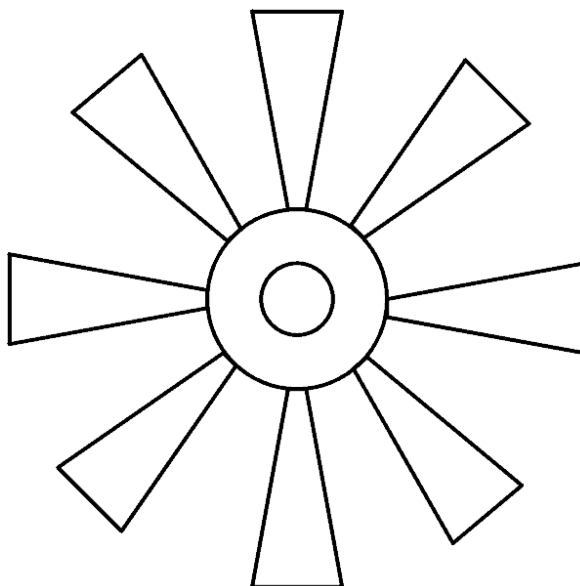


рис.2 многолопастная турбина [1]

Вертикальная ось

Ветровые турбины с вертикальной осью подразделяются на два типа:

- Тип Савониуса
- Тип Дарье

В этом типе ветряной турбины вал главного ротора расположен поперек ветра, а другие принадлежности размещены у основания турбины.

В ветряной турбине типа Савониуса полый эллиптический цилиндр разделен на две части. И каждая часть составляет половину вертикальной турбины, закрепленной на вертикальной оси. Форма этого ротора похожа на букву «S». Поэтому ротор типа Савониуса также известен как ротор S-типа [1]. Фигура ротора типа Савониуса показана на рисунке 3.

Ветряная турбина типа Дарье состоит из двух или трех лопастей. Эти лопасти имеют изогнутую форму, и форма этой лопасти известна как тропоскейн. Лопасти с аэродинамическим или аэродинамическим поперечным сечением размещены симметрично на вертикальном валу [1]. Ветровая турбина типа Дарье показана на рисунке 4.

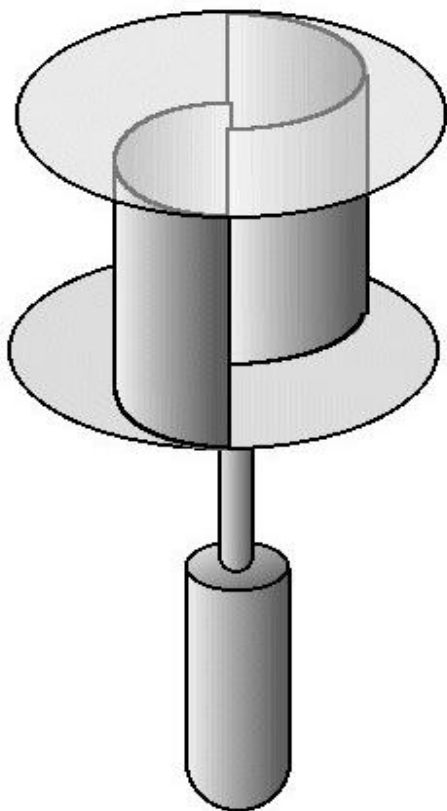


рис.3 ротор Савониуса

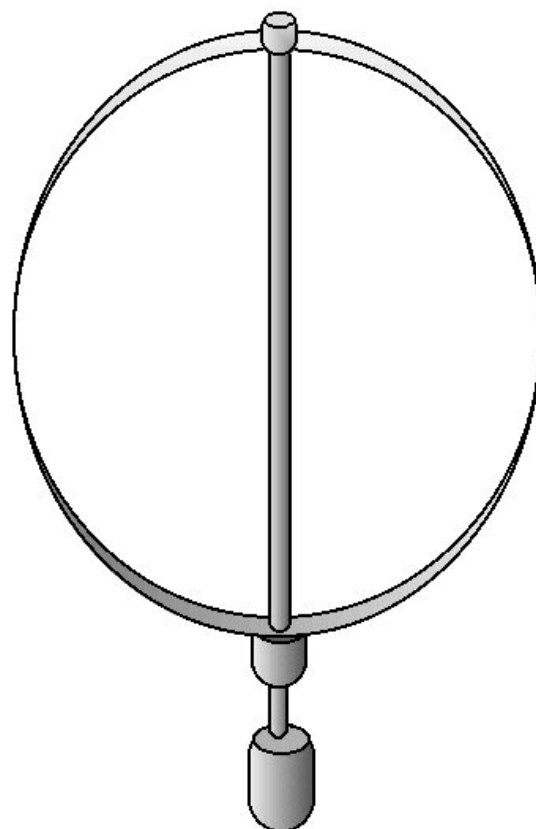


рис.4 ротор Дарье

Устройство промышленных ветрогенераторов

ВЭУ состоит из:

- ветротурбины, установленной на мачте с растяжками и раскручиваемой ротором либо лопастями

- электрогенератора

Полученная электроэнергия поступает в:

- контроллер заряда аккумуляторов (управляет процессом заряда аккумулятора), подключенный к аккумуляторам

- инвертор (устройство для преобразования постоянного тока в переменный с изменением величины напряжения), подключенный к электросети.

На рисунке 5 изображен промышленный ветрогенератор, состоящий из колпака ротора, устройства для изменения шага винта, лопастей винта, гондолы, в которой находится трансмиссия, тормозной системы, анемометра, электрогенератора; поворотного механизма, башни, внутри которой находится лестница; фундамента и силового шкафа, включающего контакторы и цепи управления.

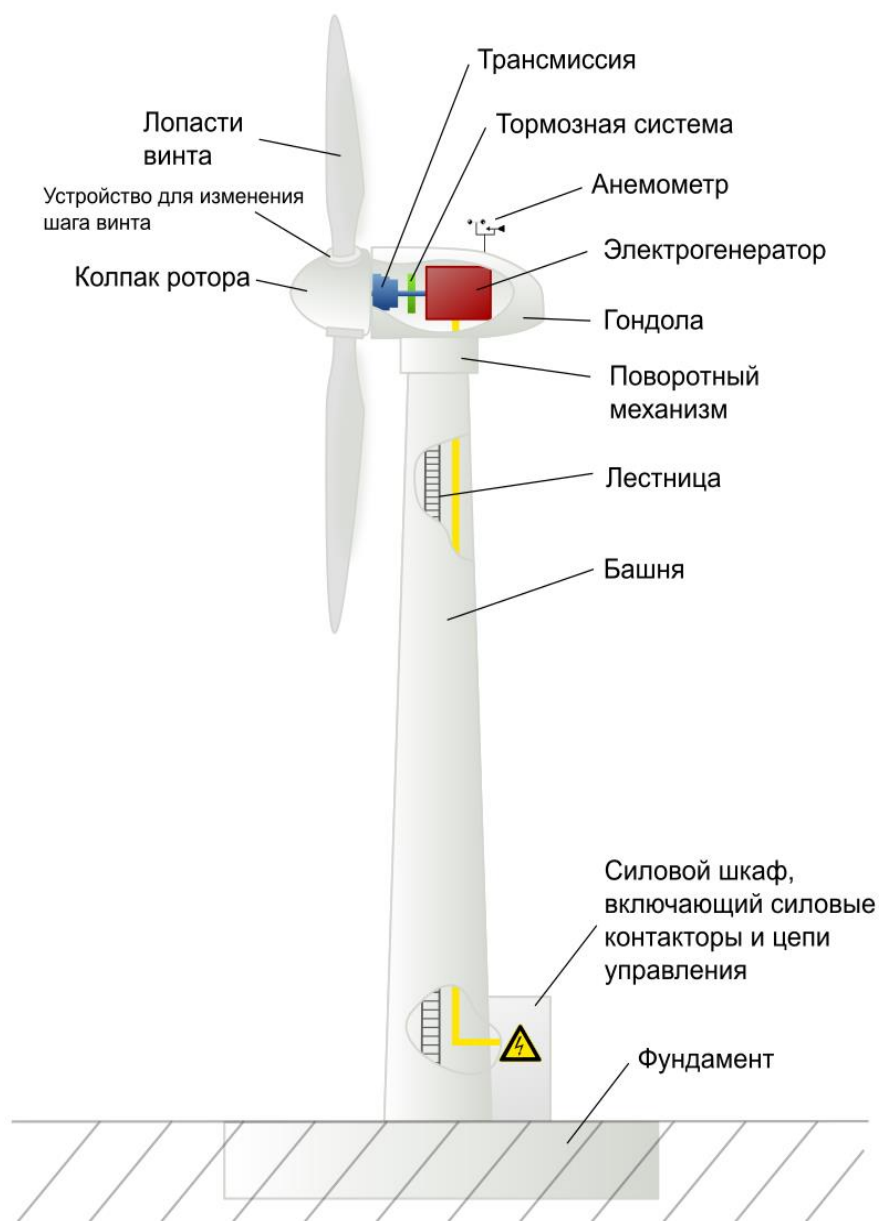


рис.5 промышленный ветрогенератор [4]

Принцип работы промышленного ветрогенератора

Принцип работы ветрогенератора заключается в преобразовании кинетической энергии ветра в электрическую с помощью лопастей и генератора.

Как же происходит преобразование энергии ветра в электрическую энергию? Процесс преобразования кинетической энергии ветра в электрическую энергию ветрогенераторами начинается с того, что лопасти ветрогенератора начинают вращаться под воздействием ветра. Вращение лопастей передает механическую энергию на генератор, который преобразует ее в электрическую энергию.

Генератор состоит из двух основных частей: статора и вала. Статор — это неподвижная обмотка, которая создает магнитное поле. Вал же связан с лопастями и вращается под воздействием ветра. При вращении вала происходят изменения магнитного поля, что вызывает появление электрического напряжения в обмотке статора.

Электрический ток, который генерируется в обмотке статора, затем проходит через провода и поступает в систему управления, которая контролирует его параметры (например, напряжение и частоту). Электрическая энергия, полученная от ветрогенератора, может быть непосредственно использована для питания электрических устройств или сохранена в батареях для последующего использования [6].

На рисунке 6 изображен блок генератора, состоящий из лопастей (1), вала от лопастей (2), коробки скоростей (3), вала от генератора (4), генератора (5), датчика (6) и поворотного механизма (7), который передает энергию к трансформатору (8).

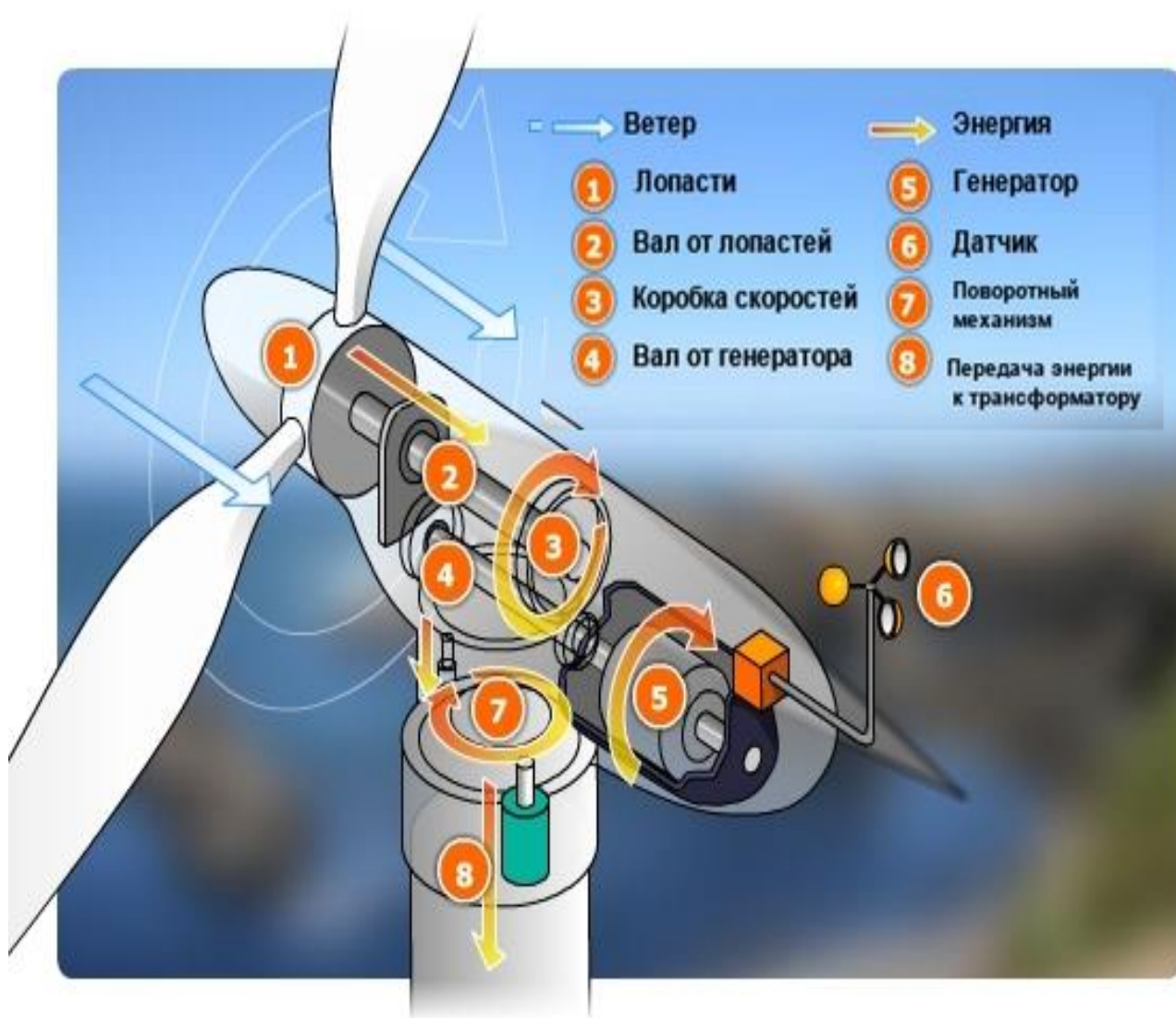


рис.6 блок генератора

Достоинства и недостатки промышленных ветрогенераторов

Достоинства:

- Энергия ветра является возобновляемой
- ВЭС - экологически чистая электростанция

В отличие от тепловых электростанций, ВЭС являются экологически чистыми, они не делают никаких выбросов в атмосферу.

- Стоимость электроэнергии,

получаемая от больших ветряных ферм, является очень низкой. Только АЭС позволяют получать более дешевую энергию, но при этом они гораздо более опасны.

- Сокращение потребления ископаемого топлива

Если бы мы все использовали энергию ветра, мы бы снизили потребление ископаемого топлива, которое очень вредно для окружающей среды.

- Энергия ветра свободна

Этот источник энергии совершенно свободен, в отличие от других источников энергии. Поэтому нет рынка спроса и предложения энергии ветра.

Недостатки:

- Проблема эксплуатации и установки

Для установки ветрогенератора требуется разрешение у регулирующих органов, проведение исследований ветра в этом районе. Этот процесс занимает несколько лет. Также подготовка площадки к установке, тяжелая подъемная техника.

В ходе эксплуатации промышленных ветрогенераторов возникают следующие проблемы: неправильное устройство фундамента, обледенение лопастей, отключение/поломка тормозной системы, нестабильность работы ветрогенератора, пожары.

- Образование “мертвой” воздушной зоны

Расположенные рядом здания могут «гасить» ветер.

- Необходимость использования аккумуляторов и других дополнительных приборов. Они служат для преобразования полученного электричества в ток с подходящими потребительскими характеристиками.
- Шум и вибрация

Шум и вибрация причиняют дискомфорт людям, животные пугаются и вынуждены мигрировать, особенно те, что живут под землей.

- Угроза для птиц

Лопастей установок могут стать причиной гибели подлетевших к ним птиц, из-за чего, перелетным птицам приходится менять свой маршрут.

- Непереработка лопастей ветрогенераторов

Ротор Савониуса - История создания ветряной турбины

Ветряная турбина Савониуса была изобретена финским инженером Сигурдом Савониусом в 1922 году и запатентована в 1926 году. До появления этой ветряной турбины европейцы пытались изобрести вертикальный тип ветряных турбин с закрученными лопастями. Первоначальное обсуждение этого устройства было сделано Чанадом. Он написал, что существует несколько типов ветряных турбин с вертикальной осью, имеющих либо V-образные, либо закрученные лопасти. Но эти модели не достигли уровня развития. В его сочинении было указано, что у него есть мысль разработать турбину, которая будет такой же, как турбина Флеттнера, но будет иметь метод авторотации [4].

Принцип работы ротора Савониуса

Устройство, похожее на чашечный анемометр. Принцип работы ветряной турбины Савониуса легко объяснить, поскольку она считается наиболее обтекаемой турбиной по сравнению с другими турбинами. Это волоочащийся тип инструмента, который состоит из 2–3 чашек. Если смотреть на ротор сверху, он выглядит в форме буквы «S» в виде поперечного сечения.

Благодаря этой форме кривизны, чашки будут иметь минимальное сопротивление, когда они движутся в противоположном направлении ветра, тогда как они испытывают максимальное сопротивление, двигаясь в том же направлении ветра. Это изменение сопротивления создает вращательное движение турбины Савониуса.

Поскольку эти приборы являются устройствами тягового типа, они захватывают минимальную мощность ветра по сравнению с другими подъемными типами турбин того же размера. Большая часть щеточной секции ротора Савониуса находится близко к уровню земли, когда устройство имеет минимальное крепление без вытянутой стойки, что обеспечивает низкий отбор энергии из-за меньших скоростей ветра, наблюдаемых на меньших высотах.

Чашки в ветряной турбине Савониуса не будут иметь более высоких скоростей вращения по сравнению со скоростью ветра, и это создает пропорцию скорости наконечника, равную либо единице, либо меньше единицы. Это означает, что устройство имеет минимальную скорость вращения, но производит большее количество крутящего момента.

Итак, эти приборы не совсем подходят для производства электроэнергии, поскольку требуют более высоких оборотов для генерации более высоких значений тока и напряжения. Для этого можно вставить редуктор, чтобы минимизировать крутящий момент и повысить уровень оборотов генератора, и это соответствует тому, что турбина не имеет возможности запускаться самостоятельно [3].

Область применения ротора Савониуса

- Ветроэнергетика

Ротор Савониуса ставят на ветряные турбины для добычи электроэнергии

- Вентиляция

Ротор Савониуса используется в вентиляторе Флеттнера, который применяется на крышах фургонов и автобусов в качестве устройства охлаждения.

- Реклама

В Европе небольшие ветряные турбины Савониуса иногда применяются в качестве «анимированных» рекламных знаков, где вращательное движение помогает привлечь внимание к рекламируемому предмету.

- Измерительные приборы

Принцип работы ротора Савониуса используется для измерения скорости и направления ветра (анемометр и флюгер).

Достоинства и недостатки ротора Савониуса

Достоинства:

- Минимальная вибрация и шум

Турбину можно поставить в непосредственной близости от жилья, также ее работа не мешает и не пугает животных.

- Простое обслуживание и установка, мало затратны
- Не требует дополнительных устройств для запуска

Благодаря вогнутой форме лопастей запуск происходит при минимальных значениях ветра - 0,3 м/с. Оптимальных значений генератор достигает при скорости воздушного потока 5 м/с.

- Не представляет опасности для птиц

Птицы воспринимают конструкцию как единое целое и не пытаются пролететь сквозь лопасти.

Недостатки:

- Относительно низкая эффективность

Чтобы достичь оптимальной эффективности, требуется строить турбину больших размеров.

- Не подходят для мест с сильными турбулентными ветрами и ураганами

Ураганы, грады, очень сильные ветра могут сломать турбину [1], [2], [3].

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОТОТИПА ВЕТРОГЕНЕРАТОРА

На рисунке 7 изображена схема ветрогенератора, на которой обозначены детали:

1 - ротор Савониуса

2 - генератор

3 - шкив с резинкой

4 - ось

5 - подшипники

6 - основание

7 - каркас

8 - опора

Под воздействием ветра, ротор Савониуса (1) вращается на оси (4). Ось (4) раскручивает шкив с резинкой (3), соединенный со шкивом генератора (2), заставляя его работать. Подшипники (5) нужны для уменьшения силы трения. Сам ветрогенератор стоит на основании (6), каркасе (7) и опоре (8).

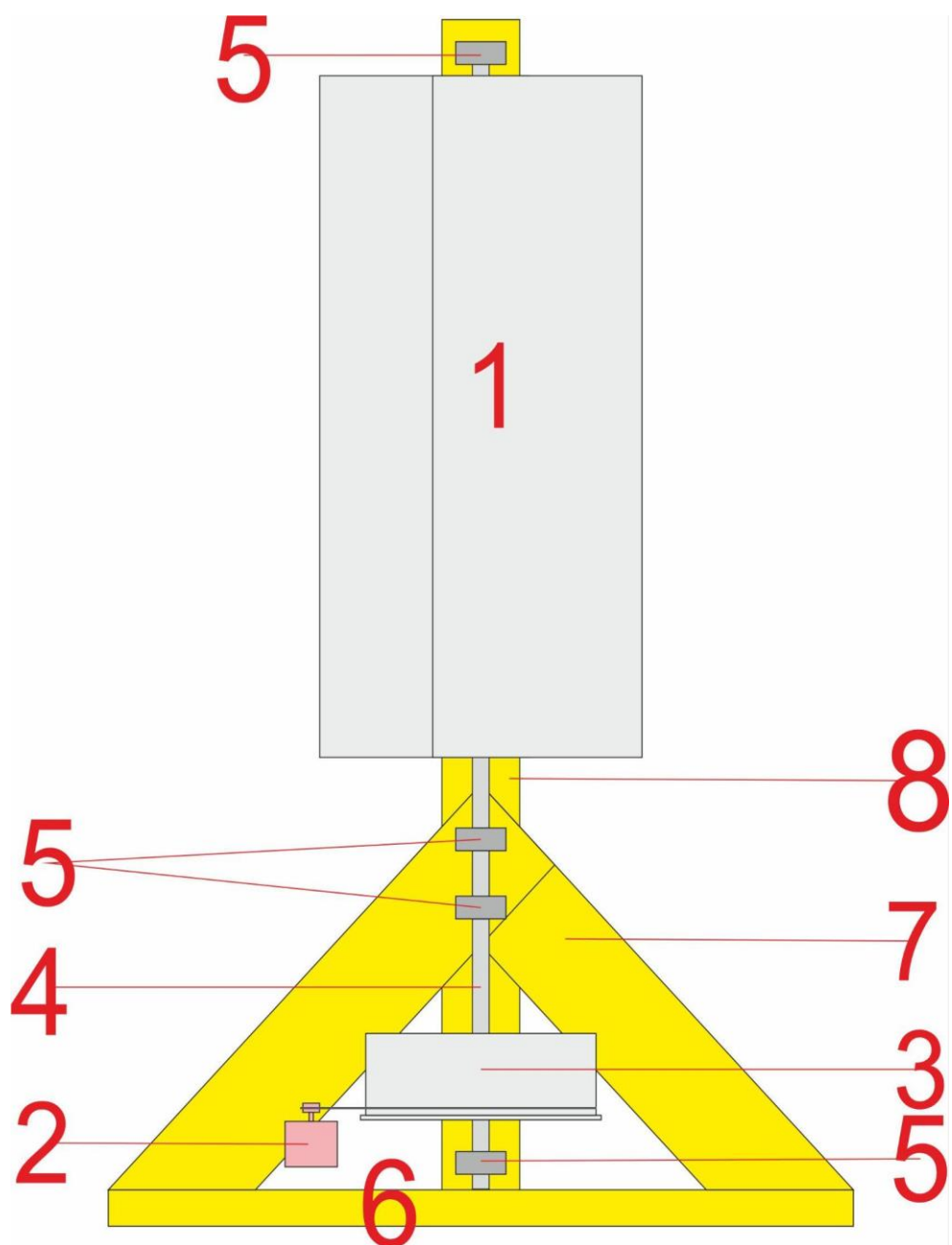


рис.7 схема ветрогенератора

Введение по сборке прототипа ветрогенератора

Для сборки прототипа ветрогенератора был выбран ротор Савониуса, потому что это одна из самых простых ветровых турбин. Для ее сборки не требуются сложные детали и расчет аэродинамики, также большинство материалов могут найтись дома, также в сборке помогал мой папа.

Этапы сборки прототипа ветрогенератора

1. Тест генератора и определение его характеристик
2. Расчет размеров и характеристик ротора
3. Конструирование ротора и каркаса
4. Соединение ротора и каркаса, тест получившейся конструкции, выявление недостатков конструкции
5. Модернизация каркаса, соединение модернизированного каркаса и ротора, тест конструкции
6. Соединение конструкции с генератором, тест ветрогенератора

Процесс сборки прототипа ветрогенератора (по этапам)

1. Тест генератора и определение его характеристик

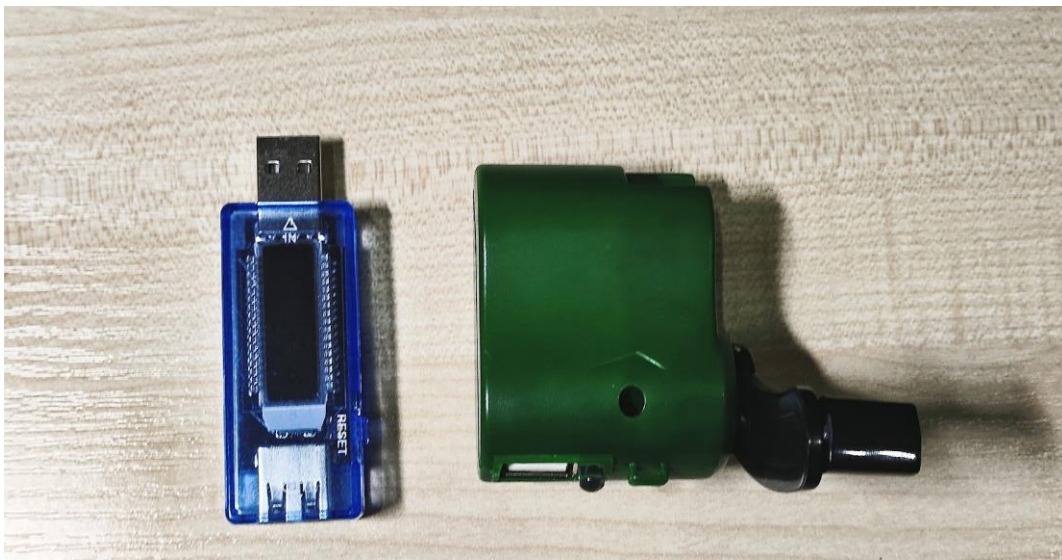


рис.8 USB тестер и ручной генератор (слева направо)

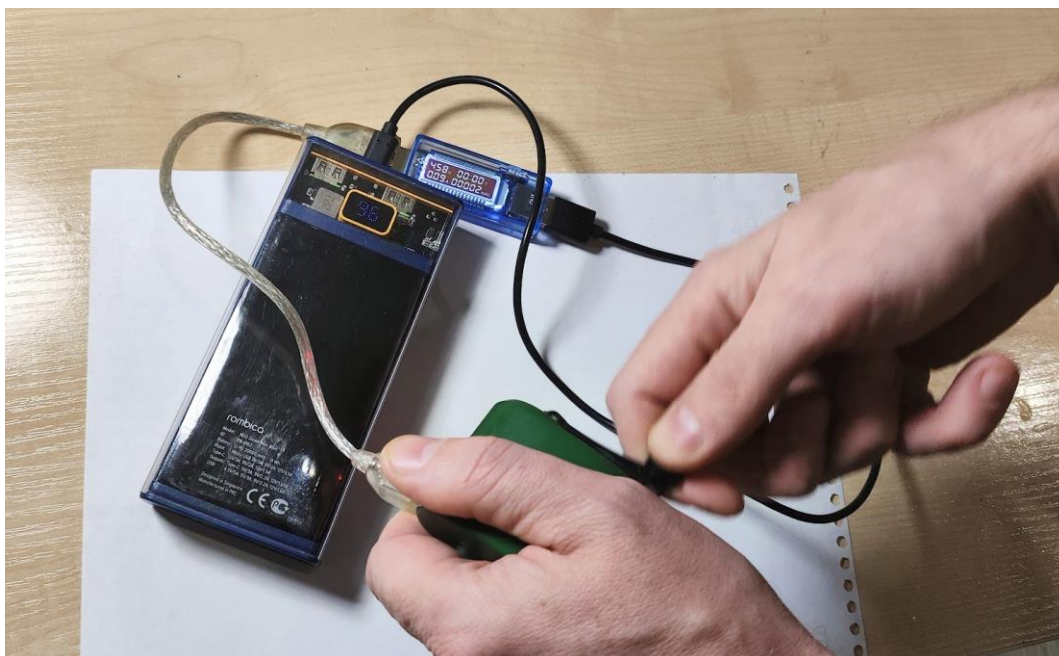


рис.9 тест генератора и определение его характеристик

В ходе тестирования были определены характеристики генератора. При вращении рукоятки со скоростью 75 об/мин генератор выдает мощность 3В, при скорости 100 об/мин - 5В.

В корпусе ручного генератора находилась зубчатая передача с 4 парами повышающих обороты шестеренок. У одной шестеренки соотношение зубчиков равно 35/12. Соответственно 1 оборот рукоятки приблизительно равен 72,37 оборотам вала генератора ($72,37 = (35/12)^4$). Соответственно, чтобы выдать мощность 3В вал генератора должен вращаться со скоростью 5430 об/мин (90 об/с), ($72,37 \cdot 75$).

2. Расчет размеров и характеристик ротора

Извлекаемая мощность ротора Савониуса: $P_{\max} = 0,12 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3} \times h \times d \times v^3 \text{ (Вт)}$

Частота вращения: $\nu = (\lambda \times v) / (r \times 2\pi) \text{ (об/с или с}^{-1}\text{)}$,

где λ – коэффициент отношения наконечника к скорости, для ротора Савониуса примерно равный к единице [1], [7].

При данных размерах ротора и скорости ветра v :

максимальная мощность = $0,00924 \times v^3 \text{ (Вт)}$,

частота вращения = $v/0,484 \text{ (с}^{-1}\text{)}$

Скорость ветра для проведения эксперимента 2-3 м/с

Расчётная частота вращения ротора 4-6 об/с

Расчётная мощность 0,075Вт (3В; 0,025А)...0,25Вт (4,5В; 0,055А).

В модели есть ограничение: используемый для опыта генератор (необходимая частота вращения оси генератора от 90 до 135 об/с, напряжение 3...4,5В).

Требуемое передаточное число механизма передачи вращения от ротора к генератору 1:22.

Диаметр шкива на генераторе 0,05м, требуемый диаметр шкива на роторе 0,11м.

3. Конструирование ротора и каркаса



рис.10 воздуховод

На рисунке 10 изображен разрезанный пополам воздуховод ПВХ 0,5м в высоту, диаметром 0,1м.

На рисунке 11 изображены торцевые детали, сделанные из разрезанных пополам заглушек ПВХ диаметром 0,1м и вырезанного и приклеенного на них с внешней и внутренней стороны листового ПВХ пластика, толщиной 0,04м.



рис.11 торцевые детали

Склеив воздуховод с торцевыми деталями, соединив получившиеся лопасти с осью и закрепив конструкцию подшипниками, гайками и шайбами был собран ротор Савониуса.

Каркас ветрогенератора собран из деревянных отходов после ремонта - деревянная круглая дощечка толщиной 0,1м, диаметром 0,36м, деревянные брусья 0,4м*0,5м на шурупы и металлические уголки.

4. Соединение ротора и каркаса, тест получившейся конструкции, выявление недостатков конструкции

Соединив и протестировав конструкцию с помощью фена, было определено, что ротор очень сильно шатается, поэтому требовалось модернизировать каркас.

5. Модернизация каркаса, соединение модернизированного каркаса и ротора, тест конструкции

Чтобы ротор не так сильно шатало, к основанию каркаса был прикручен на уголок деревянный брусок, уже к этому бруску была присоединена ось с подшипником.

Конструкция с модернизированным каркасом была успешно протестирована.

6. Соединение конструкции с генератором, тест ветрогенератора

На нижнюю часть оси был прикреплен шкив (ПВХ заглушка диаметром 0,11м) с резинкой, на основание каркаса с помощью металлического уголка и изолянт был прикреплен генератор с USB выходом.

Первый тест без USB тестера был проведен успешно

Второй тест с USB тестером был проведен успешно



рис.12 соединение ротора с генератором

ПРОВЕДЕНИЕ ОПЫТОВ

1. Опыты на улице

1.1 Тест ротора с генератором, без нагрузки

При порывистом ветре со скоростью 3 м/с ротор разгонялся до максимальной скорости 5 об/с и генератор вырабатывал электрический ток напряжением около 0,16Вт.

1.2 Тест ротора с генератором и нагрузкой

При порывистом ветре со скоростью 3 м/с ротор разгонялся до максимальной скорости 5 об/с и генератор вырабатывал электрический ток напряжением около 0,105Вт. Нагрузка представлена в виде мини USB лампочки с мощностью 0,05Вт.

2. Опыты в домашних условиях

2.1 Тест ротора без генератора и нагрузки

Под обдувом фена со скоростью около 3-4 м/с ротор разгонялся до максимальной скорости 7 об/с.

2.1 Тест ротора с генератором, без нагрузки

Под обдувом фена со скоростью около 3-4 м/с ротор разгонялся до максимальной скорости 6 об/с и генератор вырабатывал электрический ток напряжением около 0,16Вт.

2.3 Тест ротора с генератором и нагрузкой

Под обдувом фена со скоростью около 3-4 м/с ротор разгонялся до максимальной скорости 6 об/с и генератор вырабатывал электрический ток напряжением 0,105Вт.

Вывод

Сравнив расчеты и результаты опытов, было определено, что ротор был собран правильно и расчеты проведены верно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проекта была изучена информация про добычу энергии, ветроэнергетику, промышленные ветрогенераторы, их классификацию, устройство, принцип работы, достоинства и недостатки. Также была подробнее изучена информация про ротор Савониуса, его историю создания, принцип работы, применение, достоинства и недостатки.

Следующим этапом были проведены расчеты мощности будущего ветрогенератора.

Опираясь на расчеты, был спроектирован и собран ветрогенератор типа ротора Савониуса.

После сборки ветрогенератора были проведены опыты в разных условиях, с генератором и без, с нагрузкой и без. Сравнив расчеты и результаты опытов, было определено, что ротор был собран правильно и расчеты проведены верно.

Целью проекта было сконструировать рабочий ветрогенератор. Цель проекта выполнена. Задачами проекта являлись изучение теории, проектирование прототипа ветрогенератора и проведение опытов. Задачи проекта выполнены. Гипотезой проекта было предположение, что сконструировав прототип ветрогенератора, будут найдены пути минимизации его недостатков. Гипотеза подтверждена.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ELECTRICAL TECHNOLOGY - Ветроэлектростанция – ветровые турбины, генераторы, выбор места и схема генерации, ссылка: <https://www.electricaltechnology.org/2021/08/wind-power-plant.html#performance-of-wind-turbines>
2. Designhouseroom - Ротор Савониуса: описание, принцип работы. Вертикальная осевая ветровая турбина, ссылка: <https://designhouseroom.com/17166533-savonius-rotor-description-principle-of-operation-vertical-axis-wind-turbine>
3. ELPROCUS - Что такое ветряная турбина Савониуса: конструкция и принцип работы, ссылка: <https://www.elprocus.com/what-is-a-savonius-wind-turbine-design-its-working/>
4. Wikipedia - Ветряная турбина Савониуса; Ветрогенератор, ссылка: https://en.wikipedia.org/wiki/Savonius_wind_turbine
5. Яндекс погода – Погода в Перми, ссылка: <https://yandex.ru/pogoda/perm>
6. RENWEX - Ветроэнергетика в возобновляемой энергетике, ссылка: <https://www.renwex.ru/ru/ii/vetroehnergetika/>
7. Учебник по физике 8 класс А.В.Перышкин

ПРИЛОЖЕНИЕ



рис.13 ветрогенератор



рис.14 ветрогенератор (вид сверху)



рис.15 ветрогенератор (вид сбоку)

