

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра Математического и компьютерного моделирования

Разработка 3D модели ветродвигателя Дарье

для продувок в аэродинамической трубе

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студентки 4 курса 411 группы

направление 01.03.02 — Прикладная математика и информатика

механико-математического факультета

Новосельцевой Маргариты Евгеньевны

Научный руководитель
доцент, д.ф.-м.н., доцент

А.В. Месянжин

Зав. кафедрой
зав. каф., д.ф.-м.н., доцент

Ю.А. Блинков

Саратов 2023

Введение. Источник энергии можно описать как систему, из которой можно извлекать или генерировать электроэнергию. Существует целый ряд источников энергии, каждый из которых имеет свои характерные преимущества и недостатки. Среди многочисленных источников энергии - энергия, вырабатываемая турбинами, приводимыми в действие ветром. Энергия ветра классифицируется как возобновляемый источник энергии, поскольку ее можно считать неограниченной.

Ветроэнергетика может быть признана за производство экологически чистой энергии. Поэтому, в отличие от некоторых других источников энергии, энергия ветра не загрязняет окружающую среду. Турбины, которые используются для выработки энергии ветра, не производят никаких выбросов в атмосферу.

Растущая тенденция к выбросу парниковых газов и глобальному потеплению побудила ученых исследовать использование возобновляемых источников энергии в качестве подходящей альтернативы ископаемому топливу. Ветроэнергетические установки (ВЭУ) используются в качестве несжимаемых турбомашин для извлечения энергии из энергии ветра. Ветрогенераторы делятся по различным параметрам, среди которых очень распространена классификация, основанная на оси вращения ротора.

По геометрии вращения оси основного ротора их делят на:

- вертикальный тип – турбина расположена вертикально по отношению к плоскости земли;
- горизонтальный тип – ось ротора вращается параллельно земной поверхности.

Целью работы является разработка 3D модели ветродвигателя Дарье для продувок в аэродинамической трубе.

Поставленная цель определила следующие задачи:

1. Изучение теории работы ветродвигателя Дарье и принципов его конструкции.
2. Освоить навыки 3D-моделирования.
3. Проектирование 3D модели ветродвигателя Дарье.

В данной бакалаврской работе будет рассмотрен Н-ротор Дарье – ветродвигатель с вертикальной осью вращения.

Этот тип имеет довольно много как достоинств, так и недостатков, которые будут рассмотрены в первой главе, а так же будет разработан макет ротора для его практических продувок в аэротрубе.

Структура бакалаврской работы.

Работа состоит из четырех разделов и приложения.

В **первом разделе** рассматриваются ветроустановки с вертикальной осью вращения, конструкция ВЭУ с вертикальной осью, дизайн ветродвигателя Савониуса и ветродвигателя Дарье, преимущества и недостатки вертикально-осевых ВЭУ.

Во **втором разделе** более подробно рассмотрены технические характеристики ротора Дарье и его принцип работы.

В **третьем разделе** описываются используемые технологии в данной работе, а именно программа OpenSCAD.

Четвертый раздел посвящен моделированию установки, а также изготовлению деталей ротора.

В **приложении** представлен исходный код программы.

Основное содержание работы.

Энергия ветра — это коммерчески зарекомендовавший себя и быстро развивающийся вид производства электроэнергии. Ветряные турбины обеспечивают чистую, возобновляемую и экономичную электроэнергию по всему миру и быстро становятся основной технологией возобновляемой энергетики после солнечной. Общепринятая классификация ветряной турбины определяется ее осью ориентации:

- ветродвигатель с вертикальной осью;
- ветродвигатель с горизонтальной осью.

Ветряные двигатели с вертикальной осью более привлекательны и лучше подходят для использования в городах и урбанистической среде, где поток ветра менее предсказуем. Это делает ветродвигатель с вертикальной осью гораздо лучшим выбором как для наземной установки, так и для монтажа на зданиях и крышах, которые в противном случае ограничивали бы установку более высоких горизонтальных конструкций.

Отчасти благодаря простой конструкции вертикальных лопастей с низким коэффициентом трения, ветряки с вертикальной осью имеют относительно

низкую скорость ветра, что позволяет им работать в окружении зданий и инфраструктуры независимо от характеристик или направления ветра. Еще одним преимуществом ветрогенераторов с вертикальной осью является то, что они могут быть расположены близко к месту использования, что снижает нагрузку на любую существующую сетевую инфраструктуру, способствуя устойчивости при одновременном снижении любых экологических проблем.

Ветряные двигатели с вертикальной осью вращаются вокруг оси, перпендикулярной ветру, используя множество различных конструкций.

Первоначально конструкции с вертикальной осью использовались для перекачки воды и орошения сельскохозяйственных культур в отдаленных местах, где ветер дует с любого направления и с низкой скоростью. Сегодня ветряные двигатели с вертикальной осью являются эффективным решением для использования в населенных пунктах с нестабильным ветром. Конструкции ветряков подразделяются на два основных типа: Савониус (с приводом от лобового сопротивления) и Дарье (с приводом от подъемника).

Конструкция ветротурбины Савониуса (названной в честь ее финского изобретателя) представляет собой простую конструкцию, основанную на принципе “дифференциального лобового сопротивления”. В роторе Савониуса используются два смещенных полуцилиндрических аэродинамических профиля, полуцилиндры или чашки, установленные вокруг вертикального вала, аналогичного конструкции, используемой в анемометрах скорости ветра.

Как правило, конструкции Савониуса состоят из двух или трех чашек, миск на секцию или двух полуцилиндров, обращенных в противоположных направлениях к ветру, так что они образуют своего рода конструкцию S-образной формы, прикрепленную к вертикальной шахте. Это означает, что он может вращаться только в одном направлении в соответствии с рисунком 1.

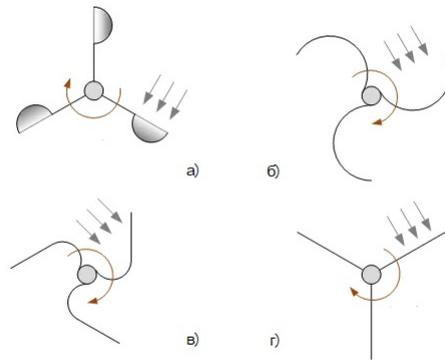


Рисунок 1 — Типы конструкции ротора Савониуса: а) — чашка; б) — изогнутый; в) — аэродинамический профиль; г) — прямой

В роторе ветротурбины Дарье (названной в честь своего французского изобретателя) используются две или три тонкие аэродинамические лопасти, которые выглядят как вертикальные лопасти или конструкция в форме взбивателя яиц, установленная на вертикальном валу в соответствии с рисунком 2а. Лопасти в форме аэродинамического профиля расположены горизонтально вокруг центрального вала в соответствии с рисунком 2б, что обеспечивает лучшие аэродинамические характеристики и гораздо более простую конструкцию, чем у несущего винта Савониуса. В рамках своей конструкции несущий винт может состоять из двух, трех или более прямых, изогнутых лопастей или лопастей в форме крыла. Две прямые лопасти обычно известны как конфигурация с Н-образным лезвием.

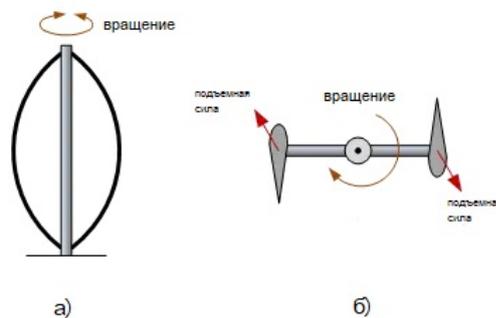


Рисунок 2 — Типы конструкции ротора Дарье: а) — форма лезвия для взбивания яиц; б) — двойная форма лезвия

Перечислим преимущества вертикально-осевых ВЭУ:

1. Не требуют поворота по ветру, поэтому работают лучше в условиях переменного направления и проявляют огромную эффективность в городских условиях;
2. Небольшая высота установки генератора, что уменьшает затраты на установку и обслуживание турбины;
3. Более тихий и вибрирующий, чем ветродвигатели с горизонтальной осью;
4. Вырабатывает электрическую энергию при очень низких скоростях ветра;
5. В этих ветряках возможно создание собственной циркуляции воздуха, за счет чего образуется быстросходный эффект, когда линейная скорость лопастей в 20 и более раз превышает скорость ветра;
6. Вертикальный ветряк безвреден для пчел, птиц и окружающей среды, он может устанавливаться рядом с жильем;
7. Такие ветровые генераторы могут работать бесперебойно даже при сильном штормовом ветре, в то время, когда в подобных условиях горизонтальные ветровые установки автоматически выключаются.

Недостатки:

1. Основным недостатком небольших вертикальных ветровых турбин связано с низкой эффективностью. В то время как горизонтальные системы способны забирать у ветра до 50% энергии, значение для вертикального ротора составляет максимум 40%;
2. Если ветрогенератор установлен рядом с землей, то внизу очень низкая скорость ветра, хотя можно сделать башню, но скорость ветра все равно будет низкой в нижней части ротора. Турбина сама не запускается, ей нужен толчок для начала работы;
3. Из-за вибрации увеличивается износ подшипников, что приводит к увеличению затрат на техническое обслуживание.

OpenSCAD — это программное обеспечение для создания твердых трехмерных объектов САПР.

OpenSCAD предоставляет два основных метода моделирования: во-первых, это конструктивная геометрия твердого тела (CSG), а во-вторых,

экструзия 2D контуров. В качестве формата обмена данными для этих двумерных контуров используются файлы Autocad DXF. В дополнение к 2D-путям для экструзии также возможно считывание параметров конструкции из файлов DXF. Помимо файлов DXF OpenSCAD может читать и создавать 3D-модели в форматах файлов STL и OFF.

Из достоинств данной программы можно выделить: бесплатность программы; низкие требования к аппаратному обеспечению; малый размер дистрибутива, высокая скорость работы; параметрические модели позволяют проектировать гибкий; адаптивный дизайн; сторонние библиотеки позволяют в отдельных случаях сэкономить время на разработку.

Недостатками программы является: для построения 3D модели доступны только простые примитивы; необходимо хорошо документировать параметры, аккуратно разбивать код на функции, следить за форматированием; не выделяется элемент, который в данный момент редактируется. Поэтому сложно найти фрагмент кода, отвечающий за данный элемент, и наоборот, найти, где находится элемент, генерируемый конкретным фрагментом кода.

Для моделирования установки будем использовать программу OpenSCAD.

В установке в качестве крыльев будут использованы аэродинамические профили.

Аэродинамический профиль — это обтекаемый корпус, который способен создавать значительно большую подъемную силу, чем лобовое сопротивление. Крылья, паруса и лопасти воздушного винта являются примерами аэродинамических профилей.

В дальнейшем будет рассматриваться симметричный профиль.

В настоящее время насчитывается несколько тысяч авиационных профилей и их модификаций. Для установки ротора Дарье в качестве аэродинамического профиля был выбран один из профилей от НАСА, т.е. НАСА-0018.

Сечение профиля НАСА-0018 представлено в соответствии с рисунком 3.

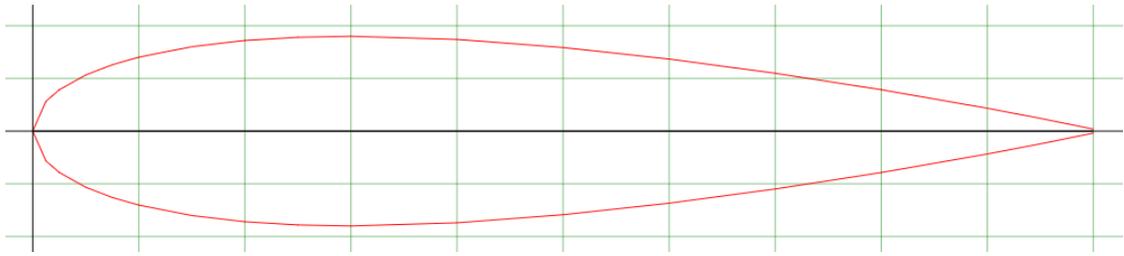


Рисунок 3 — Сечение профиля NASA-0018

Выпишем набор точек для аэродинамического профиля NASA-0018.
Получим модель в соответствии с рисунком 4.

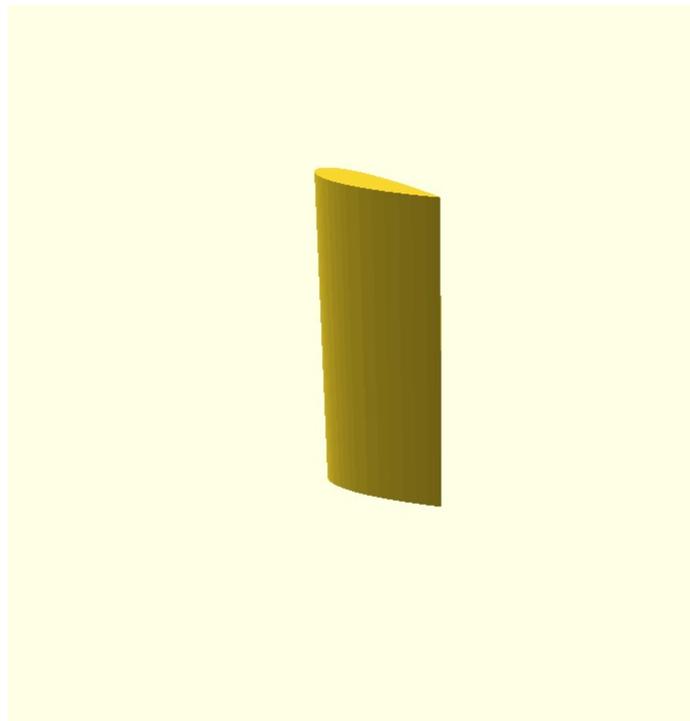


Рисунок 4 — Макет аэродинамического профиля NASA-0018 в OpenSCAD

Для того, чтобы увеличить жесткость профиля, сделаем внутри него два стержня.

Получим результат в соответствии с рисунком 5, с рисунком 6.

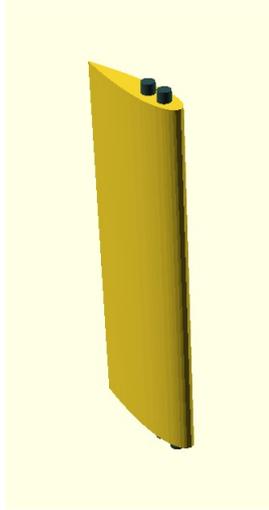


Рисунок 5 — Модель профиля со стержнями

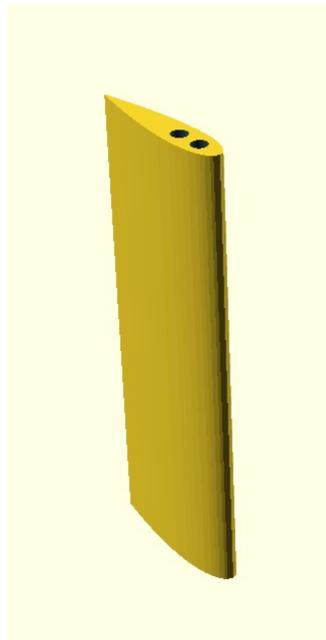


Рисунок 6 — Модель профиля с операцией difference()

Аэродинамический профиль готов, нужно сделать каркас для будущей установки.

Полученная конструкция продемонстрирована в соответствии с рисунком 7.

При установке профиля важным моментом является определение угла атаки — это разницу между тем, куда направлено крыло, и тем, куда оно движется. Модель ротора Дарье, рассмотренная в данной бакалаврской ра-

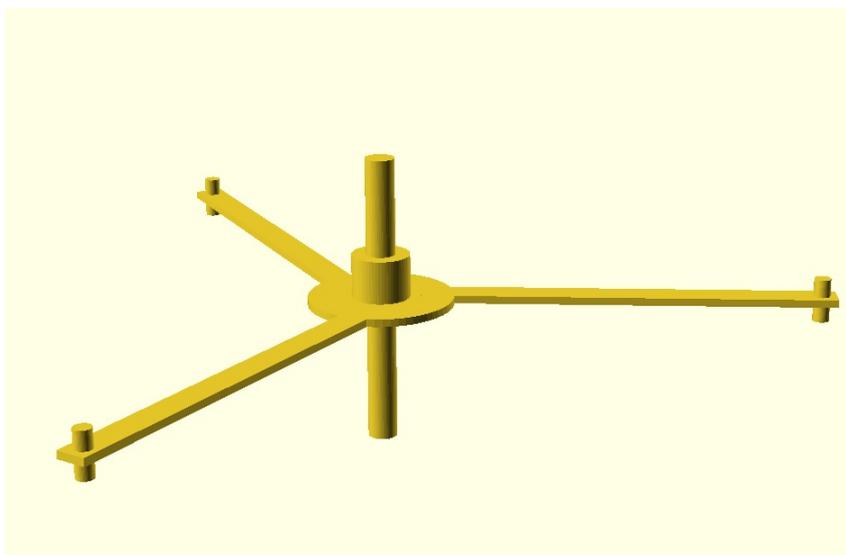


Рисунок 7 — Каркас ротора

боте, позволяет менять угол атаки профиля, для которого можно выбрать необходимые оптимальные характеристики.

Необходимо собрать макет ротора.

Получим модель в соответствии с рисунком 8.



Рисунок 8 — Макет ротора Дарье

Заключение. Ветер является экологически чистым источником энергии, который имеет огромный потенциал, способный удовлетворить потребность в энергии, а также смягчить последствия изменения климата от выбросов парниковых газов, вырабатываемых при сжигании ископаемого топлива. Именно поэтому нужно интенсивнее распространять альтернативные источники энергии, например, ветроустановки.

Ротор Дарье Н-образного типа – наиболее распространенный и технологичный тип ротора. Он отличается высокой быстроходностью, практически бесшумный, а инфразвук полностью отсутствует. Ротор Н-образного типа имеет простую конструкцию, и он надежнее обычного ротора Дарье.

Ротор Дарье имеет ряд неоспоримых преимуществ, но также и много недостатков. Решение и минимизация недостатков устройства дадут возможность конкурировать с роторами горизонтальной ориентации и наравне с ними использоваться в ветроэнергетике.

В ходе данной бакалаврской работы были освоены навыки 3D-моделирования, а именно был смоделирован ротор Дарье типа Н, который в дальнейшем можно использовать для продувок в аэротрубе.