

# Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Інститут інженерної механіки

Кафедра комп'ютеризованого машинобудування

Фарилюк Роман Мирославович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 621  
(індекс)

## МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

“Розробка 3D моделі вітрової установки”

(назва роботи)

Комп'ютеризовані та роботизовані технології машинобудування

(назва освітньої програми)

131-Прикладна механіка

(шифр і назва спеціальності)

Фарилюк Р.М.

(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник : Врюкало Віктор Володимирович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

### Допущено до захисту

Завідувач кафедри

професор

В.Г. Панчук

(посада)

(підпис)

(дата)

(ініціали та прізвище)

Рецензент

(посада)

(підпис)

(дата)

(ініціали та прізвище)

Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

м.Івано-Франківськ-2021 рік

# Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут інженерної механіки  
Кафедра комп'ютеризованого машинобудування  
Освітній рівень магістр  
Спеціальність 131-Прикладна механіка  
(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
**Завідувач кафедри**

\_\_\_\_\_ В.Г. Панчук

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021\_\_ року

## **З А В Д А Н Н Я** **НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ**

Фарилюку Роману Мирославовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи “Розробка 3D моделі вітрової установки”

Керівник роботи: Врюкало Віктор Володимирович доцент к.т.н.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом закладу вищої освіти від “29”жовтня2021 року № 546/7

2. Строк подання студентом роботи 20 грудня 2021 р.

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) \_\_\_\_\_

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) \_\_\_\_\_

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Врюкало В. В., доцент, к.т.н		
2	Врюкало В. В., доцент, к.т.н		
3	Врюкало В. В., доцент, к.т.н		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

Студент \_\_\_\_\_ Фарилюк Р.М.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Врюкало В.В.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

**МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА**

**МР.ПМКм-20.00.00.131.ПЗ**

**Група ПМКм-20-1**

**Фарилюк Роман**

**Мирославовчи**

**2021**

## Реферат

Магістерська кваліфікаційна робота на тему: “Розробка 3D моделі вітрової установки”. Дана робота складається із 60 аркушів. До неї входять 44 рисунків, 2 додатки, використано джерел 21. Було застосовано 3 розділи.

Об’єкт дослідження: Вітрогенератори для перетворення потоку повітря в електроенергію

Предмет дослідження: Вітрова турбіна на основі “Ротор Оніпка”

Мета роботи: Дослідження та покращення роботи вітрогенератора, зокрема всіх його елементів які беруть участь у перетворенні вітрової енергії в електричну. Щоб досягнути даної мети необхідно виконати такі завдання:

1. Аналіз найбільш відомих та ефективних вітрогенераторів
2. Розробити 3D модель конструкції вітрогенератора
3. Визначити методи покращення ефективності роботи вітряка

Методи дослідження: Основними методами при виконанні даної роботи були пошукові аналізи та відбір кращих рішень за системою критеріїв, моделювання структури, компонентів, дизайну тощо. Для створення моделі та її дослідження я використовував комп’ютерний метод автоматизованого проектування та моделювання а саме: Autodesk Inventor, Solid Works, а також метод графічного зображення матеріалу для побудови схем та таблиць.

Наукова новизна: Удосконалено конструкцію ротора вітрової турбіни для підвищення ефективності вітрогенератора.

Ключові слова: вітрогенератор, вітрова установка, лопаті, повітряний потік, вітер, турбіна, генератор, вихоро перетворювач, спіраль архімеда.

# **Abstract**

Master's thesis on the topic: "Development of a 3D model of a wind turbine." This work consists of 60 sheets. It includes 44 drawings, 2 appendices, 21 sources used. 3 sections were applied.

Object of research: Wind generators to convert air flow into electricity

Subject of research: Wind turbine based on "Rotor Onipka"

Purpose: Research and improvement of the wind turbine, in particular all its elements involved in the conversion of wind energy into electricity. To achieve this goal you must perform the following tasks:

1. Analysis of the most famous and efficient wind turbines
2. Develop an accurate model of wind turbine design
3. Identify methods to improve the efficiency of the windmill

Research methods: The main methods in performing this work were search analysis and selection of the best solutions according to a system of criteria, modeling of structure, components, design, etc. To create and study the model, I used the computer method of automated design and modeling, namely: Autodesk Inventor, Solid Works, as well as the method of graphical representation of the material for the construction of diagrams and tables.

Scientific novelty: The design of the wind turbine rotor has been improved to increase the efficiency of the wind generator.

Key words: wind generator, wind turbine, blades, air flow, wind, turbine, generator, vortex converter, Archimedes spiral.



## ВСТУП

Тенденції розвитку технологій та збільшення населення світу призводить до надмірних використань ресурсів для їх існування, одним із видів таких ресурсів є корисні копалини а саме: нафта, газ, кам'яне вугілля – це ресурси, які важаються невідновлювальними. Використання даних ресурсів призводить до екологічної катастрофи: забруднення повітря, ґрунтів, води. Тому альтернативним вибором є використання зеленої енергетики, а саме вітрової та сонячної енергії.

Вітер є найбільш швидкозростаючим джерелом енергії, оскільки він не забруднює навколишнього середовища і немає межі вичерпності. Потужність, яку виробляє вітрогенератор напряду залежить від швикості та інтенсивності вітру, отже у безвітряні дні будуть простої, тому не виключається ризик нестачі та відключення електромережі.

Сонце також є невичерпним джерелом енергетики, і не становить небезпеки навколишньому середовищі. На жаль, у використанні сонячної енергетики є недоліки: необхідність великих земельних ділянок, ефективність у змовий період значно знижується, висока вартість обладнання. З цих міркувань перевагу надамо вітроенергетиці.

Оскільки сучасному машинобудуванню є характерність збільшення продуктивності машин, яка пропорційно пов'язана зі збільшенням швидкохідності та скорочення тривалості перехідних процесів, і збільшенням робочих навантажень, точності виконання робочих операцій, економічність та надійність. Тому висуваються підвищені вимоги до методів розрахунку окремих елементів і систем, що використовуються при конструюванні та проектуванні машин.

Розповсюженими є статичні методи розрахунків але в одних випадках вони ведуть до невиправданого підвищення коефіцієнтів запасу міцності, і як наслідок, до значних збільшень габаритних розмірів та маси машин, а в інших випадках призводять до створення недостатньо надійних машин, які виходять з ладу під дією навантажень. Задовільнити всі вимоги щодо роботи машин можна тільки при сумісному аналізі режимів руху з урахуванням основних силових

факторів. Це входить у задачу прикладної механіки машин, яка складає фундаментальну основу їхнього конструювання. Всю інформацію про явища та об'єкти необхідно певним чином систематизувати і підготувати для аналізування. Це роблять за допомогою моделей і моделювання. “Моделювання — метод дослідження та демонстрації об'єктів, функцій, процесів або явищ за допомогою їх спрощеної імітації. Моделювання це загально-необхідний етап більшості наукових досліджень. Види моделювання: навчальні: тренажери, наглядні засоби, навчальні програми; дослідні: моделі кораблів, літаків тощо для дослідження та покращення їх характеристик; науково-технічні: наприклад, прилад для дослідження розряду блискавки або модель виверження вулкану; ігрові: ділові, економічні ігри; імітаційні: виявлення впливу нового лікарського засобу на тваринах. Моделі можна класифікувати за різними ознаками: призначення, спосіб подання, стан. Матеріальні моделі (їх ще називають предметними, фізичними) відтворюють геометричні та фізичні властивості оригіналу й завжди мають реальне втілення. Інформаційна модель — сукупність інформації, яка описує суттєві для розгляду властивості об'єкта і зв'язок між ними та досліджує можливий стан об'єкта в процесі зміни його властивостей. Вербальна модель — опис об'єкта природною мовою. Знакова модель — інформаційна модель, виражена спеціальними знаками. Графічні моделі призначено для наочного подання об'єктів, процесів, явищ. Математична модель — це система математичних рівнянь, формул, числових множин, які описують деякі властивості реального об'єкта, процесу або явища. Комп'ютерне моделювання — процес створення інформаційних моделей комп'ютерними засобами” [2].

**Актуальність теми:** Вітер – це великий енергетичний потенціал, який можна перетворювати в електроенергію, яку ми використовуємо в побуді а саме: опалювання та охолодження будинків, освітлювання, приготування їжі, для використання техніки, машин тощо., це є невідемна складова більшості людей.

**Мета роботи:** Дослідження та покращення роботи вітрогенератора, зокрема всіх його елементів які беруть участь у перетворенні вітрової енергії в електричну.

Щоб досягнути даної мети необхідно виконати такі завдання:

1. Аналіз найбільш відомих та ефективних вітрогенераторів
2. Розробити точну модель конструкції вітрогенератора
3. Визначити методи покращення ефективності роботи вітряка

**Об'єкт дослідження:** Вітрогенератори для перетворення потоку повітря в електроенергію

**Предмет дослідження:** Вітрова турбіна на основі “Ротор Оніпка”

**Методи дослідження:** Основними методами при виконанні даної роботи були пошукові аналізи та відбір кращих рішень за системою критеріїв, моделювання структури, компонентів, дизайну тощо. Для створення моделі та її дослідження я використовував комп'ютерний метод автоматизованого проектування та моделювання а саме: Autodesk Inventor, Solid Works, а також метод графічного зображення матеріалу для побудови схем та таблиць.

**Наукова новизна:** Удосконалено конструкцію ротора вітрової турбіни для підвищення ефективності вітрогенератора.

**Структура магістерської роботи:** Робота складається із вступу, трьох розділів, висновку, списку використаної літератури та джерел, додатків

# РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

## 1.1 Відновлювальна енергетика

**Альтернативні джерела енергії** – «невичерпні джерела енергії, які існують або періодично з'являються у навколишньому середовищі прикладами є енергія сонця, вітру, геотермальна, аеротермальна, гідротермальна, енергія хвиль та припливів, гідроенергія, енергія біомаси, газу з органічних відходів, газу каналізаційно-очисних станцій, біогазів».[1]

**Біоенергетика** – це «використання енергії біомаси (органіки, яка утворюється за рахунок фотосинтезу). "Зелене паливо" - так інколи називають паливо рослинного походження, сировиною для отримання якого є біомаса. Проте чим більше говорять про біоенергетику, тим частіше поняття "біопаливо" розуміють як рідке біопаливо (біодизель, біоетанол і метанол) та забувають про тверді і газоподібні - біогаз, синтез-газ, піролізні рідини, відходи сільськогосподарської та побутової продукції, залишки переробки деревини. Саме енергетичні рослини, які вирощуються для отримання енергії чи палива, у найближчому майбутньому створять конкуренцію газу та дизелю. До них належать харчові рослини (пшениця і цукрова тростина) і нехарчові (енергетична верба, тополя та багаторічні трави, ріпак, соя, соняшник, кукурудза, льон тощо).

Біомасу як джерело енергії можна використовувати у процесі безпосереднього спалювання деревини, соломи, сапропелю (органічних донних відкладів), а також у переробленому вигляді як рідке (ефіри ріпакової олії, спирти) або газоподібне (біогаз) паливо. Конверсія біомаси у енергоносії може відбуватися фізичними, хімічними та біологічними методами; останні є найбільш перспективними.» [2]

Можна стверджувати, що «біоенергетика - це вибір, який має глобальну перспективу для подальшого успішного розвитку цивілізації. Подолання сучасних і запобігання ймовірним екологічним кризам неможливі без застосування новітніх екобіотехнологій для очищення стічних вод, біосорбції важких металів зі стоків, знешкодження небезпечних газових викидів,

збагачення повітря киснем, використання перспективних засобів знешкодження твердих і рідких промислових відходів, біодеградації пестицидів та інсектицидів, підвищення ефективності методів біологічного відновлення забруднених ґрунтів, заміни низки агрохімікатів на біотехнологічні препарати тощо. Важливими напрямками також мають стати розробка екобіотехнологій, спрямованих на виробництво біогазу та водню з органічних відходів, мікробіологічна деструкція ксенобіотиків, застосування біоіндикації та біотестування в системі екологічного моніторингу.» [2]

**Вітроенергетика** – це “ключова галузь альтернативної енергетики. Енергію вітру люди використовують вже протягом багатьох століть. За типом конструкції вітрові установки бувають вертикальні і горизонтальні. У сучасній вітроенергетиці в основному використовуються горизонтальні вітрогенератори. Вони в свою чергу діляться на однолопатні, дволопатні, трилопатні і багатолопатні. Саме найбільшого поширення набули трилопатеві вітрогенератори, і їх номінальна потужність досягає 7 МВт. Однак в тих районах де швидкість вітру не дуже висока, набули поширення вертикальні вітрогенератори, через те, що використання їх в таких умовах більш продуктивно. Сучасні роторні вітрові установки оснащені новітніми гальмівними механізмами, і вони можуть легко переносити шквальний вітер, не виходячи з ладу. Розвиток вітроенергетики дозволить значно знизити забруднення навколишнього середовища, і зменшити викид в атмосферу CO<sub>2</sub>. Самовідновлювальність цього джерела енергії робить його невичерпним і в ньому закладено величезний потенціал. Хочеться відзначити що, незважаючи на величезну конструкцію вітрогенератора, землі що його оточують можна спокійно використовувати під сільськогосподарські насадження. І також до переваг можна віднести досить просте обслуговування. Але є ще ряд недоліків, які гальмують розвиток і поширення вітрової енергетики. До них можна віднести високу вартість вітрогенераторів. Одним з головних чинників, який істотно впливає на продуктивність вироблення електроенергії – це сила вітру. На жаль людина, не може ніяк на неї впливати. Шум вітрових електростанцій, теж один із головних негативних чинників. Розробникам на сьогоднішній день

вдалося добре впоратися з механічним шумом, який створювався при роботі механізмів, а ось аеродинамічний шум, який виникає при взаємодії вітру з лопастю, поки так і залишився. Не менш важливим недоліком є обмерзання лопастей в холодну пору року або при використанні вітрових установок в місцевості, де обмерзання відбувається часто. Обледеніння лопастей небезпечно тим, що при запуску вітрогенератора відбувається розліт крижин в радіусі 60 м. Тому при таких погодних умовах обов'язково встановлюються попереджувальні знаки, щоб запобігти травматизму. Однак, виходячи з того, що прогрес не стоїть на місці і деякі проблеми поступово вирішуються, вітроенергетика буде стрімко розвиватися. Вона особливо актуальна, де немає централізованого енергопостачання. Особливо ефективно використання вітроенергетики в комплексі з іншими видами альтернативної енергетики” [3]

**Сонячна енергетика** -використання сонячної енергії для отримання енергії в будь-якому зручному для її використання вигляді. Сонячна енергетика використовує поновлюване джерело енергії і в перспективі може стати екологічно чистою, тобто такою, що не виробляє шкідливих відходів.

На сьогодні сонячна енергетика широко застосовується у випадках, коли малодоступність інших джерел енергії в сукупності з достатньою кількістю сонячного випромінювання виправдовує її економічно.

Потік сонячного випромінювання, що проходить через площу  $1 \text{ м}^2$ , розташовану перпендикулярно потоку випромінювання на відстані однієї астрономічної одиниці від центру Сонця (тобто зовні атмосфери) Землі, дорівнює  $1367 \text{ Вт/м}^2$  (сонячна постійна).

Через поглинання атмосферою Землі, максимальний потік сонячного випромінювання на рівні моря --  $1020 \text{ Вт/м}^2$ . Середньодобове значення потоку сонячного випромінювання як мінімум в три рази менше (через зміни дня і ночі і зміни кута сонця над горизонтом). Взимку в помірних широтах це значення в два рази менше. Ця кількість енергії з одиниці площі визначає можливості сонячної енергетики.

Перспективи сонячної енергетики також зменшуються внаслідок глобального затемнення - антропогенного зменшення сонячного випромінювання, що доходить до поверхні Землі.

Отримання електроенергії за допомогою фотоелементів. Для цієї мети застосовують кремнієві сонячні батареї, ККД яких доходить до 20%. Але вартість отримання чистого кремнію досить велика. Кремній, в якому на 10 кг продукту припадає не більше 1 грама домішок коштує стільки ж, скільки збагачений уран для електростанцій, хоча запаси останнього в 100 000 разів менше запасів кремнію. У той же час, "хорошого" кремнію у світі добувають в 6 разів менше, ніж такого ж урану.

З однієї тонни піску, в якому міститься 500 кг кремнію, отримують 50-90 кг сонячного сіліціума. При цьому на отримання 1 кг витрачається близько 250 кВт-годин електроенергії. За новою технологією, розробленою німецькою фірмою Siemens ще в 1979 р., енерговитрати падають на порядок, і вихід продукту збільшується в 10-15 разів. Вартість отримання кремнію при цьому знижується до 10-15 \$ за кілограм. Простий пісок для цієї технології не підходить. Тут потрібні "особливо чисті кварцити", поклади яких в значному обсязі, в основному, знаходяться в Росії.

Такі батареї можна встановлювати на супутниках, автомобілях, крилах літака, вмонтувати їх елементи в годинники, калькулятор, ноутбук. Термін їх служби становить 30 років. За цей час елемент, на виготовлення якого пішов 1 кг сонячного кремнію, може дати стільки ж електроенергії, скільки її може бути отримано при використанні 100 т нафти на ТЕС або 1 кг збагаченого урану на АЕС.

При другому методі встановлюються на території в кілька тисяч квадратних метрів дзеркала-геліостати, які, повертаючись слідом за сонцем, направляють промені сонячного світла на ємність з теплоприймачем (водою). Вода нагрівається, перетворюється в пару, яка крутить турбіну, а остання обертає генератор струму.

Геліотермальна енергетика - це "нагрівання поверхні, що поглинає сонячні промені та подальший розподіл і використання тепла (фокусування

сонячного випромінювання на ємності з водою для подальшого використання нагрітої води в опалюванні або в парових електрогенераторах).

Сонячну енергію можна використовувати для отримання тепла безпосередньо без перетворення в електричну. Установки, які збирають, зберігають і передають тепло, називаються сонячними колекторами. При цьому, на даху будинку, або на його південній стороні встановлюється панель, що складається з трубочок, по яких в спеціальний бак-акумулятор подається вода. Сонце нагріває воду в трубах до 60-70 С, яка накопичується в баку, а звідти надходить для обігріву або гарячого водопостачання.

"Сонячне вітрило" може в безповітряному просторі перетворювати сонячні промені в кінетичну енергію.

Термоповітряні електростанції (перетворення сонячної енергії в енергію повітряного потоку, що направляється на турбогенератор).

Сонячні аеростатні електростанції (генерація водяної пари усередині балона аеростата за рахунок нагрівання сонячним випромінюванням поверхні аеростата, покритої селективно-поглинаючим покриттям). Перевага -- запасу пари в балоні достатньо для роботи електростанції в темний час доби і хмарну погоду." [5]

**Гідроенергетика** - це "область економічної діяльності людини, сукупність великих природних і штучних підсистем, які служать для перетворення енергії потоку води в електричну енергію.

Особливе місце в поновлюваних джерелах енергії в цілому і гідроенергетиці, зокрема, займають електростанції, які використовують енергію припливів, відпливів і океанських течій. Встановлена потужність цих електростанцій на кінець 2018 року становить 519 МВт.

Ключовою концепцією в гідроенергетиці є гідроенергетичний потенціал. Відповідно до визначень WEC (Всесвітньої енергетичної ради), гідроенергетичний потенціал класифікується на валовий теоретичний гідроенергетичний потенціал, загальний технічний гідроенергетичний потенціал та економічний гідроенергетичний потенціал. Діапазон змін гідроенергетичного потенціалу значно відрізняється залежно від регіону та

країни світу. Так, за даними ЄЕС ЕАЕС в регіонах світу максимальний теоретичний гідроенергетичний потенціал в Азії та Океанії (15606 ТВт•год/рік) і мінімальний на Близькому Сході (690 ТВт•год/рік). Для великих країн світу різниця перевищує два порядки величини, а саме: Китай - 6083 ТВт-год / рік (максимум) і Південна Корея - 52 ТВт-год / рік (мінімум).

Гідроелектростанція (ГЕС) - це електростанція, яка перетворює механічну енергію води в електричну.

У структурі встановленої потужності електростанцій в регіонах світу на кінець 2018 року гідроелектростанції становили від 5,2% на Близькому Сході до майже 51% в Центральній і Південній Америці. Діапазон змін цієї частки в структурі встановленої потужності великих країн, наприклад, Бразилії - частка гідроелектростанцій досягає 63,7%, а в Саудівській Аравії немає гідроелектростанцій. Найбільша частка гідроелектростанцій в країнах світу (179 країн), що становить майже 100%, припадає на Парагвай, де встановлена чиста потужність всіх електростанцій становить 8761 МВт, в тому числі гідроелектростанцій - 8760 МВт.

На кінець 2018 року встановлена потужність світових гідроелектростанцій становить 1283,4 ГВт, в тому числі ГАЕС.” [7]

**Геотермальна енергетика:** Тепло земних глибин, відрізняється від інших природних джерел енергії і є одним з надійних самооновлювальних джерел енергії. До сьогоднішнього дня невідомо звідки виникає тепло в глибинних шарах нашої планети, проте існує серед вчених думка, що це пов'язано з радіоактивним розпадом в земній корі і мантії. Чим глибше в надра земної кори, тим сильніше зростає температура. Розрізняють два способи видобутку тепла і використання його в господарстві – це гідротермальний і петротермальний способи

Гідротермальний спосіб

В гідротермальному способі джерело енергії – це тепло, яке йде від ґрунтових вод. Велика частина гідротермальних станцій влаштована простим способом отримання енергії. Ґрунтові води піднімаються по свердловині вгору, і закачуються в випарювач. Пар, який утворився після випарювача, активізує

турбіну електрогенератора. Тим часом відпрацьована і охолоджена вода по іншій свердловині закачується назад, так нагрівається, весь цикл повторюється знову по колу. Енергію ґрунтових вод використовують не тільки для виробництва електроенергії, але і як опалення. Такий спосіб виробництва енергії не залежить від погодних умов, пори року та інших факторів і є нескінченним джерелом енергії. Якщо правильно і раціонально його використовувати, то він абсолютно нешкідливий для навколишнього середовища. Але є деякі і недоліки в гідротермальному способі видобутку енергії, один з яких це дорожня гідротермальних станцій і зведення їх доцільне в обмеженому ряді регіонів, виключно тільки де геотермальні джерела знаходяться недалеко від поверхні.

#### Петротермальний спосіб

Цей спосіб дає можливість уникнути тих недоліків, які є в гідротермальному способі видобутку енергії. Джерелом енергії в петротермальному способі видобутку енергії є висока температура породи землі на глибині декількох кілометрів вглиб. А сам принцип роботи такий же, як і в попередньому способі. По свердловині вглиб закачується холодна вода, в глибині породи вона нагрівається і піднімається вгору, діючи на турбіну, тим самим приводячи її в рух. Чим гарний цей спосіб на відміну від попереднього, тим що його можна використовувати на 20% планети, він не прив'язаний до зон локалізації геотермальних джерел. Але цей спосіб важко технічно реалізувати. Дуже дорого бурити свердловини на кілька кілометрів вглиб, а також не менш важко закачувати туди холодну воду. Та й самі свердловини піддаються деформації в процесі тектонічних рухів ґрунту.

Але є ще один спосіб отримання тепла - за допомогою теплових насосів. Тут відбувається відбір тепла з невеликих глибин. Теплові насоси, які тут використовуються, відрізняються від промислових наявністю хладо-агента з низькою температурою кипіння. Однак цей спосіб застосовується для опалення невеликої кількості будинків і не підходить для використання в промислових масштабах.

Можна з упевненістю сказати, що геотермальна енергетика не замінить традиційного способу виробництва енергії, а дорожня технологія видобутку тепла і неможливість використання в будь-якій земній точці гальмують її розвиток і впровадження. Однак вона буде все одно розвиватися, можливо не так активно, як інші альтернативні джерела енергії, а використання теплових насосів в геотермальній енергетиці дає поштовх розвивати будинки з автономним енергопостачанням і опаленням. [4]

## **1.2 Історія виникнення вітряків**

Сила вітру - є одним із старовиніших джерелом енергії. Ще 3500 років до нашої ери мореплавці використовували силу вітру для морських подорожей під вітрилами. 2200 років назад прості вітряки були широко розповсюджені в Китаї. А на Середньому Сході, в Персії, близько 200 року до н.е. почали використовуватися вітряки з вертикальною віссю для перемелювання зерна. Перші персидські вітряки виготовлялися з в'язанок очерету, які прикріплялися до дерев'яної рами, що оберталася, коли дув вітер; стіна навколо вітряка спрямовувала потік вітру проти лопатей.

В XI столітті в Європі почали поширюватися вітряки, що завозилися мандрівними купцями та лицарями з хрестових походів. Ці перші млини постійно вдосконалювалися, спочатку голландцями, потім англійцями, і врешті набули конструкції з горизонтальною віссю. Жителі Голландії виявили, що вітром дуже зручно користуватися для відкачування води, щоб осушити землю, що для цієї країни, яка розташована в низинах і тому потерпає від повеней, є дуже актуальним. Найбільш активно в допромисловій Європі вітряки використовувались у XVIII столітті, коли лише в одній Голландії їх було понад сто тисяч. З їхньою допомогою мололи зерно, качали воду й пиляли дрова. Згодом більшість вітряків, нездатних конкурувати з дешевим і надійним викопним паливом, було замінено паровими двигунами. Однак і сьогодні вітряки використовуються досить широко.

В історії Сполучених Штатів вітряки відіграли дуже важливу роль в освоєнні Заходу Америки наприкінці XIX століття. Вони були життєво

необхідні першим поселенцям Великих рівнин. Вітряки поставляли воду на залізницю та пасовища, в місця, віддалені від рік і джерел води. Пізніше вітряки стали використовувати у віддалених від населених пунктів господарствах для вироблення електричної енергії. За останні 100 років американці створили понад 8 мільйонів вітрових установок для водопідняття, призначених у більшості випадків для пасовищ і худоби.

У старих вітряків лопаті були дерев'яними і могли використовувати близько 7% енергії вітру. Завдяки новаторській праці Томас Перги, який наприкінці ХІХ століття провів близько 5000 експериментів з різними видами "колеса" (тобто ротора), дерев'яні лопаті поступилися місцем лопатям з вигнутого металу, що збільшило ефективність установок вдвічі - до 15%.

Використовували енергію вітру з давніх часів і в Україні. 1917 року тут було близько 30 тисяч вітряків, потужність яких становила близько 200 тис. кВт.

Перша в Радянському Союзі вітроелектростанція потужністю 8 кВт була побудована в 1929-1930 р. біля Курська, згідно проекту інженерів А. Г. Уфимцева і В. П. Ветчинкіна. Через рік в Криму була побудована велика ВЕС потужністю 100 кВт., яка була для тої епохи найбільшою вітроелектростанцією в світі. Вона успішно проробила 1942 р., втім в епоху війни була зруйнована. Разом з цим широко використовувалися невеликі вітрогенератори, потужністю до декількох кіловат. Річне виробництво вітродвигунів потужністю до 5 кВт на Херсонському заводі сільськогосподарських машин досягало 2 тисяч в рік. Взагалі ж в 30-х роках розвитку вітроенергетики в Радянському Союзі приділялася значна увага, досліджувалися і розроблялися нові типи вітродвигунів. Але в 40-х роках навчилися використовувати атомну енергію, в 1954 році під Москвою була побудована перша в світі атомна електростанція, і в цій ейфорії нових можливостей про використання енергії вітру забули на 40 років.

В кінці 80-х років - після Чорнобильської катастрофи при одночасно наростаючій енергетичній кризі зріс статус вітроенергетики в світі як екологічно чистого джерела енергії. В Радянському Союзі оновилися роботи

над створенням ефективних вітрогенераторів потужністю 30, 60, 100, 250, 1000 і навіть 1500 кВт. Під Києвом у 1986 році була споруджена перша експериментальна ВЕС потужністю 160 кВт. У 90-х роках було заплановано будівництво ряду вітроелектростанцій поблизу Ленінграда (25 мВт), в Казахстані (15 мВт), Криму (12,5 мВт), Дагестані (6 мВт), але після розвалу СРСР ці плани не реалізувалися.

Значні успіхи були досягнуті в створенні ВЕС і за кордоном. У багатьох країнах Західної Європи побудовані досить великі установки в 100-200 кВт. У Франції, Данії і в деяких інших країнах були введені в експлуатацію ВЕС із номінальними потужностями понад 1 МВт.

Найширший розвиток вітроенергетика отримала в США. Ще в 1941 р. там була побудована перша ВЕС потужністю 1250 кВт. У 1978 р. в США була створена перша експериментальна ВЕУ мегаватного класу з розрахунковою потужністю 2 МВт. Услід за цим в 1979-1982 р. в США побудовані і випробувані 5 ВЕУ, потужністю 2,5 МВт. Найбільша для того часу ВЕУ «Гровіан» потужністю 3 МВт була побудована в Німеччині в 1984 р., але, на жаль, вона виконала лише декілька сотень годин. Побудовані трохи пізніше в Швеції ВЕУ Wts-3 і Wts-4 потужністю 5 і 4 МВт були встановлені в Швеції і США і проробили 20 і 10 тис. годин відповідно.

У Канаді ведуться роботи згідно створення великих вітрових установок із вертикальною віссю (ротор Даріні). Одна з таких вітроустановок потужністю 4 МВт проходить випробування з 1987 р. Протягом 1993-2001 р. в світі було побудовано близько 25 ВЕУ класу «мегават».

Сьогодні в деяких промислово розвинених країнах потужність вітроелектростанцій досягає помітних значень. Так, в США виробляється більше 1,5 млн. кВт. вітрові електростанції, в Данії виробляють близько 3% спожитої країною енергії; найбільша потужність ВЕУ в Швеції, Нідерландах, Великобританії і Німеччині.

У міру вдосконалення обладнання ВЕУ і наростання обсягу їх випуску вартість ВЕУ, а отже і вартість виробленої ними електроенергії знижуються. Якщо в 1981 р. вартість електроенергії виробленої ВЕУ, складала приблизно 30

американських центів за 1 кВт/год, то нині вона складає 6-8 центів. З урахуванням того, що лише в 2001 р. в США велися роботи на чотирьох великих вітрових фермах із спільною потужністю приблизно 200 МВт, стає ясно, яке плановане Департаментом Енергетики США зниження вартості вітрової електроенергії.

У багатьох розвинених країнах існують Державні програми розвитку поновлюваних джерел енергії, в тому числі і вітроенергетики. Завдяки цим програмам фінансуються науково-технічні, енергетичні, екологічні, соціальні і освітні програми. Генераторами проектів поновлюваних джерел енергії в Європі є дослідницькі центри (Riso, SERI (у даний час NREL), Sandia esn, TNO, NLR, FFA, D(FV) LR, CIEMAT і ін.), університети і зацікавлені компанії.

У 1994 році в Мадриді для конференції «Генеральний привід розвитку поновлюваних джерел енергії в Європі» країнами Європейського Союзу була прийнята декларація. У ній були сформульовані цілі згідно досягненню 15% рівня використання поновлюваних джерел енергії в спільному вжитку енергії в країнах Європейського Союзу до 2010 р. У 1994 р. в країнах Європейського Союзу встановлені потужні сонячні батареї, міні гідроелектростанції і вітроенергетичні установки.

Поставлені цілі досягаються вирішенням задач в області політики, пільгового податкового законодавства, державної фінансової підтримки внаслідок науково-технічних програм, пільгового кредитування, створення інформаційної мережі, системи освіти, стажувань, просування високих технологій, створення робочих місць для виробництва.

Прогноз складений на підставі аналізу темпів приросту встановленої потужності різних видів поновлюваних джерел енергії в країнах Європейського Союзу. Частка вітрової енергії досить бути згідно песимістичній оцінці 15%, згідно оптимістичній оцінці 16%.

Найбільш ефективними згідно нарощуванню сумарних потужностей вітроелектростанцій є програми країн Європи, Китаї, Індії, США, Канади.

Щорічна потужність встановлених вітроелектростанцій в країнах Європи складає 400 МВт. Більше 10 найбільших банків Європи інвестують вітроенергетичну

індустрію. Більше 20 великих Європейських приватних інвесторів фінансують вітроенергетику.

### **1.3 Вітроенергетика. Перспективи та недоліки**

Енергія вітру “вічно поновлювана й невичерпна, поки гріє Сонце. Вітер утворюється на землі в результаті нерівномірного нагрівання її поверхні Сонцем. Повітря над водною поверхнею впродовж світлої частини доби залишається порівняно холодним, оскільки енергія сонячного випромінювання витрачається на випаровування води та поглинається нею. Над сушею повітря нагрівається завдяки тому, що вона поглинає сонячну енергію менше, ніж поверхня води. Нагріте повітря розширюється і піднімається вгору, а його заміняє холодне повітря від поверхні води. Вночі суша охолоджується швидше, ніж вода, і температура над водою буде вище, ніж над сушею. Тому вітри міняють свій напрямок, і холодне повітря суші витісняє нагріте повітря водної поверхні. Аналогічно відбуваються зміни напрямку вітрів у гірській місцевості, де протягом дня тепле повітря піднімається вздовж схилів, а вночі холодне повітря спускається в долини. Повітря циркулює й внаслідок обертання Землі: його рух відбувається в напрямку, протилежному напрямку руху годинникової стрілки в північній півкулі, та за напрямком руху годинникової стрілки - в південній. Вітер є незвичайним енергоносієм, невичерпним, але який має безліч складних і слабо передбачених фізичних параметрів для кожного окремо взятого географічного місця. У опис вітру, окрім середньорічної і максимальної швидкостей, слід взяти до уваги характеристики що враховують внутрішню структуру повітряного потоку такі як: «троянда вітрів», поривчастість, щільність повітря, турбулентність, температуру і різновекторні течії по висоті.

Вітровий потенціал у різних районах України визначено національним вітроенергетичним кадастром, який містить показники швидкості вітру (середньорічні і середньомісячні), обумовлені результатами багаторічних наукових спостережень, повторюваність швидкості вітрових напрямів протягом року, місяця, доби і так далі. В приземному шарі середньорічна швидкість вітру на території України досить низька – 4,3 м/с. [6] Більшість вітроагрегатів починають виробляти промисловий струм лише починаючи зі швидкості вітру

5 м/с. Якщо врахувати, що вони можуть використати енергію вітру до висоти 50 м (на деякій висоті від поверхні швидкість вітру зростає), то енергетичний потенціал на території України складає велетенську величину 330 млрд. кВт і перевищує встановлену потужність електростанцій України в 6 тисяч разів. Зрозуміло, ніхто не допускає думки про можливість його повного використання, але все одно ця величина вражає. Хоча, слід зазначити, що це орієнтовні розрахункові дані, оскільки прямі виміри швидкості вітру на висотах вище за щоглу флюгера одиничні. В таблиці 1.2 наведено дані про питомий енергетичний потенціал вітрової енергії в Україні та на рисунку 1 зображено дані по всій території нашої країни.” [6]

Таблиця 1.2. Енергетичний потенціал вітрової енергії в Україні

№ району	Середньорічна швидкість вітру, $V_{cp}$ , м/с	Висота, м	Природний потенціал вітру, кВт*год/м <sup>2</sup> рік	Технічно-досяжний потенціал вітру, кВт*год/м <sup>2</sup> рік
1	<4,25	15	1120	200
		30	1510	280
		60	2030	375
		100	2530	460
2	4,5	15	2010	390
		30	2710	520
		60	3640	700
		100	4540	850
3	5,0	15	2810	520
		30	3790	690
		60	5100	860
		100	6350	975
4	5,5	15	3200	620
		30	4320	830
		60	5810	1020
		100	7230	1150

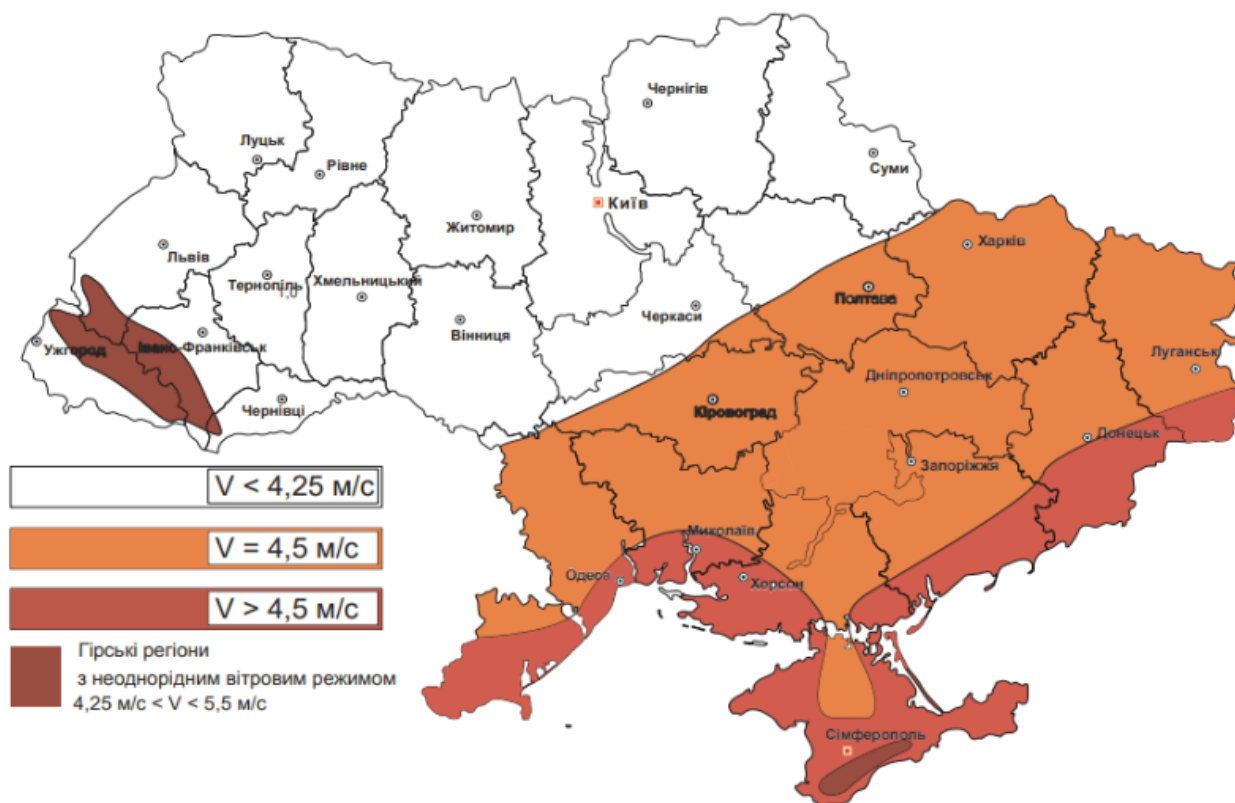


Рисунок 1 – Карта швидкості вітру на території України

Згідно отриманими даними можна зробити висновок: південа території України та наш регіон є придатною для побудови та розробок вітрогенераторів.

### Переваги вітроенергетики

#### 1. Невичерпний і поновлювальний ресурс:

Оскільки вітер - це природний ресурс, який не закінчується, енергія вітру невичерпна, тому завжди можна розраховувати на джерело, яке породжує енергію.

Отже, вітрогенератори можуть працювати протягом років, тому що завжди буде присутній вітер, який живитиме їх.

#### 2. Економія:

Енергія вітру знижує ціни споживання електроенергії на ринку порівняно з цінами, що надходять на викопне паливо. Це пов'язано з тим, що його виробничі витрати постійно зменшуються завдяки технологічному прогресу, який розробляється для підвищення його ефективності.

Крім того, інвестиції на встановлений кВт-год дуже привабливі, враховуючи, що вітер вільний.

### 3. Чистота:

Енергія вітру вважається найчистішою з усіх відновлюваних джерел енергії, оскільки вона не утворює жодних видів відходів, тому її виробництво не спричиняє забруднення, не впливає на екосистеми та не сприяє глобальному потеплінню.

Оскільки воно не відбувається від спалювання викопного палива, то під час його генерації не виділяються токсичні гази, що зменшує парниковий ефект. Жодні відходи не викидаються на землю, що дозволяє уникнути її забруднення, а також води.

### 4. Альтернативна:

Оскільки це зменшує споживання викопного палива, це позитивно впливає на зміни клімату.

Крім того, вітер має кращі показники взимку, оскільки він зазвичай сильніший у цей сезон. Це корисно, оскільки це час, коли для використання систем опалення та освітлення потрібно більше електроенергії.

### 5. Безпека:

Оскільки вітер не утворює жодних видів токсичних відходів і, крім того, не становить небезпеки у випадку аварії, він вважається одним із джерел енергії, що забезпечує більшу безпеку як для тих, хто працює, так і тих, хто знаходиться біля вітрогенераторів.

Однак поводження з системами генерації вітроенергетики вимагає спеціалізованих рук, особливо з експлуатації та обслуговування її компонентів.

### 6. Доступна реалізація:

На відміну від сонячної енергії, вітрогенераторні парки не потребують встановлення великих площ, що робить їх дуже ефективними.

Також технологія, необхідна для встановлення та видалення вітроелектростанцій, є дуже простою, а значить, енергію, яку дуже легко генерувати.

## **Недоліки вітроенергетики**

1. Шум: парки вітрогенераторів викликають багато дратівливого шуму, тому їх зазвичай будують подалі від населених центрів, щоб не викликати цієї неприємності.

Останнім часом були вдосконалені турбіни, які значно знизили шумове забруднення, яке вони створюють.

2. КДК: оскільки щільність вітру низька, для по-справжньому вигідного виробництва електроенергії потрібна висока концентрація вітрогенераторів, що працюють одночасно.

3. Непередбачуваність: оскільки воно породжене дією вітру, дуже складно спланувати його управління, оскільки не завжди виникають течії вітру, і навіть не можливо мати деяку стабільність у швидкості.

Це також покращилось із досягненням метеорології, але досі немає інструменту, який би був абсолютно точним, щоб знати, якою буде поведінка вітру.

Щоб пом'якшити цей недолік, час проведення досліджень, пов'язаних з поведінкою вітру в певних районах, було подовжено, але будучи настільки міцним, передбачити багато років наперед неможливо.

4. Зберігання: це енергія, яку неможливо зберігати, тому необхідно негайно споживати електроенергію, яку вона виробляє.

З цієї причини досі енергія вітру не може повністю вважатися заміною інших видів енергії.

5. Транспортування: оскільки парки вітрогенераторів зазвичай встановлюються далеко від населених центрів або центрів з більшим споживанням, при їх встановленні необхідно враховувати все планування енерготранспортної системи для того, щоб вона негайно дійшла до споживачів. Це призводить до невеликих втрат енергії, а також додаткових витрат.

При низьких рівнях напруги втрати на нагрівання в провіднику часто є визначальним фактором доцільності проектів такого типу.

6. Розсіювання: для деяких людей це може бути причиною зорового забруднення, наприклад, бачачи скупчення вітрогенераторів на вершині гори, що порушує мирне оточення.

Саме тому будівництво вітрогенераторних парків має естетичний вплив на ландшафт, що може заподіяти незручності місцевому населенню.

7. Небезпека для тварин: коли турбіни працюють, їх лопаті становлять реальний ризик для птахів і кажанів у цьому районі, оскільки, якщо вони зіткнуться з вітровою турбіною, це, безумовно, спричинить смерть.

Ця небезпека зазвичай є прапором організацій захисту тварин, які виступають проти будівництва вітрогенераторних парків.

#### **1.4 Особливості горизонтально-осьових вітрогенераторів**

Вітрогенератори бувають двох типів: вертикально та горизонтально осьові.

На рисунку 2 зображено приклад трилопатевого вітрогенератора, а на рисунку 3 – багатолопатевого вітрогенератора



Рисунок 2 - Горизонтально-осьовий трилопатевий вітрогенератор

Трилопатеві горизонтально-осьові ВЕУ є найбільш поширеними з пропонуваних на ринку вітряків. Їх номінальна потужність складає від декількох ватів до 7 МВт. Всі вітроенергетичне обладнання великої потужності (від 500 кВт і вище) представляють трилопатеві горизонтально-осьові

вітрогенератори. На сьогоднішній день, вітроустановкою, що має найбільшу номінальну потужність, є трилопатева Enercon E-126, номінальною потужністю 7 МВт.[10]



Рисунок 3 - Горизонтально-осьовий багатолопатевиий вітрогенератор

Багатолопатеви ВЕУ мають велику кількість лопатей, яке у деяких моделях може досягати 50 одиниць. Ротор цих вітрогенераторів має великий момент інерції, внаслідок чого, має більш низькі швидкості обертання, але при цьому, розвиває більш високий крутний момент. Ця їхня особливість є перевагою при роботі в вітронасосних системах, саме в цій галузі промислового застосування вони зайняли нішу. [10]

Великий відсоток технологій та удосконалень, які сьогодні є в вітроенергетиці, пов'язані із вітрогенераторами із горизонтальною віссю обертання вітрового колеса, як в сучасній водяній турбіні, де потік води паралельний осі обертання турбіни. Такий відсоток, тому що майже всі комерційні установки спроектовані за даним типом вітрогенератора.

**Переваги вітрогенераторів із горизонтальною віссю обертання:**

- вища продуктивність на ефективність;
- змінна висота лопаток;
- можливість будувати вітрогенератори на високих баштах;

– швидша окупність в порівнянні із вертикальними вітрогенераторами.

### **Недоліки вітрогенераторів із горизонтальною віссю обертання:**

- через великі габарити вартість значно зростає через важкість транспортування усіх необхідних матеріалів;
- більш шумні в порівнянні із вертикальними;
- більшість критикує даний тип вітрогенераторів через жахливий дизайн та естетику;
- сприйняття потоку вітру тільки із одного боку;
- небезпечний для птахів та комах.

### **1.5 Особливості вертикально-осьових вітрогенераторів**

Вертикальні вітрогенератори використовуються здебільшого в приватних ділянках, за рахунок своїх розмірів. В порівнянні із горизонтальними вітрогенераторами, даний тип малих і середніх розмірів.

Найбільшою популярністю в вітрогенераторів із вертикальною віссю

обертання користуються два види роторів [6]:

- ротор Дар'є, що зображений на рис.4;
- ротор Савоніуса, що зображений на рис. 5;

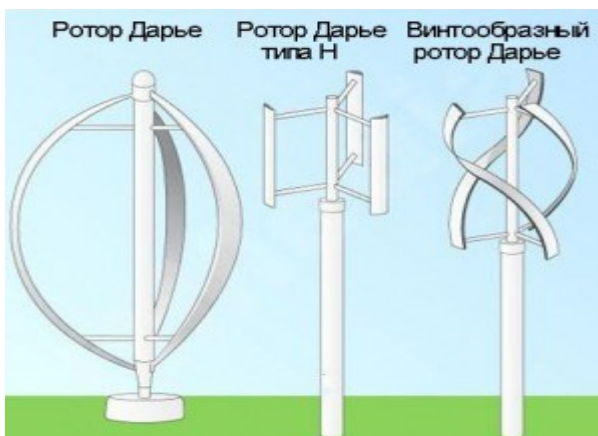


Рисунок 4 - Ротор Дар'є

Рисунок 5 – Ротор Савоніуса

Обертальний момент в роторі Дар'є створюється за рахунок підйомної сили.

Ротор зазвичай складається із декількох лопатей, які в перерізі мають аеродинамічний профіль. Одним із головних недоліків даної конструкції є те, що вітрогенератор потрібно спочатку обернути за рахунок генератора або спеціального двигуна. Саме через цей фактор даний тип не користується великою популярністю у користувачів.[6]

Конструкція ротора Савоніуса відрізняється простою формою лопатей від свого конкурента. Обертальний момент в даному типі утворюється за рахунок різниці моментів опори, що створюються на увігнутих і опуклих лопатях. Даний тип конструкції вертикального вітрогенератора користується популярністю за рахунок простої конструкції і дешевизни під час виготовлення.[6]

Основними теоретичними перевагами вітрогенератора із вертикальною віссю є:

- набагато нижча конструкція та габаритні розміри;
- можуть сприймати потоки вітру із різних сторін;
- кращі обслуговуванні за рахунок низької конструкції;
- починають працювати при малій швидкості вітру;
- в порівнянні із горизонтальними вітрогенераторам набагато тихіші;
- висока ефективність при генеруванні вітру із переривами;
- широкий спектр застосування;
- не заважає життю птахів та комах через низький шум та низьку конструкцію.

Недоліки:

- продуктивність нижча чим у вітрогенераторів із вертикальною віссю обертання;
- найпотужніші потоки вітру знаходяться на висоті, отже виникає потребу встановлювати їх у місцях, де постійно є потоки вітру.

## **1.6 Будова вітрогенератора**

Розглянемо будову вітрогенератора на основі горизонтально-осьового трьох лопатевого вітрогенератора рисунок 6

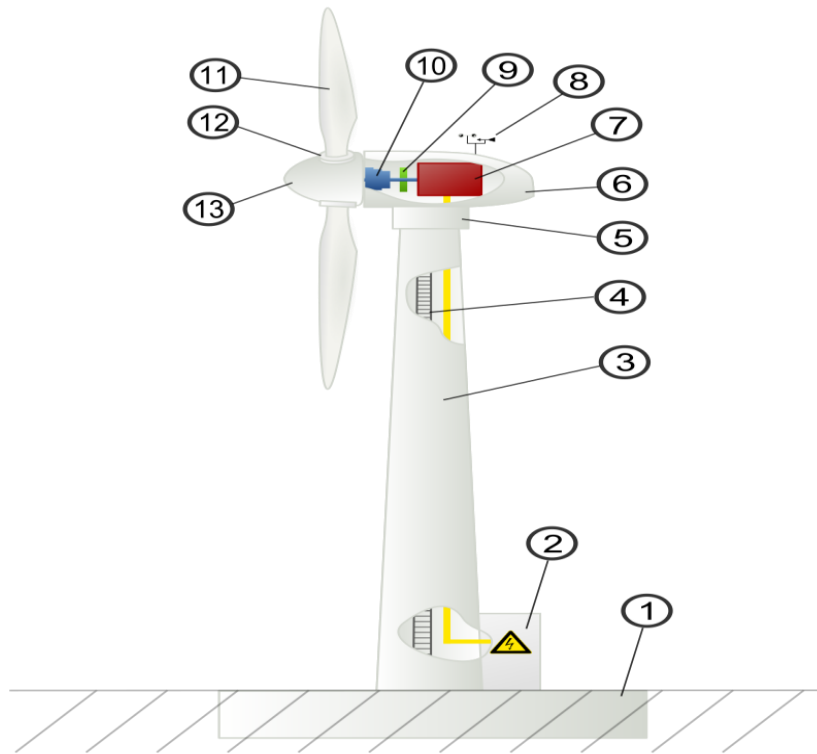


Рисунок 6 - Будова вітрогенератора

Конструкція трьох лопатевого вітрогенератора:

1. фундамент,
2. силова шафа, що включає силові контактори й ланцюги керування,
3. вежа,
4. сходи,
5. поворотний механізм,
6. гондола,
7. електричний генератор,
8. система спостереження за напрямком і швидкістю вітру (анемометр),
9. гальмівна система,
10. трансмісія,
11. лопаті,
12. система зміни кута атаки,
13. ковпак ротора.

До основних компонентів системи, без яких робота вітрогенератора (ВЕУ, вітряка) неможлива, відносять наступні елементи:

Генератор - необхідний для заряду акумуляторних батарей. Від його потужності залежить, як швидко будуть заряджатися ваші акумулятори. Генератор необхідний для вироблення змінного струму. Сила струму і напруга генератора залежить від швидкості і стабільності вітру.

Лопаті - приводять в рух вал генератора завдяки кінетичної енергії вітру.

Щогла - зазвичай, чим вище щогла, тим стабільніше і сильніше сила вітру. Звідси випливає - чим вище щогла, тим більше вироблення генератора. Щогли бувають різних форм і висот.

Додаткові необхідні компоненти вітрогенератора (ВЕУ, вітряка):

Контролер - керує багатьма процесами вітроустановки, такими, як поворот лопатей, заряд акумуляторів, захисні функції та ін. Він перетворює змінний струм, який виробляється генератором в постійний для заряду акумуляторних батарей.

Акумуляторні батареї - накопичують електроенергію для використання в безвітряні години. Також вони вирівнюють і стабілізують вихідна напруга з генератора. Завдяки їм ви отримуєте стабільну напругу без перебоїв навіть при поривчастим вітром. Харчування Вашого об'єкту йде від акумуляторних батарей.

Анемоскоп і датчик напрямку вітру - відповідають за збір даних про швидкість і напрям вітру в установках середньої та великої потужності.

АВР - автоматичний перемикач джерела живлення. Виконує автоматичне перемикання між декількома джерелами електроживлення за проміжок в 0,5 секунди при зникненні основного джерела. Дозволяє об'єднати вітроустановку, громадську електромережу, дизель-генератор і інші джерела живлення в єдину автоматизовану систему. Важливо: АВР не дозволяє працювати мережі одного об'єкта одночасно від двох різних джерел живлення!

Інвертор - перетворює струм з постійного, який накопичується в акумуляторних батареях, в змінний, який споживає більшість електроприладів.

Комплектуються вітрогенератори турбіною, щоглою, лопатями, кріпленнями, поворотним механізмом, контролером, датчиком напрямку вітру. Акумулятори, інвертор і додатково обладнання підбираються індивідуально.

## РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА ТА МОДЕЛЮВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ВІТРОГЕНЕРАТОРА

### 2.1 Середовище моделювання

Для створення 3D моделі я використовував середовище моделювання Solid Works 2018

SolidWorks – це система гібридного параметричного моделювання, яка призначена для проектування деталей у тривимірному просторі з можливістю проведення різних видів експрес-аналізу, а також оформлення конструкторської документації відповідно до вимог ЄСКД. Основне призначення SolidWorks – забезпечення нас-крізного процесу проектування, інженерного аналізу і підготовки виробництва виробів будь-якої складності і призначення, включаючи створення інтерактивної документації і забезпечення обміну даними з іншими системами.

Комплексні рішення SolidWorks «базуються на передових технологіях параметричного моделювання, інтегрованих засобах електронного документо обігу SolidWorks Enterprise PDM, а також на широкому спектрі спеціалізованих модулів. Програмне забезпечення має російську локалізацію, працює на платформі Windows XP і Vista. Випуск конструкторської документації повністю відповідає вимогам ЄСКД. Завдяки потужним можливостям і доступній ціні, система швидко впроваджується у виробництво, забезпечуючи швидку окупність вкладених коштів.

Твердотільне і поверхневе параметричне моделювання:

- двонаправлена асоціативність моделі та креслення; управління моделлю і пошук елементів за допомогою дерева конструювання Feature Manage;

- можливість створення декількох виконань виробу в єдиному файлі моделі;

- багатотільні деталі; створення масивів елементів – кругових і лінійних, керованих таблицями і ескізами;

- моделювання поверхонь: обрізка, видовження і зшивання, перетворення замкнутого об'єму поверхонь на тверде тіло; вирізи і додавання матеріалу з використанням поверхонь;

- створення допоміжних площин, осей, координатних систем, кривих, ескізів, 3D-сплайнів;

- використання технологій Windows: контекстні меню, cut-and-paste, drag-and-drop.

Проектування деталей:

- єдина бібліотека фізичних властивостей матеріалів, текстур і штриховок;
- моделювання на основі об'ємних елементів; управління історією побудови моделі; ручне і автоматичне нанесення розмірів; динамічне внесення змін в режимі реального часу;

- технологія (SWIFT™): за допомогою функцій SketchXpert, FeatureXpert, FilletXpert, DraftXpert і MateXpert автоматично визначаються і вирішуються проблеми, які виникають у користувачів-початківців при моделюванні;

- моделювання просторових трубопроводів і каналів з використанням тривимірних ескізів;

- використання бібліотек стандартних елементів; автоматичне генерування отворів з цековкою, зенковкою, різьбових та ін.

Проектування збірок:

- робота в контексті зборки; проектування "знизу вгору" і "зверху вниз";
- визначення взаємного положення деталей у складі збірки, автоспряження (SmartMates), автокріпежі (SmartFasteners);

- спеціальний режим для роботи з великими зборками (десятки / сотні тисяч компонентів); легковагові зборки і підзборки;

- кругові, лінійні і похідні масиви компонентів, вирізи і отвори як елементи зборки;

- об'єднання деталей зборки в одну, зварювання в зборці;

- можливість контекстної заміни компонентів, реструктуризація збірок (формування і розпуск підборок).

Проектування виробів з урахуванням специфіки виготовлення:

- Листовий матеріал – отримання розгорток, в тому числі для циліндричних, конічних і лінійчатих листових деталей; моделювання "від деталі до розгортки" і "від розгортки до деталі"; автоматичне додавання вирізів

для зняття напружень у гострих кутах; поповнювані бібліотеки стандартних штамповок і вирізів в листових деталях; настроювані таблиці згинів.

- Прес-форми та штампи – аналіз ухилів; формування ліній і поверхонь роз'єму; автоматична генерація матриці і пуансона; завдання ізотропної і анізотропної усадки при проектуванні ливарних і прес-форм.

- Зварні конструкції – проектування рамних або ферменних конструкцій за довільним набором плоских або тривимірних ескізів у файлі деталі; використання специфічних конструкційних елементів: оброблення під зварювання, кінцеві заглушки, косинки і елементи зварювального шва» [3,ст 73]

SolidWorks Flow Simulation - сімейство додаткових модулів для газо/гідродинамічних розрахунків.

SolidWorks Flow Simulation - моделювання течії рідин і газів, управління розрахунковою сіткою, використання типових фізичних моделей рідин і газів, комплексний тепловий розрахунок, газо/гідродинамічні і теплові моделі технічних пристроїв, нединамічний і нестационарний аналіз, розрахунок обертових об'єктів, експорт результатів в SolidWorks Simulation. SolidWorks Flow Simulation Electronic Cooling Module Add-In - додатковий модуль для теплового розрахунку електронних пристроїв. Включає: розширена база даних для віртуальних вентиляторів; матеріали електротехнічного призначення, термоелектричні охолоджувачі (елементи Пельтьє), двохрезисторні компоненти. Імітація проходження постійного струму і джоулева нагріву постійним струмом, моделі двохрезисторних компонентів, теплових трубок, багатошарових друкованих плат.

SOLIDWORKS Flow Simulation - це потужне рішення обчислення гідродинаміки (CFD), повністю вбудоване в SOLIDWORKS. Воно дозволяє швидко і просто моделювати ефекти потоку, теплообміну і гідродинамічних сил, які критично важливі для успішного проектування.

SOLIDWORKS Flow Simulation дозволяє моделювати потоки рідини і газу в умовах реального світу, запускати сценарії "що, якщо і ефективно аналізувати наслідки потоку рідини, теплообміну і пов'язаних сил, действующих на компоненти і що проходять через них. У рішенні також можна швидко

порівнювати варіанти проекту, щоб оптимізувати прийняття рішень і робити ефективніші вироби.

SOLIDWORKS Flow Simulation можна використати для наступного:

Точне визначення розмірів каналів повітропроводів і нагріву з урахуванням матеріалів, ізоляції і температурного комфорту.

Вивчення і візуалізація повітряного потоку для оптимізації систем і розподілу повітря.

Віртуальні випробування виробів в цифровому середовищі, максимально наближеному до реального.

Виробництво результатів HVAC з індексом комфортності по Фангеру (PMV і PPD) для постачань в школи і державні установи.

Оптимізація проектування інкубаторів завдяки підтримці певних рівнів комфорту для новонароджених і моделювання розташування допоміжного устаткування.

Оптимізація проектування систем кондиціонування повітря для проектів медичних установ.

Моделювання охолодження електроніки для світлодіодного освітлення.

Перевірка і оптимізація проектів за допомогою мультипараметричного методу.

Розрахунок тепла від трансформаторів змінного і постійного струму.

## **2.2 Вибір вітроустановки**

Багато хто напевно вже бачив красиві ролики на youtube, де крутиться красивий і незвичайний ротор Онипко рисунок 7. Творець цього вітрогенератора Олексій Онипко, проект був створений на базі "Української академії наук".



Рисунок 7 - Ротор Онипко

Ротор Онипко - це вітрогенератор, який ввібрав в себе риси вертикальних вітроустановок, але при цьому працює як горизонтально-осьовий вітрогенератор. На відео весело крутиться. А ось скільки енергії він виробляє і на якому вітрі не відомий досі. Мені так і не вдалося знайти дані по виробленню електроенергії "ротором Онипко". Я подивився більше десятка відео, і статей, більше половини з них просто реклама цього вітрогенератора без яких то конкретних цифр, лише принадна картинка і солодкий опис, націлений на безграмотне в цьому питанні населення.

Окремо хочу відмітити що винахід це, а цей вітрогенератор презентується як високоефективний вітрогенератор запатентованої конструкції, дуже широко рекламувалося в інтернеті і в Українських ЗМІ. Але я так і не знайшов матеріали про реальне використання цього вітрогенератора, невже ніхто не купив і не поставив на своїй ділянці.

Існує веб сайт даного вітрогенератора, на якому вказуються технічні характеристики даної установки (рисунок 8) [16]

## Специфікації

- Працюючи в діапазоні від 0,1 м/сек, ротор Онірко є єдиним вітрогенератором, який працює в районах з низькою швидкістю вітру.
- Велика активна територія забезпечує максимальну енергію від мінімального вітру. Унікальна спіральна конструкція створює подушку вітру, що оточує ротор, підвищуючи його ефективність.
- Довга поверхня леза забезпечує ще більш високу ефективність з великою площею поверхні для вітру.
- Форма поверхні розроблена з міліметровою точністю для оптимальних результатів.
- Єдина жорстка конструкція передбачає безшумну роботу і ергономічно безпечний дизайн для птахів.
- Ротор Онірко може функціонувати в районах зі швидкістю вітру менше 5,6 м/сек. Цей діапазон вітру є глобально домінуючим і становить більшу частину поверхні Землі.
- Вихідна потужність від ротора Онірко становить 220В змінного струму

### Рисунок 8 - Технічні характеристики

Метою даної роботи є моделювання подібної вітрової установки та отримання реальних даних за допомогою твердотілого 3D моделювання та засобів аналізу

### 2.3 Створення моделі вітрової турбіни

Розробимо модель турбіни вітрогенератора:

1. Турбіна вітрогенератора складається з стержня та двох спіралей Архімеда (внутрішня і зовнішня) від параметрів спіралів і будуть залежати технічні параметри вітрогенератора (рисунок 9). Визначати параметри спіралі будуть виконуватися згідно початковим діаметром стержня, вистою, та кількістю обертів

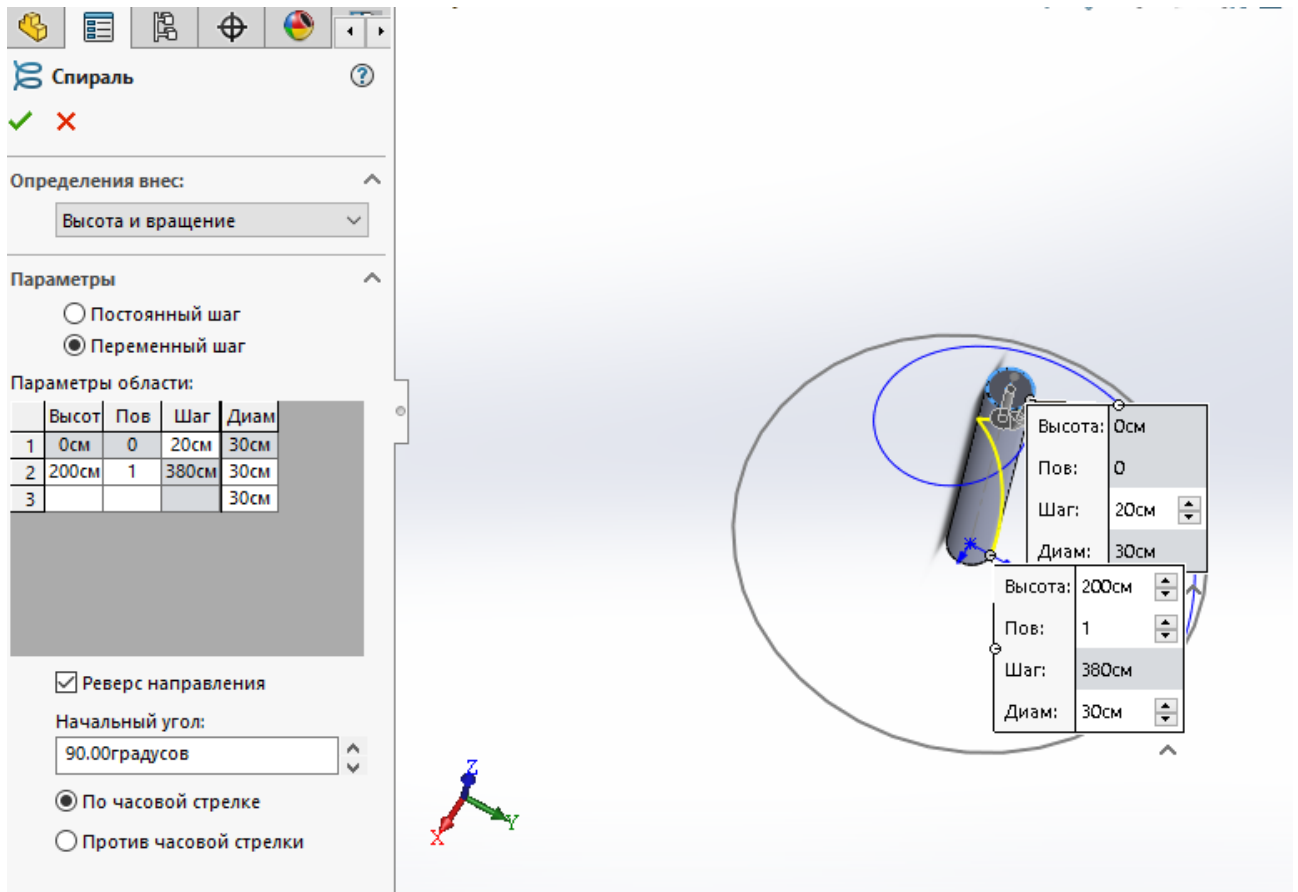


Рисунок 9 - Спираль Архимеда

2. Через дані спіралі проведемо площину яка утворить передню стінку лопаті. Від кількості лопатей прямо пропорційно залежатимуть крутний момент, та швидкість ротора, тому приймемо початковим значення 3 лопаті (рисунок 10)

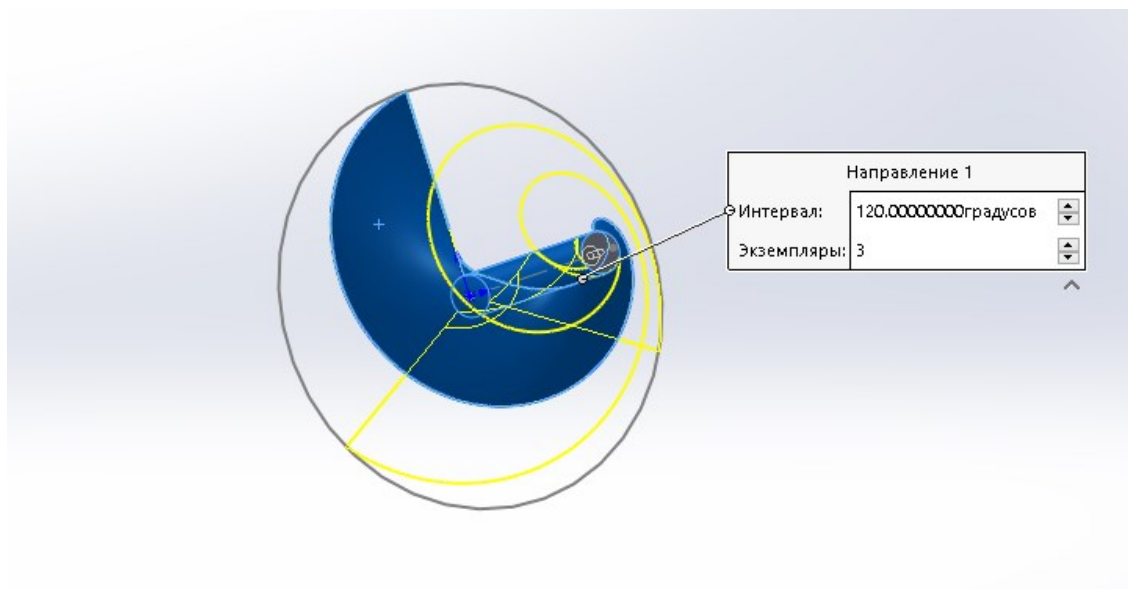


Рисунок 10 - Побудова передньої стінки лопатей

3. Побудуємо задню та бокову стінку ротора (рисунок 11)

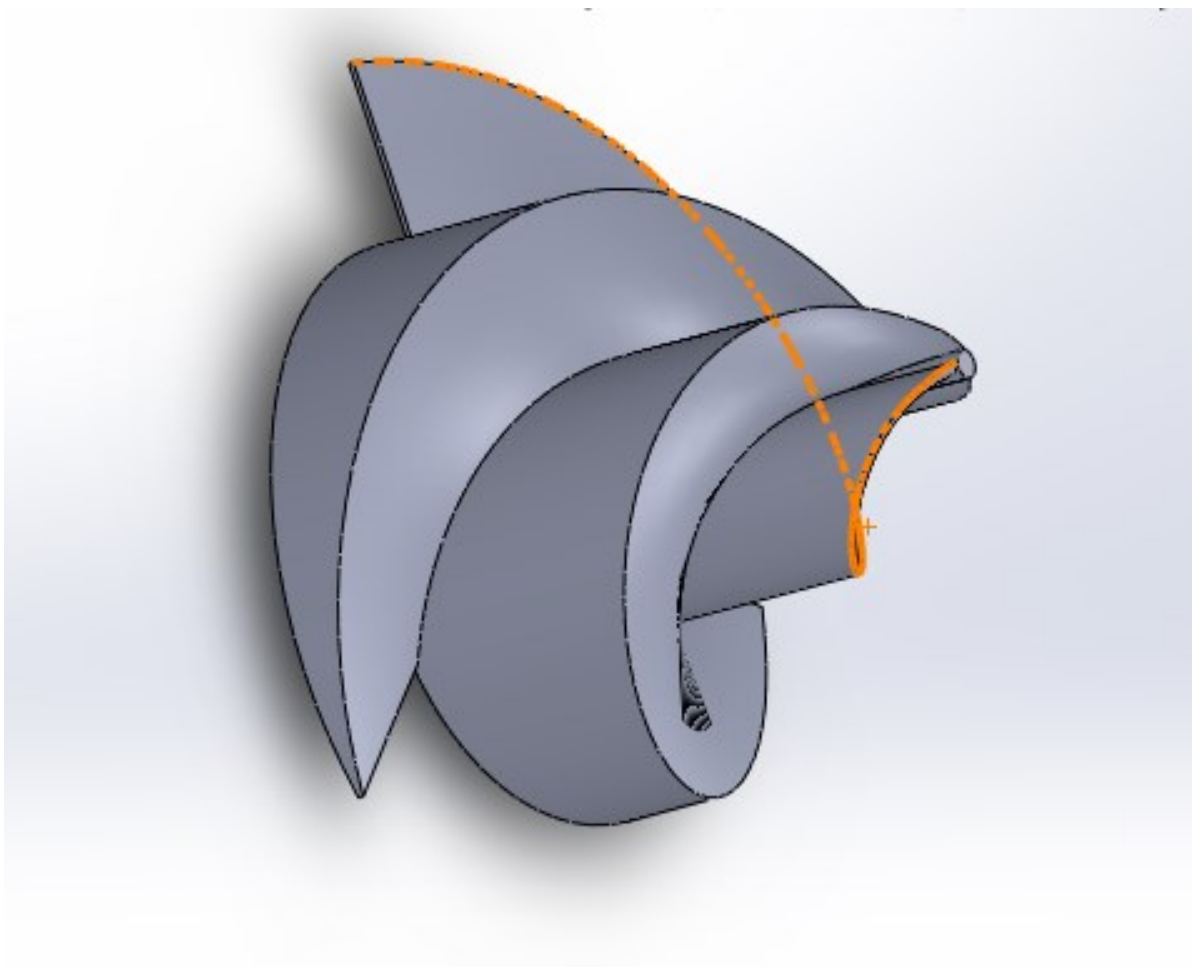


Рисунок 11 - Модель турбіни

#### 4. На гострі кромки добавимо скруглення - рисунок 12

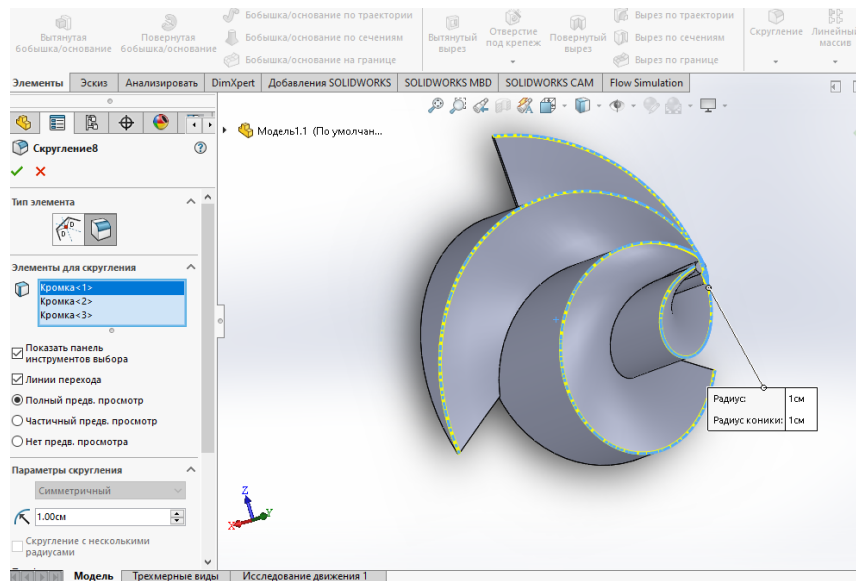


Рисунок 12 - Скругления острых кромок

#### 5. Розробка вала для посадки підшипників, шпонкових пазів для кріплення гальмівного диска зубчастого колеса тощо (рисунок 13)

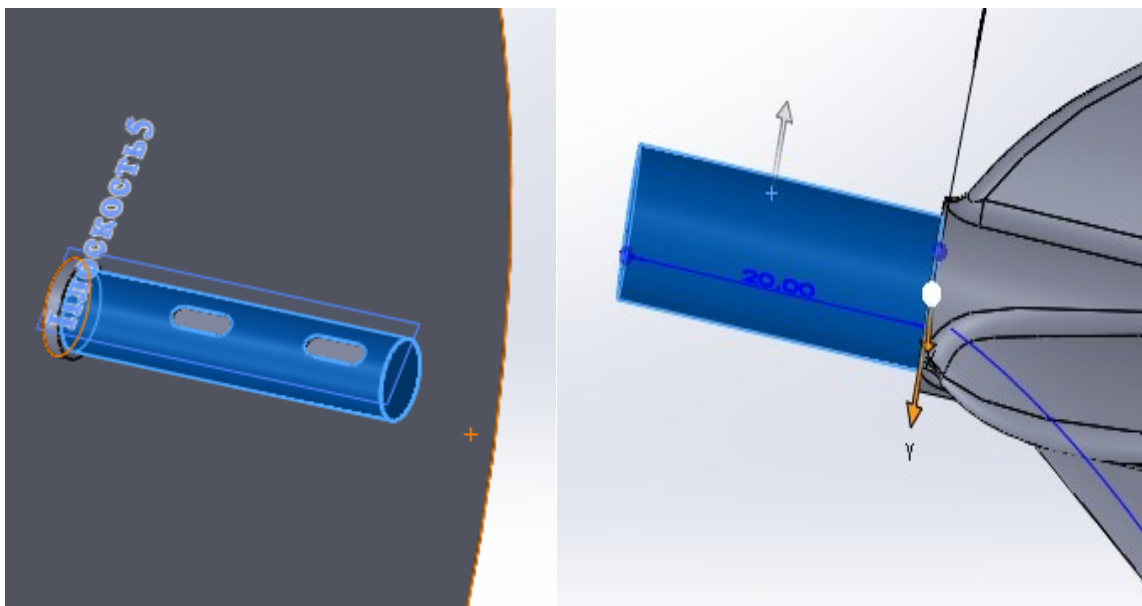


Рисунок 13 - Вал ротора

### 2.4 Розробка окремих складових вітрової установки

1. Вітрова установка складається з основної плити (рисунок 14), на якій розміщені кріпильні отвори, статор та корпус. В середині статора розміщені спеціальні опори на яких розміщуються підшипники і виконують напрямну та опорну функції вала генератора

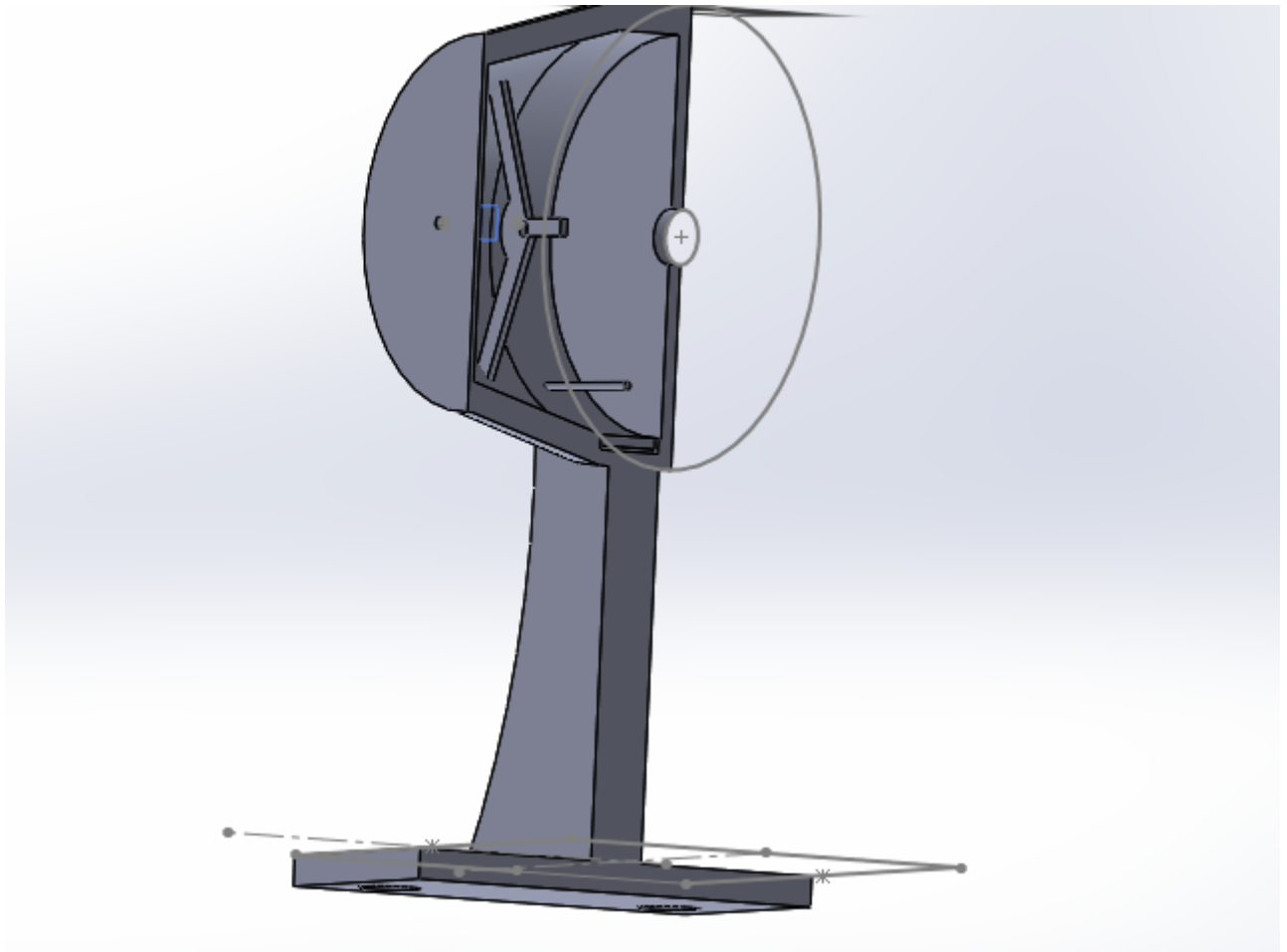


Рисунок 14 - Корпус основний

2. Роторні характеристики ротора було описано в розділі 2.3
3. Стійка опорна: дана складова призначена для опори передньої частини ротора (вала) (рисунок 15) може бути прикріплена до корпусу за допомогою зварювання або шляхом нарізання різі на валу і контрагайки

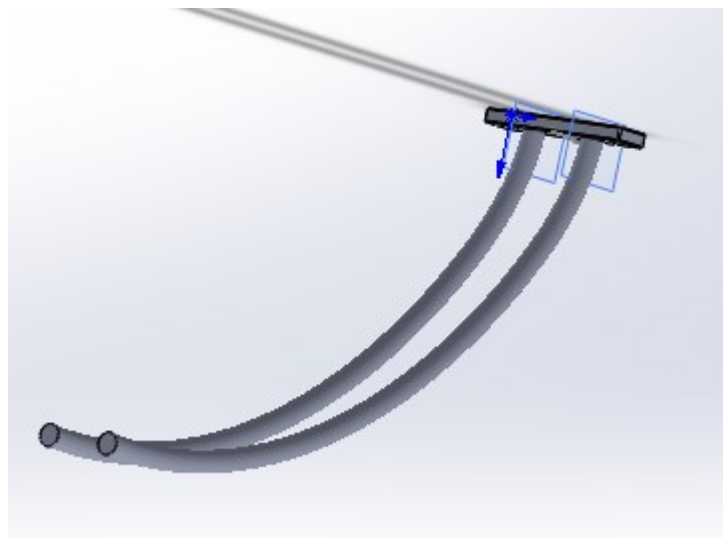


Рисунок 15 - Стійка опорна

4. Кронштейн, модель якого зображена на рисунку 16, кріпиться до опорної стійки за допомогою двох болтів, служить опорою та напрямною вала, підшипник фіксується за допомогою штопорного кільця

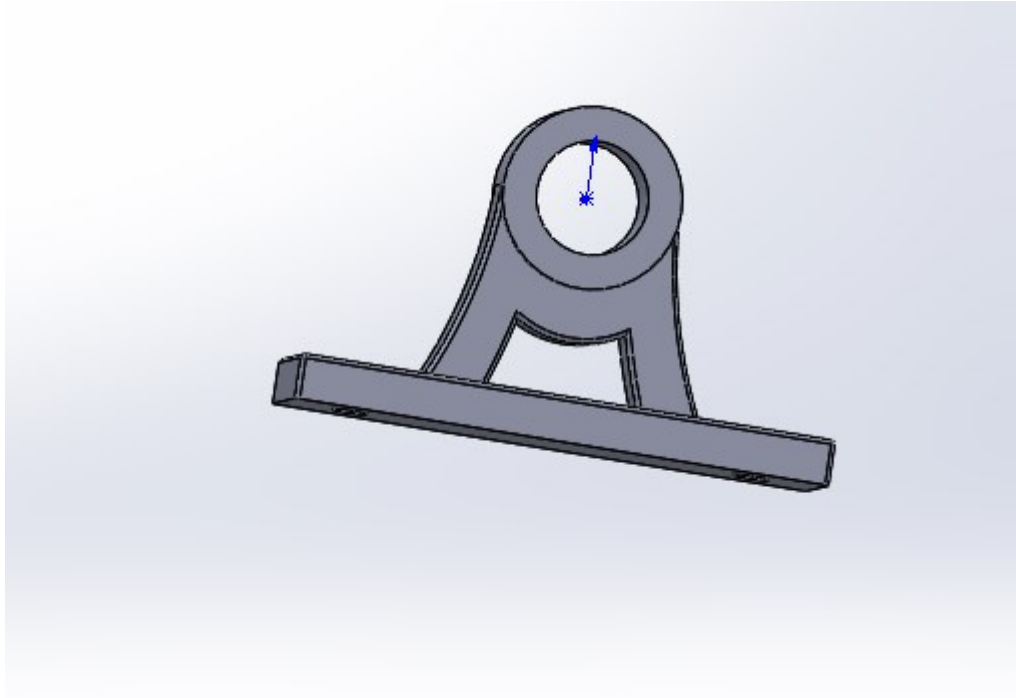


Рисунок 16 - Кронштейн

6. Гальмівний диск та колодки (рисунки 17) є невід'ємною складовою установкою, призначені для повної або часткової зупинки (зниження крутного моменту) вітрогенератора.

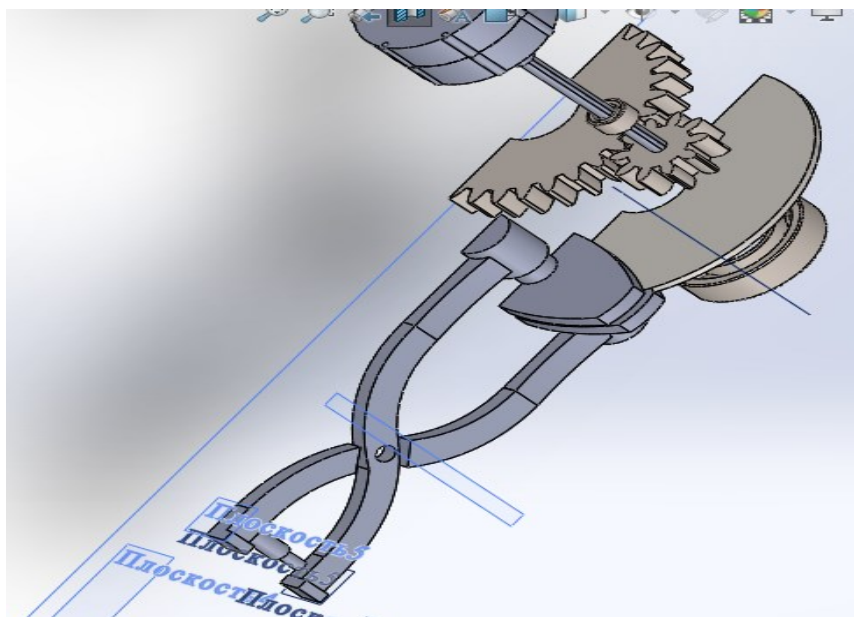


Рисунок 17 - Гальмівний диск та колодки

Гальвівний диск розміщується на основному валі та кріпиться за допомогою шпонки. Гальмівні колодки розміщуються в корпусі в спеціальних напрямних і можуть приводитися в рух за допомогою гідравліки або електрики

5. Шестерні, шпонки, кріпильні болти, шайби, гравіра та підшипники є стандартизованими деталями згідно ISO.

6. Генератор. Дана установка складається з двох генераторів: механічного (на основі постійних магнітів) та електричного (на основі машинного генератора)

Генератор струму на основі постійних магнітів є невідомою складовою вітрогенератора. При розробці даного вітрогенератора я вибираю генератор від бренду “AMG POWER SOLUTIONS” (рисунок 18). Номер моделі: N-SH260-500-400

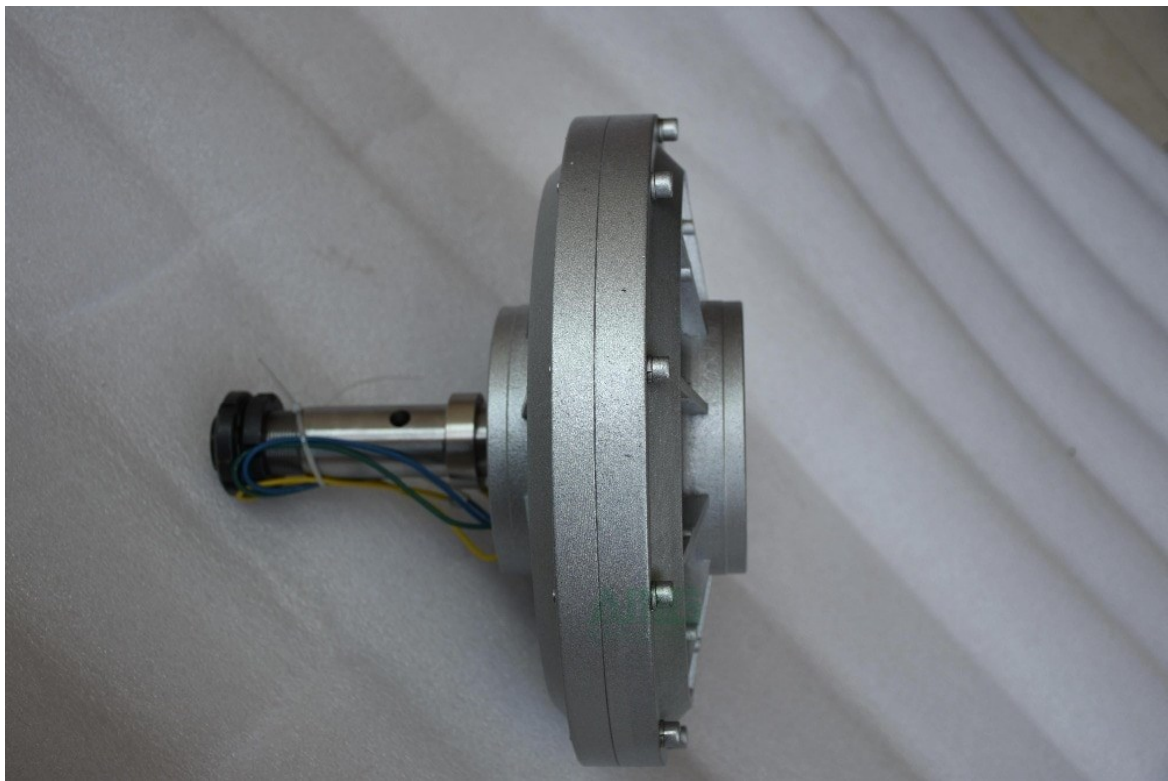


Рисунок 18 - Генератор механічний

Магнітна схема даного зовнішнього ротора розроблена таким чином, що виробники мають високу продуктивність, вагу, низький стартовий момент, привабливий зовнішній вигляд, легку установку світильника і більш високі електричні характеристики і продуктивність використання, ніж споріднені виробники.

## Технічні характеристики механічного генератора

1. Номінальна ємність 500В
2. Номінальна швидкість 150/200/300 RPM
3. Номінальна напруга 24/48/96V
4. Номінальний струм 12.9А
5. Ефективність >85%
6. Початковий крутний момент <0,5
7. Фаза Трифазний
8. Структура Зовнішній ротор
9. Статор Без кісточок
10. Ротор Проникний магнітний генератор (зовнішній ротор)
11. Ген. Вага 11 кг
12. Матеріал корпусу Алюміній (сплав)
13. Валовий матеріал Сталь

Електричний генератор розроблений таким чином, що на одну із катушок ротора подається індукційний струм, роблячи його електромагнітом. Від величин поданого струму буде залежати ефективність генератора. За силу струму відповідає мікроконтролер, який, відповідно до зміни швидкості вітру, змінює напругу. Таким чином буде зніматися максимальна кількість енергії при сильних поривах вітру та шторму.

## РОЗДІЛ 3 МОДЕРНІЗАЦІЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ТУРБИНИ

### 3.1 Спосіб покращення аеродинаміки

Розглядається спосіб поліпшення аеродинамічних характеристик за допомогою вихроперетворювача подовжніх вихорів на передній кромці при прямому обтіканні, так і на задній кромці при зворотному обтіканні. Схожа ідея була використана в літакобудуванні. Було показано, що вихроперетворювачі збільшують підйомну силу і критичний кут атаки за рахунок дії на великомасштабні вихори статичного або динамічного відриву потоку. Приведені експериментальні дані систематичних досліджень крила в аерогідродинамічних трубах в статичному і динамічному коливальному русі без вихроперетворювача і з вихроперетворювачем подовжніх вихорів на передній кромці, показаний позитивний вплив вихроперетворювачів на задній кромці при зворотному обтіканні крила. Отримані результати є необхідною основою для побудови математичної моделі обтікання крила на великих кутах атаки без ефекту гістерезису.

«Найважливішим завданням з точки зору безпеки польотів літаків є забезпечення стійкості і керованості при виході на великі кути атаки при яких на верхній поверхні профілю розвивається відрив потоку у вигляді великомасштабних вихорів тих, що змінюють розподіл тиску по хорді крила і призводять до падіння підйомної сили, збільшення аеродинамічного опору, зміни моментів деформування і формують в сліді доріжку Кирмана.

Великомасштабні вихори, що утворюються на поверхні крила є результатом вязко-нев'язкої взаємодії і залежать як від в'язкості середовища, так і від розподілу тиску по крилу. У двовимірній постановці вивчення динамічного зриву потоку на крилі є дуже наближеною моделлю. Перспективними є дослідження тривимірних течій, взаємодії вихорів і активного впливу на них різними способами. Один із способів впливу полягає в руйнуванні стійких вихрових течій на верхній поверхні крила, який розвивається на межі вязко-невязкого взаємодії потоку при обтіканні крила.

Відомо, що відмітною особливістю великомасштабних вихорів, що виникають в області відриву, є їх висока сприйнятливність до зовнішніх збурень» [11, 12].

Виявилося [13], що за допомогою подовжніх вихорів, генерованих у передньої кромки крила за допомогою численних напливів малих розмірів, можна керувати відривною течією, руйнуючи великі відривні вихори, що призводить до поліпшення аеродинамічних характеристик крила, істотно збільшуючи критичний кут атаки. Управління відривними течіями за допомогою вихорів використовується активно багатьох років при проектуванні ефективних крил різного подовження з напливами (вихороутворювачами) біля кромки крила [14] чи вихороперетворюючими "зубами" на передній кромці крила (рисунок 19).

Вихрова структура для оптимального поліпшення аеродинамічних характеристик може бути спеціально сформована профільованою передньою кромкою крила залежно від критичної швидкості, оптимального кроку між вихребразователями і залежно від особливостей профілю крила і режимів обтікання, чисел Рейнольдса і Струхаля при коливаннях крила.

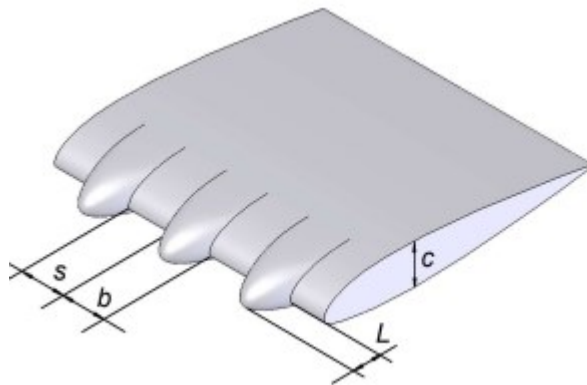


Рисунок 19 - Загальний вид вихороперетворювача

На рисунках 20-27 показані результати досліджень впливу вихороперетворювачів на параметри крила літального апарату, наведені у літературі.

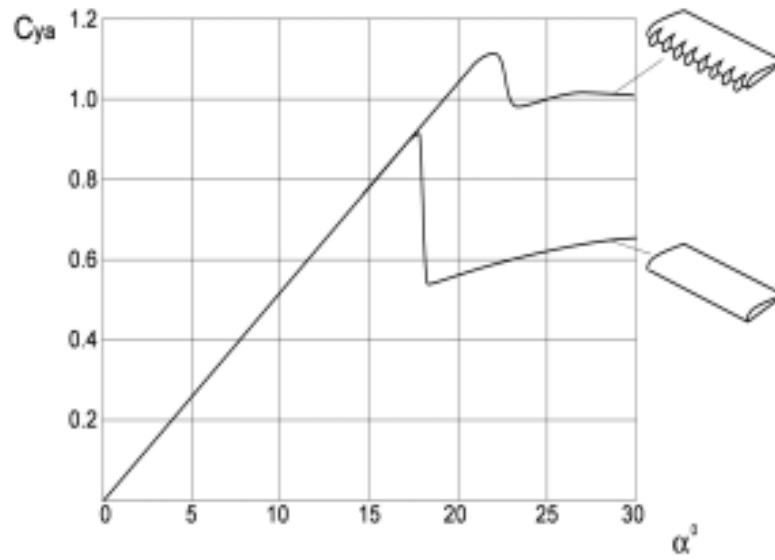


Рисунок 20 - Зміни підйомної сили по куту атаки

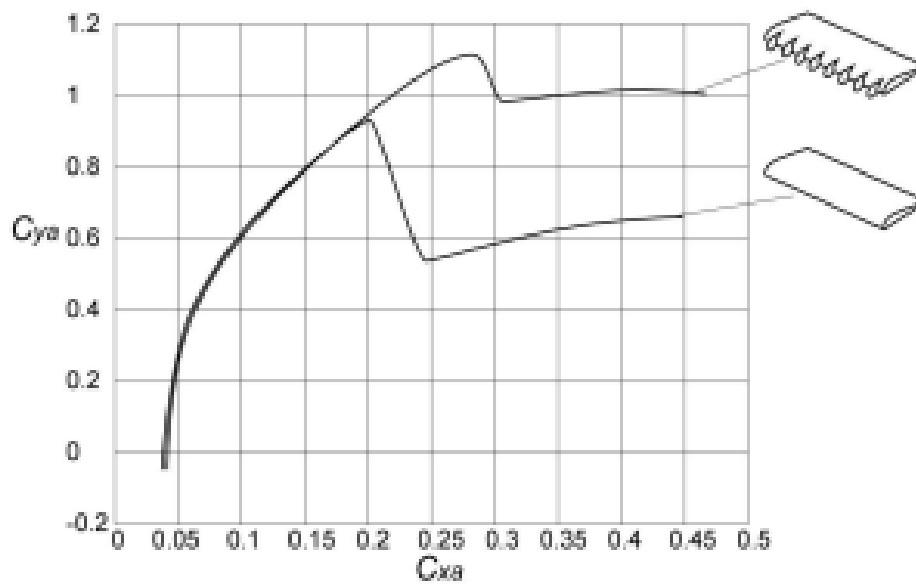


Рисунок 21 - Поляра крива

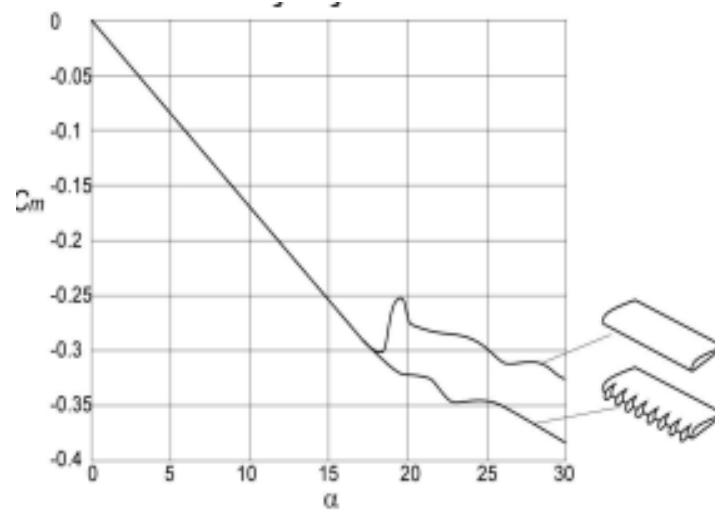


Рисунок 22 - Коефіцієнт повздовжнього моменту



Рисунок 23 - Модель БПЛА

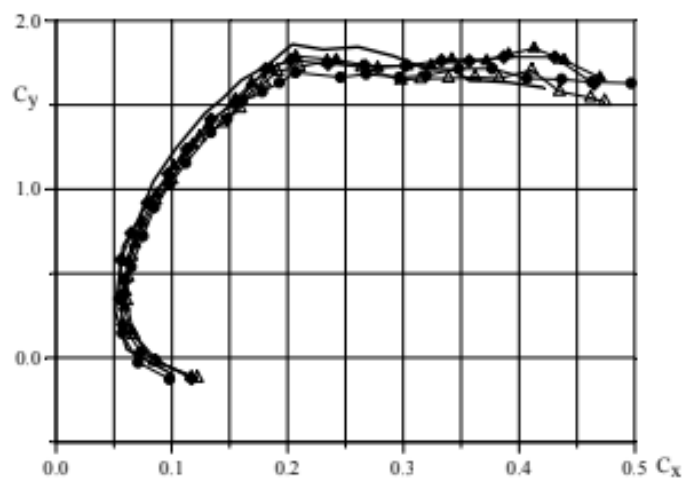


Рисунок 24 - Поляра БПЛА

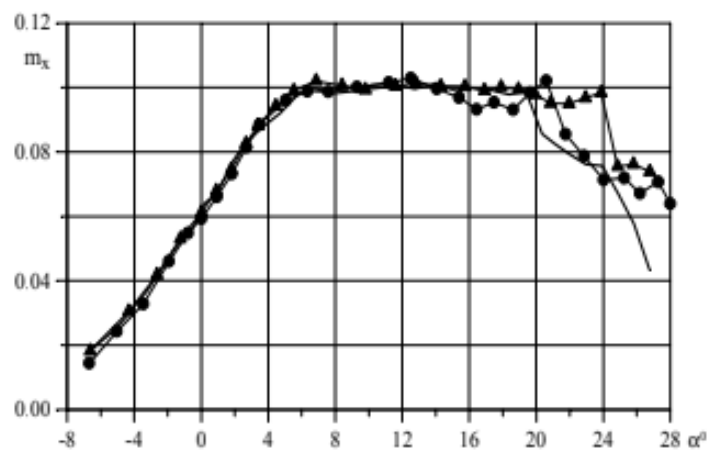


Рисунок 25 - Зона ефектиності елеронів

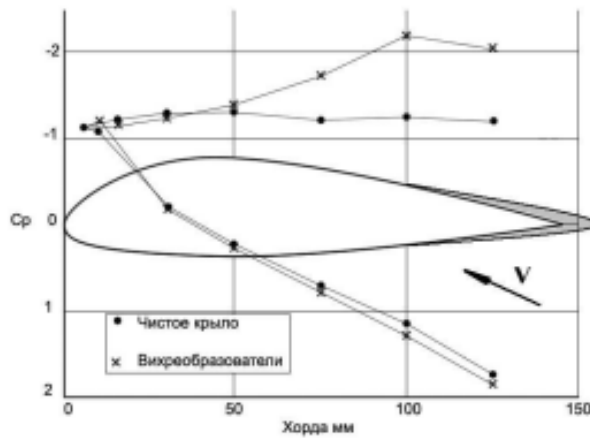


Рисунок 26 - Фрагмент крила з вихороперетворювачем

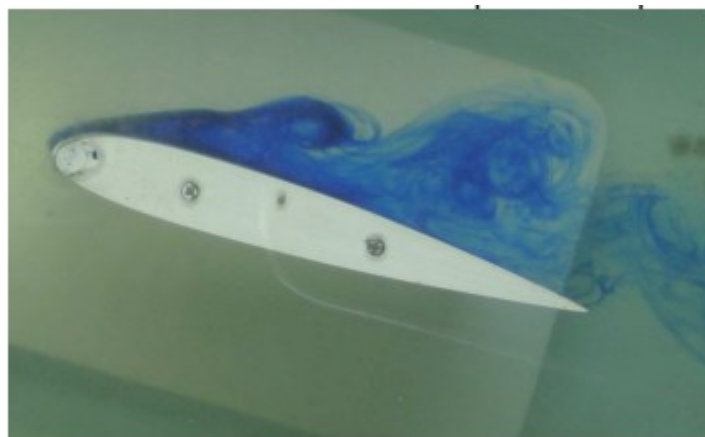


Рисунок 27 - Динамічний відрив на профілі крила, досліджуваний гідродинамічній трубі

Вихороутворення біля передньої кромки крила може створювати ефект збільшення підйомної сили, збільшення підсмоктуючої сили, збільшення критичного кута атаки, зміни подовжнього моменту. Для досягнення певної мети необхідно використати різну конфігурацію вихроутворювача, утворюючи з них "вихровий перекрылок".

Дослідження малих збурень на відривні вихори крила вивчалось в роботах [15, 16, 17], способи управління відривом потоку захищені патентами [18, 19]. Роботи новосибірських учених по вивченню вихрових структур відривних течій узагальнені в дисертаційній роботі Павленко А.М. [15]. Звернена увага, що відривні вихори носять тривимірний великомасштабний характер, що принципово визначає фізичну картину течії. У роботі запропонований метод

локального впливу на вихрову структуру відривної течії виступами на верхній поверхні кромки крила, що призводять до турбулізації потоку а також локальний видувши усередині області зриву дискретних струменів як способу дестабілізації вихрових структур відривної течії. В результаті стверджується, що виступи у вигляді ребер або конусів, точковий вдувши створюється перешкода поперечним течіям в області зриву, які у свою чергу призводять до значної зміни картини обтікання. У роботі польських учених наводяться результати впливу видування дискретних струменів на відривні течії. Показані основні залежності  $C_y=f(\alpha)$ ,  $C_x=f(\alpha)$ ,  $mz=f(\alpha)$ , отримані в аеродинамічній трубі при  $Re=106$ ,  $M=0,05-0,1$  для профілю NACA0012. Канадські учені вивчали особливості обтікання плавника кита з наростами на передній кромці. Результати досліджень показали, що нарости на передній кромці плавника в статичному режимі призводять до істотної зміни аеродинамічних характеристик. Це найбільш близькі дослідження до обговорюваної тематики в цій статті [17]. Результат досліджень впливу вихроутворюючих напливів на передній кромці крила, на інтегральні аеродинамічні характеристики. Дослідження вихроутворювачів на аеродинамічні характеристики на великих кутах атаки робилося в дозвукових аеродинамічних трубах в статичному і динамічному режимах зміни кута атаки. У статичному режимі проведені вагові дослідження різних видів вихроутворювач на передній кромці крила в аеродинамічній трубі УТАД- 2 НАУ при швидкості до 30 м/с, чисел  $Re=2*10^5$ . модель крила розмахом 400x150 мм, завтовшки профілю  $z=16\%$ . При чистому крилі відрив потоку відбувається на  $18^\circ$  з подальшому падінням підйомної сили на 40%.

Досліджувалися вихроперетворювачі при наступних характеристиках рис 19  $b=30-70\%c$ ,  $L=20-60\%c$ ,  $s=8-110\%c$ . результати зміни підйомної сили представлені на рис 20, поляра - на рис 21. характерно, що максимальна якість крила з вихроутворювачами не змінюється в порівнянні з гладким крилом, що можна пояснити розвиненою підсмоктуючою силою на передній кромці. Моментні характеристики змінюються стабільніше (рис 22). Дослідження розподілу тиску показало, що істотно змінюються характеристики відриву

потокі як при прямому обдуванні, так і при зворотному обдуванні з вихороутворювачами на задній кромці.

Основний інтерес представляють вагові дослідження моделі легкого безпілотного літака (рис. 23). з розмахом крила 1,7 м. у польотній конфігурації. Поляра літака з вихороперетворювачами і без них представлена на рис. 24., а ефективність елеронів демонструється на рис. 25. Досліджені вихрові структури на крилі в гідродинамічній трубі. Візуалізовані великомасштабні вихори при динамічному обтіканні крила без впливу вихороутворювачів. За наявності вихороперетворювача на передній кромці крила великомасштабні вихори розпадаються і течія стає турбулентною рис 27. [20].

Висновок: вихороперетворювачі подовжніх вихорів на передній кромці крила високоефективний засіб для збільшення критичного кута атаки, при оптимізації вихрового передкрилка і для збільшення максимального коефіцієнта підйомної сили. Вихороперетворювачі не призводять до істотної зміни найвигіднішого кута атаки і аеродинамічної якості. Вихороперетворювачі на передній кромці крила перспективні для використання на безпілотних літальних апаратах, що експлуатуються в турбулентній атмосфері.

Вихороутворювачі на передній кромці корисні при використанні на вітрогенераторах. Отримані результати є необхідною основою для побудови математичної моделі обтікання крила на великих кутах атаки без ефекту гістерезису.

### **3.2 Розробка моделі вихороперетворювача**

На поверхнях побудуємо ескіз після чого за допомогою компонента витягнута бобишка створимо циліндр (рисунок 28)

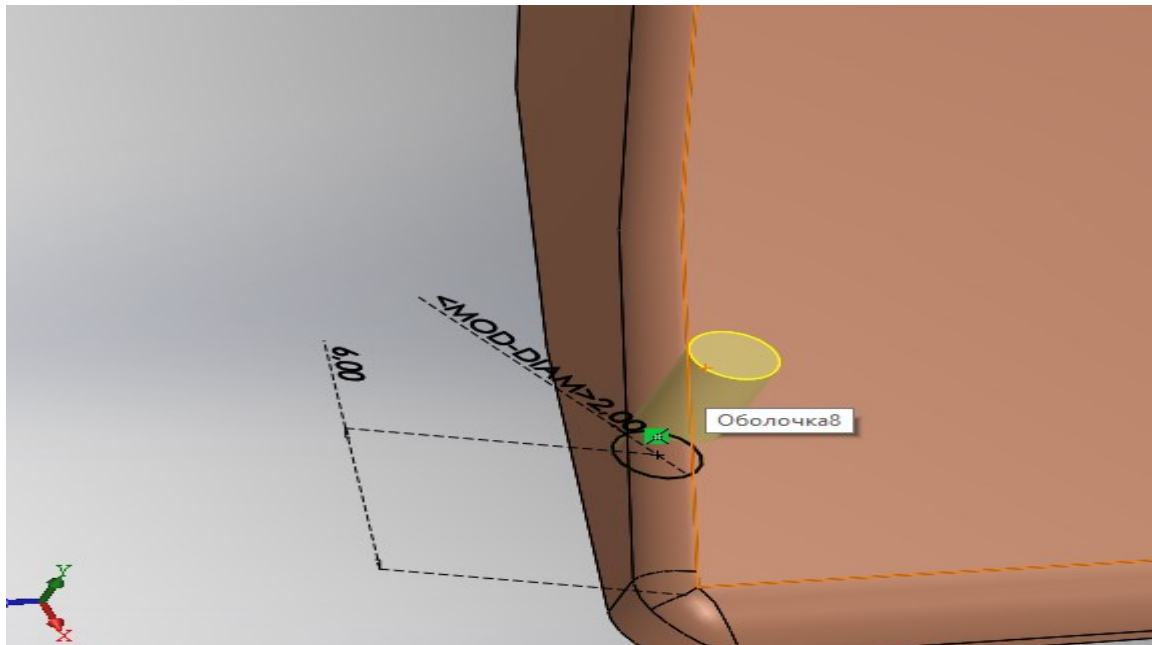


Рисунок 28 - Ескіз вихороперетворювача

Добавимо округлення на передній частині циліндра рисунок 29

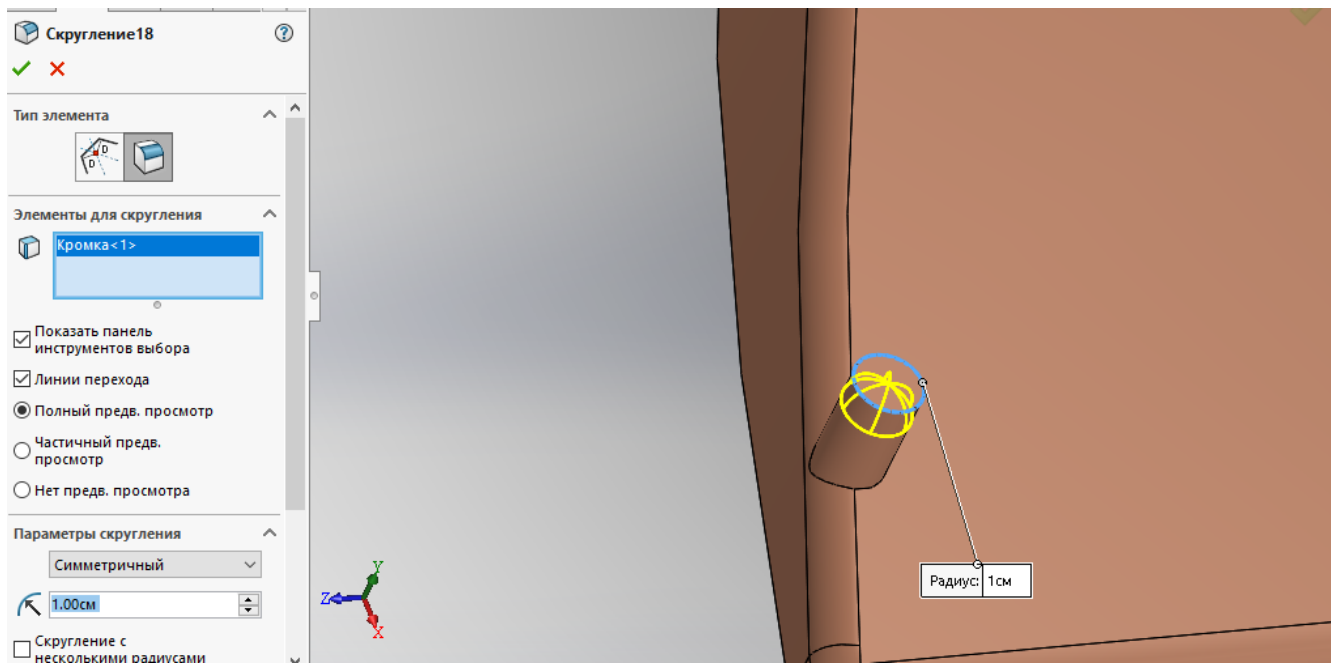


Рисунок 29 – Округлення вихороперетворювача

За допомогою компонента масив по кривій розставимо відповідну кількість екземплярів з заданим кроком по направляючій кривій (спіралі) (рисунок 30)

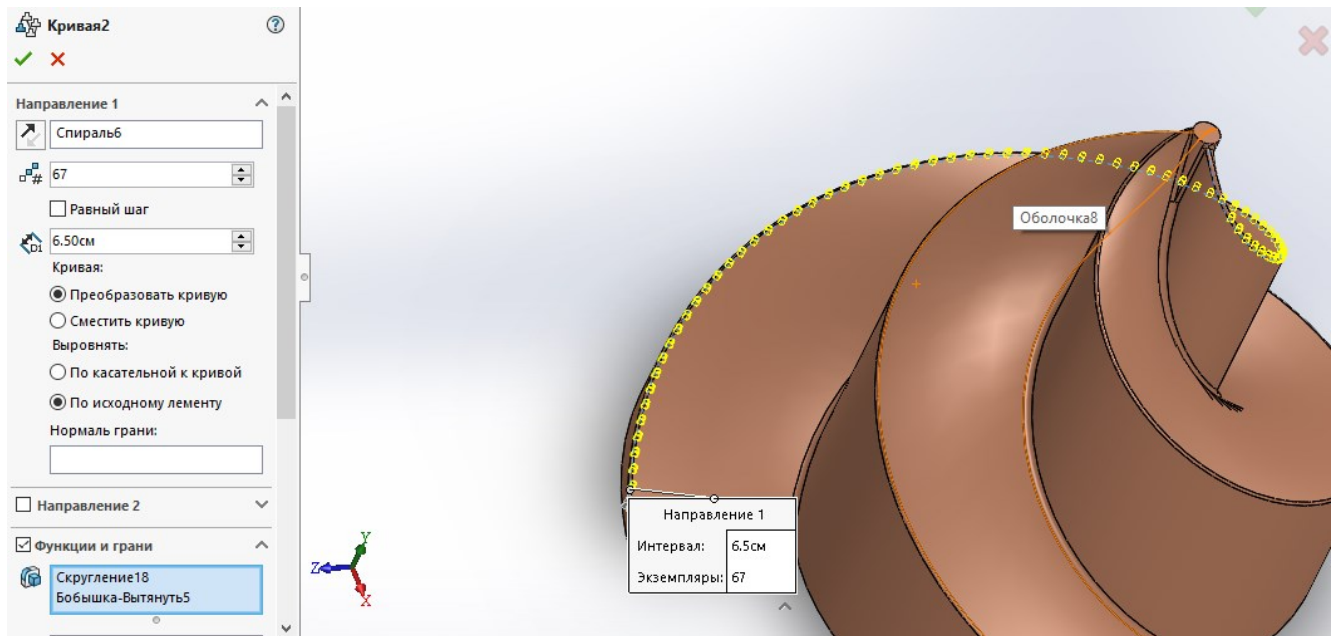


Рисунок 30 - Массив по кривій

### 3.3 Дослідження та аналіз установки

Аналіз установки проводиться за допомогою компонента Solid Works Flow Simulation розробимо новий проект за допомогою майстра проекта (рисунок 31)

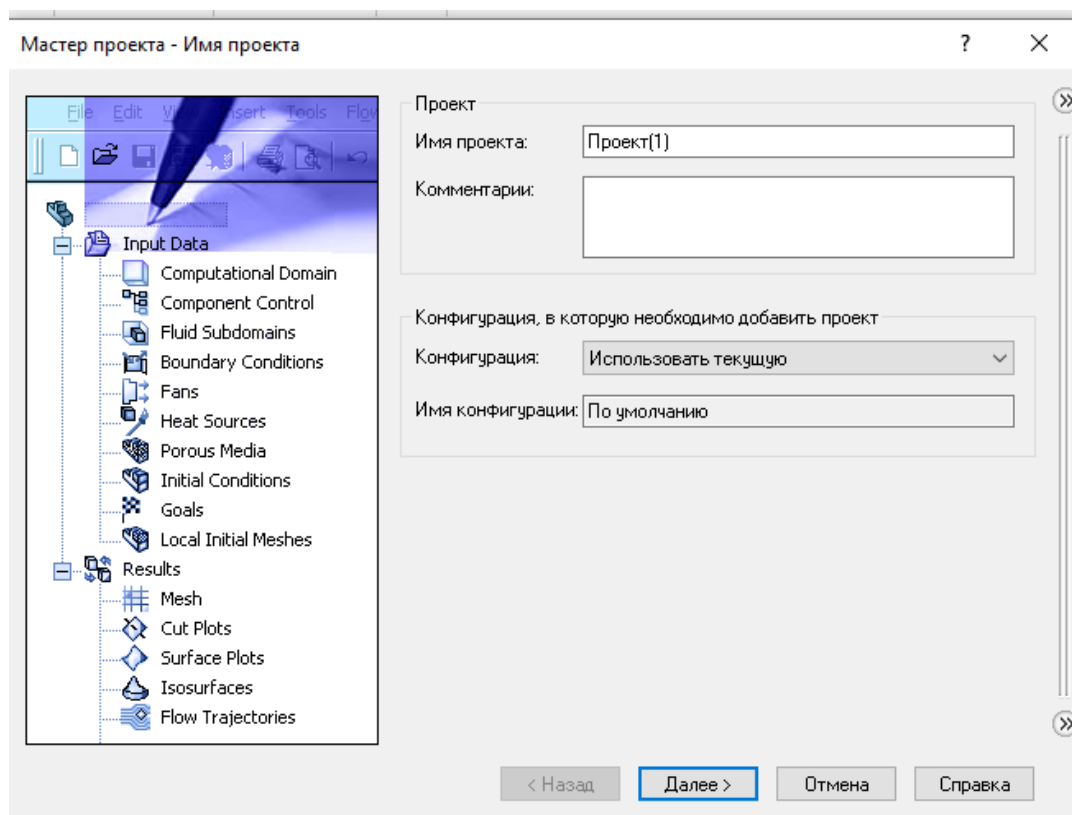


Рисунок 31 - Створення проекту Solid Works Flow Simulation

Вказуємо тип задачі у нашому випадку це зовнішні потоки тому ми виключаємо внутрішній простір та площин без умов потоку (рисунок 32)

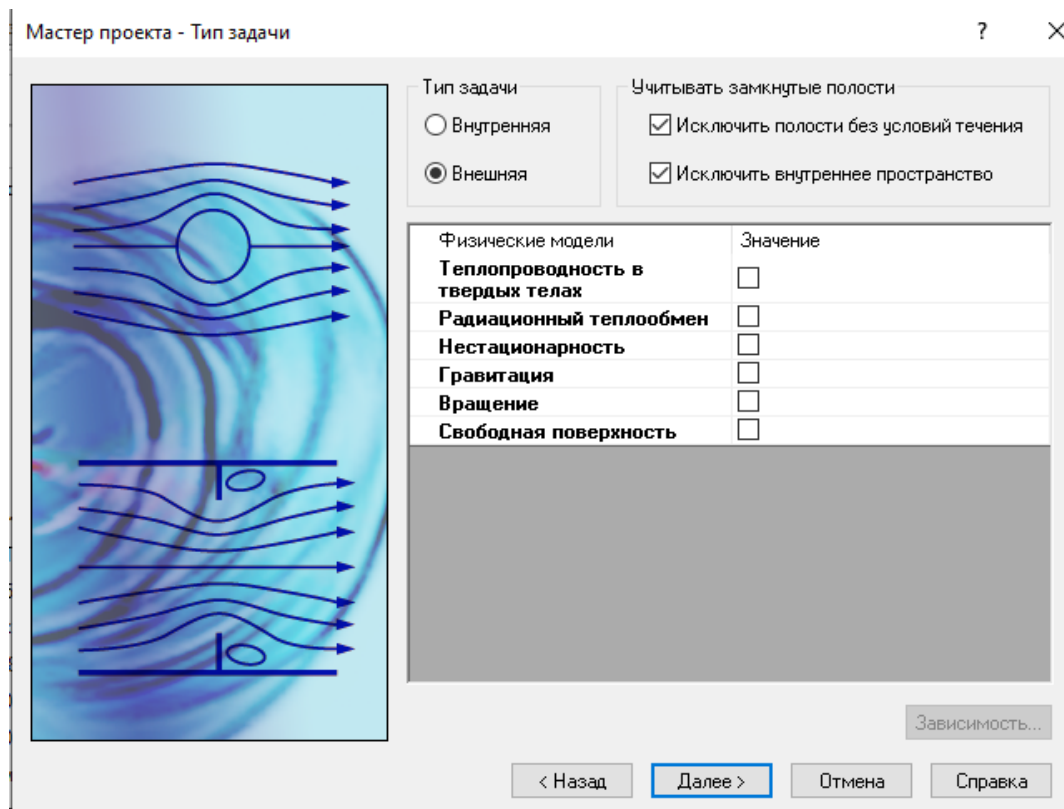


Рисунок 32 – Задання типу задачі

Дослідження будуть проводитися при нормальних умовах та швидкості потоку 10м/с (рисунок 33).

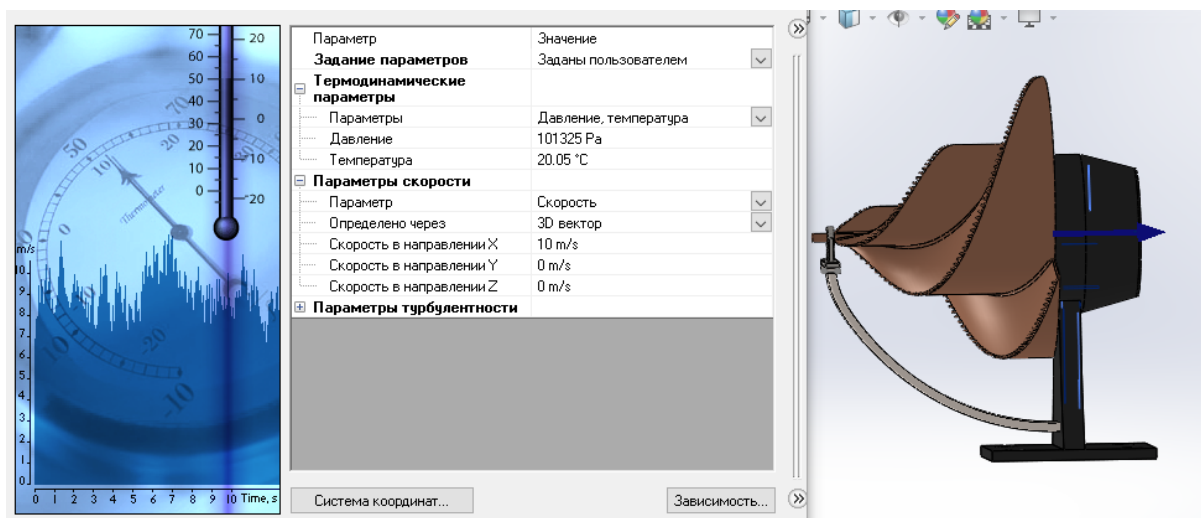


Рисунок 33 - Параметры потока

Щоб точно розрахувати протікання рідини необхідно модель розбити на дрібні елементи. Зробити це можна за допомогою сітки (рисунок 34)

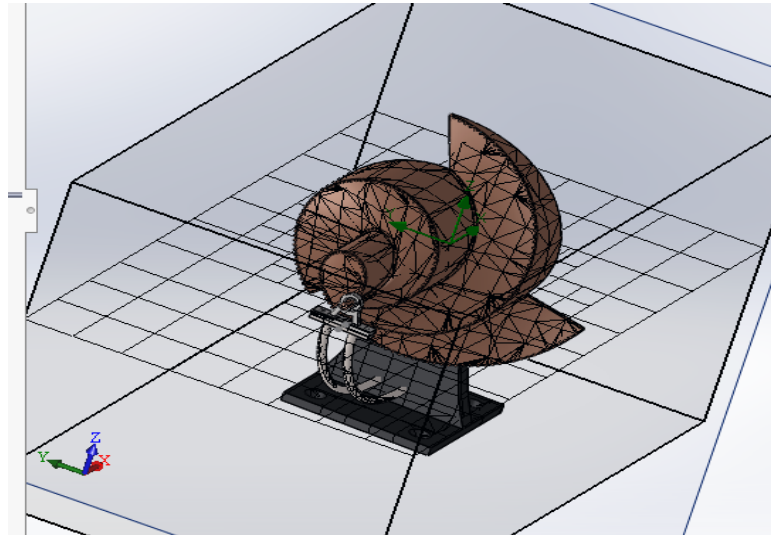


Рисунок 34 - Розбиття моделі середовища на елементи

Отже, я задав всі необхідні параметри для правильного протікання процесу розрахунку дослідження. Сам процес розрахунку текучих рідин є трудомісткий, тому розрахунок триває досить довгий час

Вкажемо цілі дослідження: тиск, щільність, маса текучої рідини, динамічна в'язкість, турбулентність інтенсивність та енергія, температура стінки, сила тиску та момент.

### 3.4 Отримані результати

Дослідивши модель методом скінченних елементів я отримав наступні результати: тиск на поверхню без модифікації (рисунок 35) , тиск на поверхню з модифікацією (рисунок 36) . Згідно отриманих даних можна стверджувати що поверхня з модифікацією вихро перетворювачем знизила тиск на поверхню. Для більш детального порівняння було побудовано графіки (рисунок 37 та 38).

Також для порівняння було розроблено зображення завихреності ( рисунок 39,40) побудовано графіки завихреності (рисунок 41, 42) для більш детального аналізу та відносного тиску на поверхню ( рисунок 43,44).

Висновок: Операючись на дані досліджень, отриманих за допомогою Flow Simulation, було доказано доцільність використання вихро перетворювачів, не тільки в авіабудівництві але і створені вітрової турбіни що може підняти ефективність роботи даної установки.

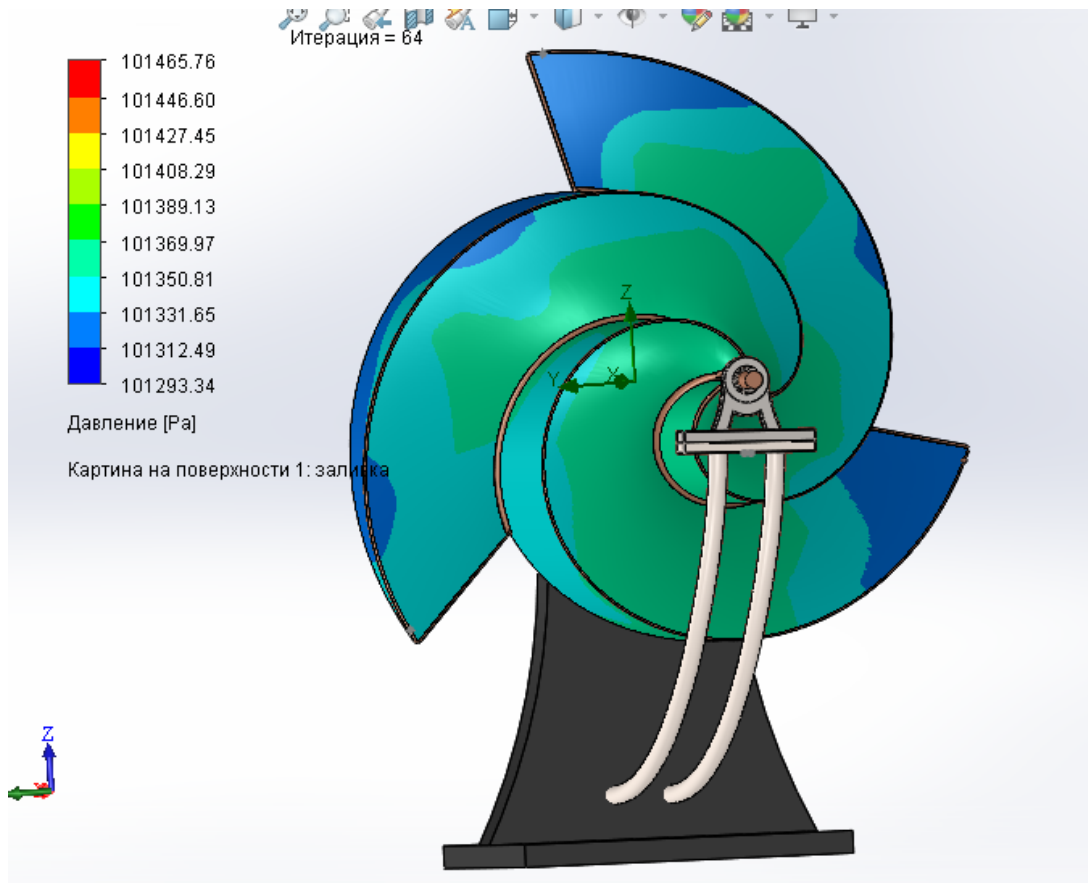


Рисунок 35 - Тиск на поверхню без модифікації

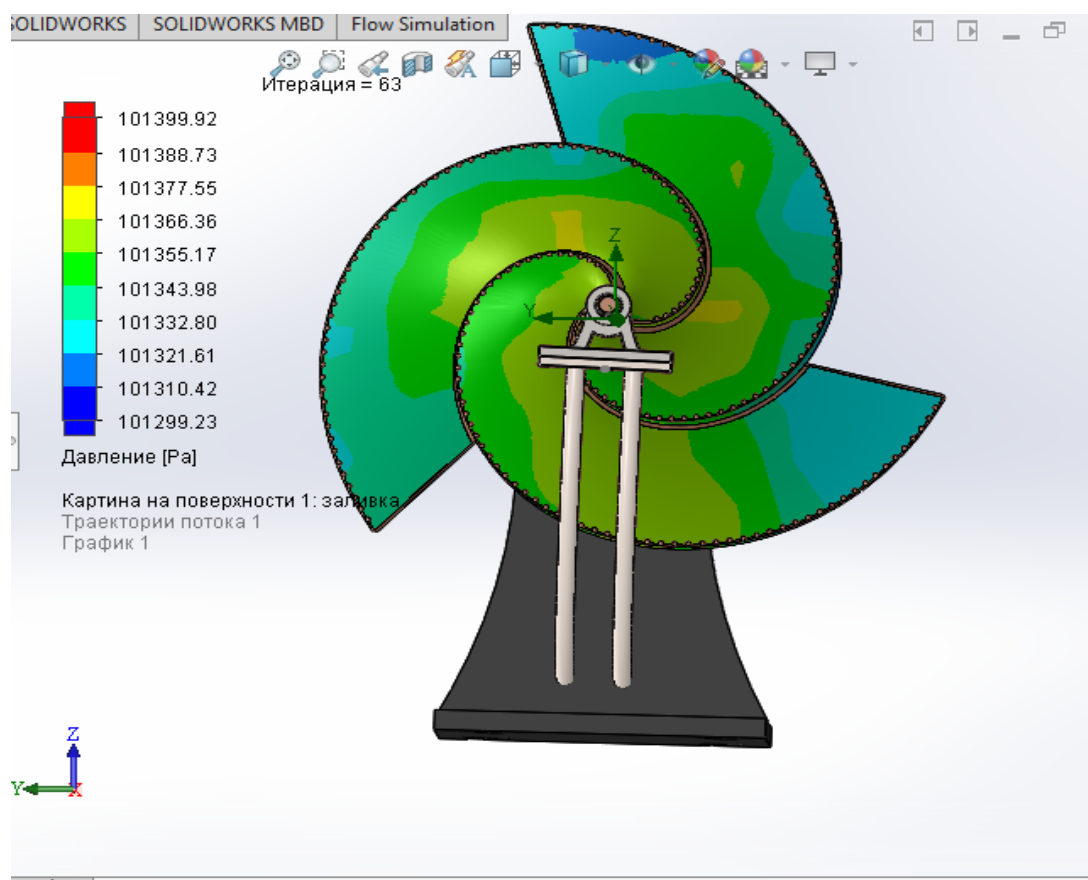


Рисунок 36 - Тиск на поверхню з модифікацією

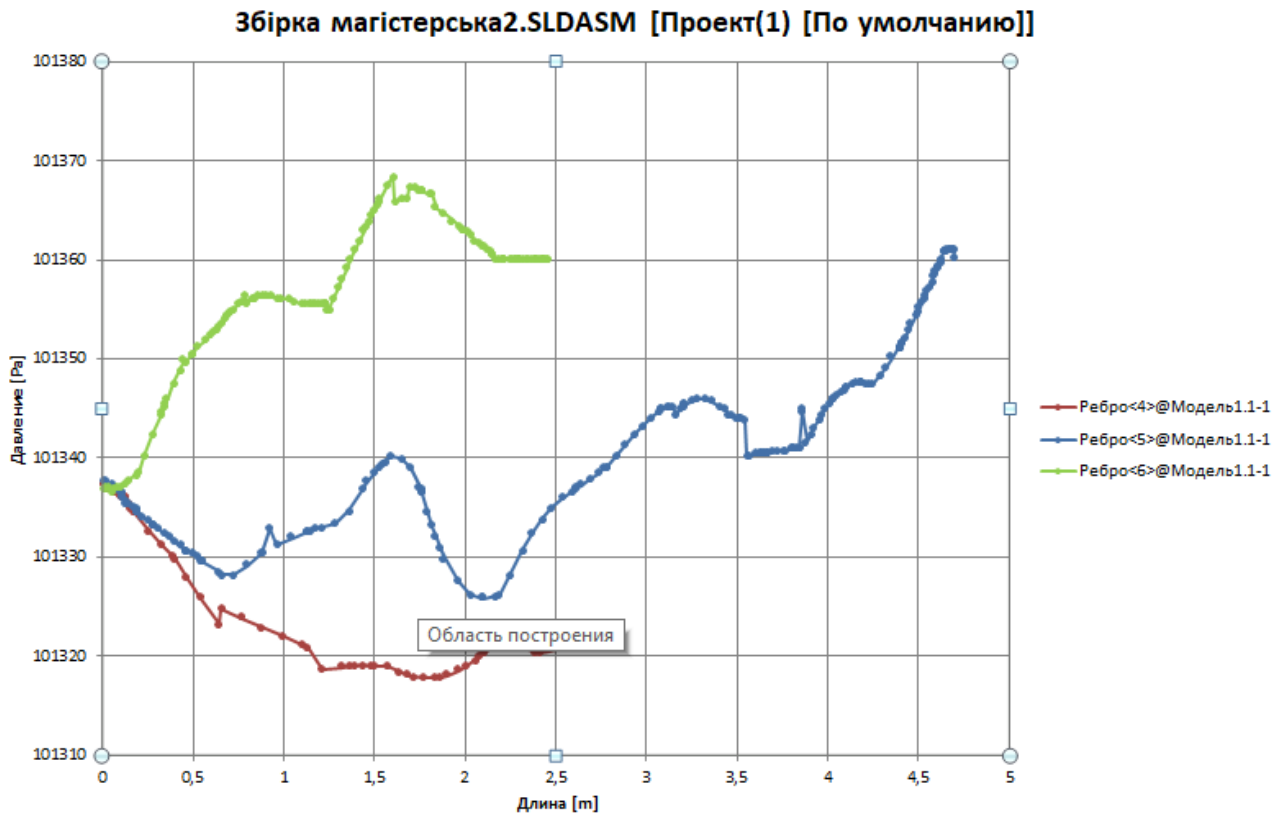


Рисунок 37 – Графік тиску на поверхню без модифікації

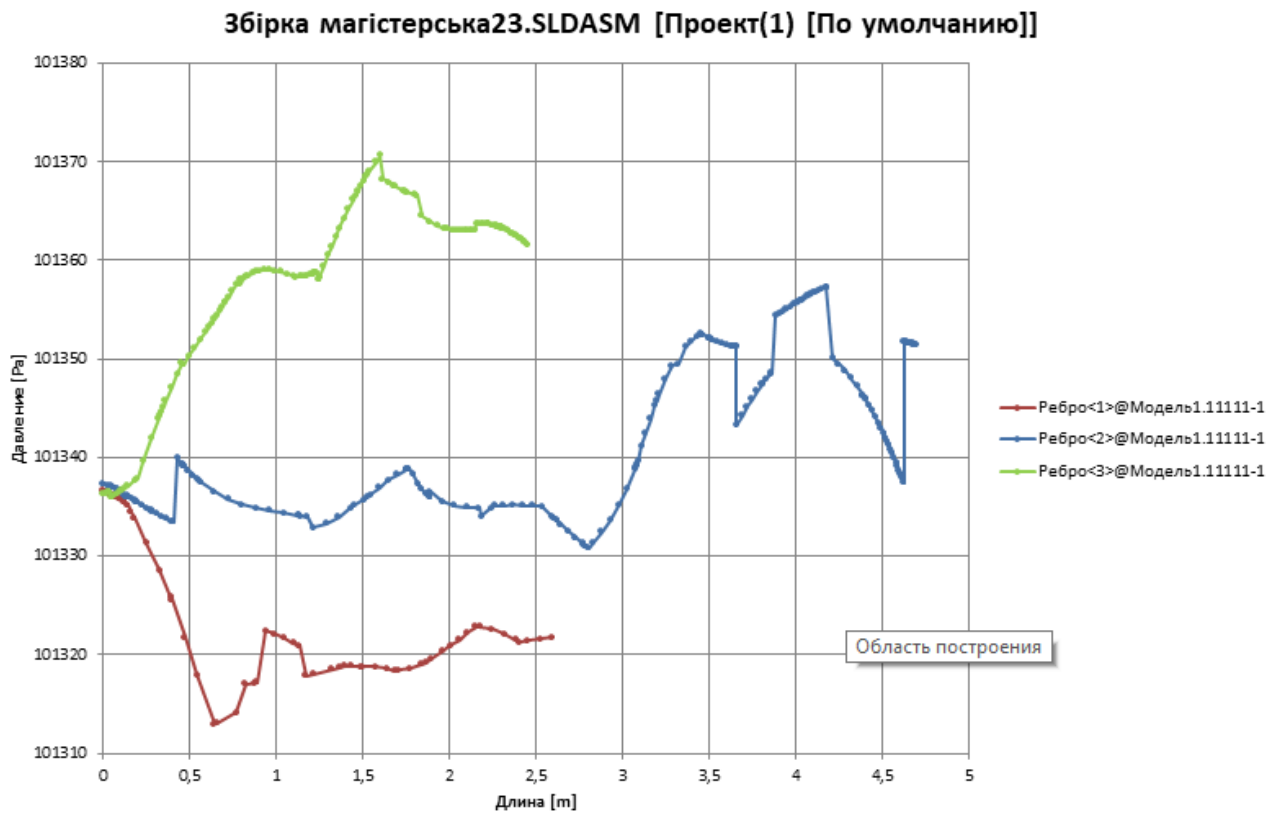


Рисунок 38 – Графік тиску на поверхню з модифікацією

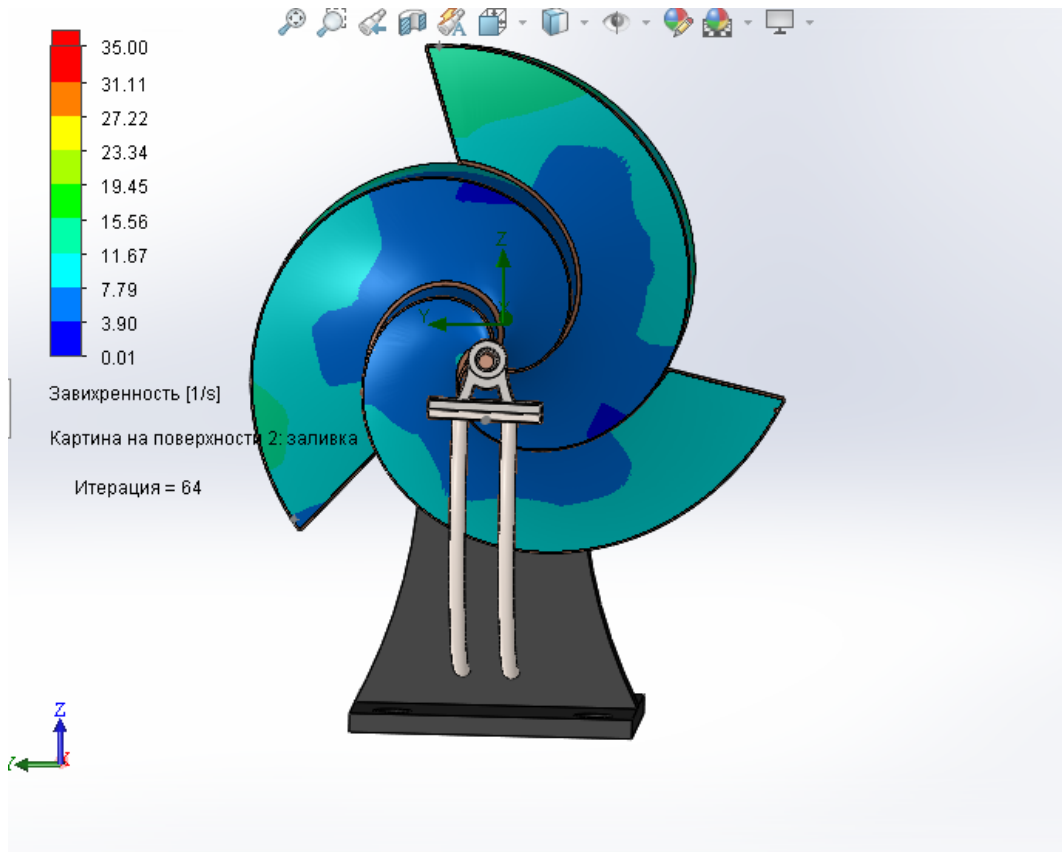


Рисунок 39 Завихреність на поверхні без модифікацією

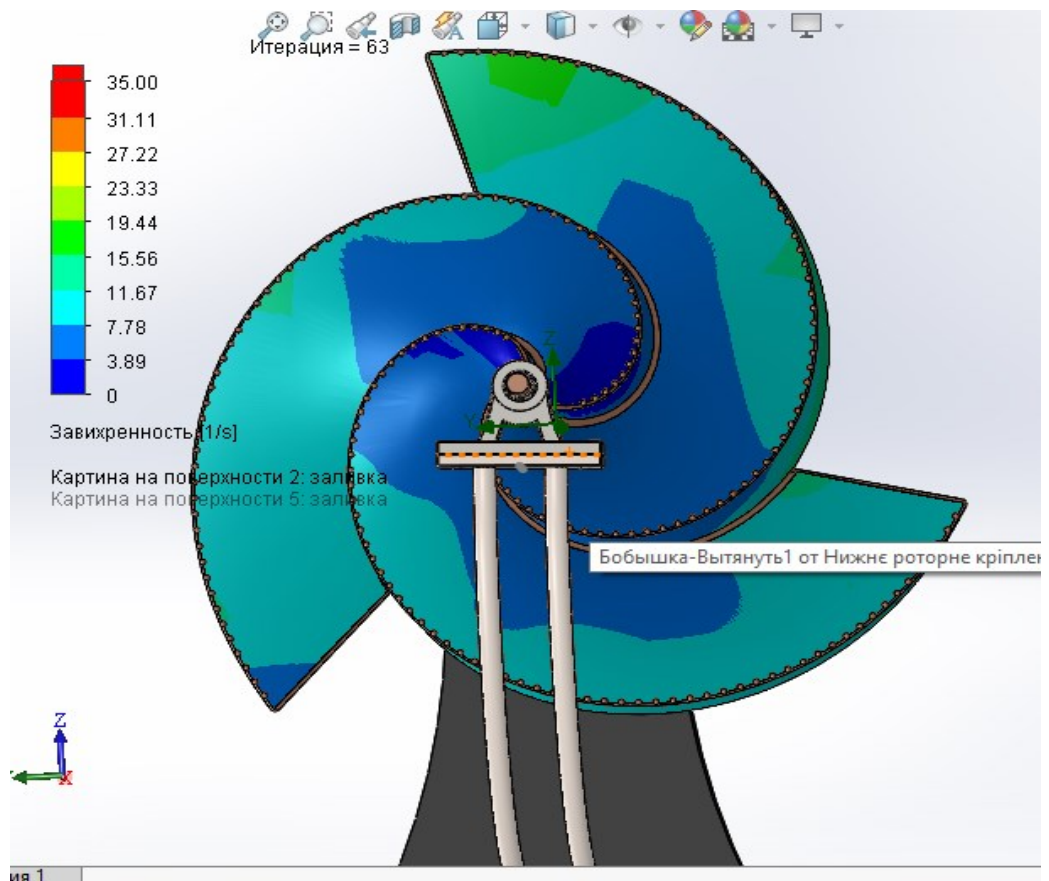


Рисунок 40 Завихреність на поверхні з модифікацією

Збірка магістерська2.SLDASM [Проект(1) [По умовчанию]]

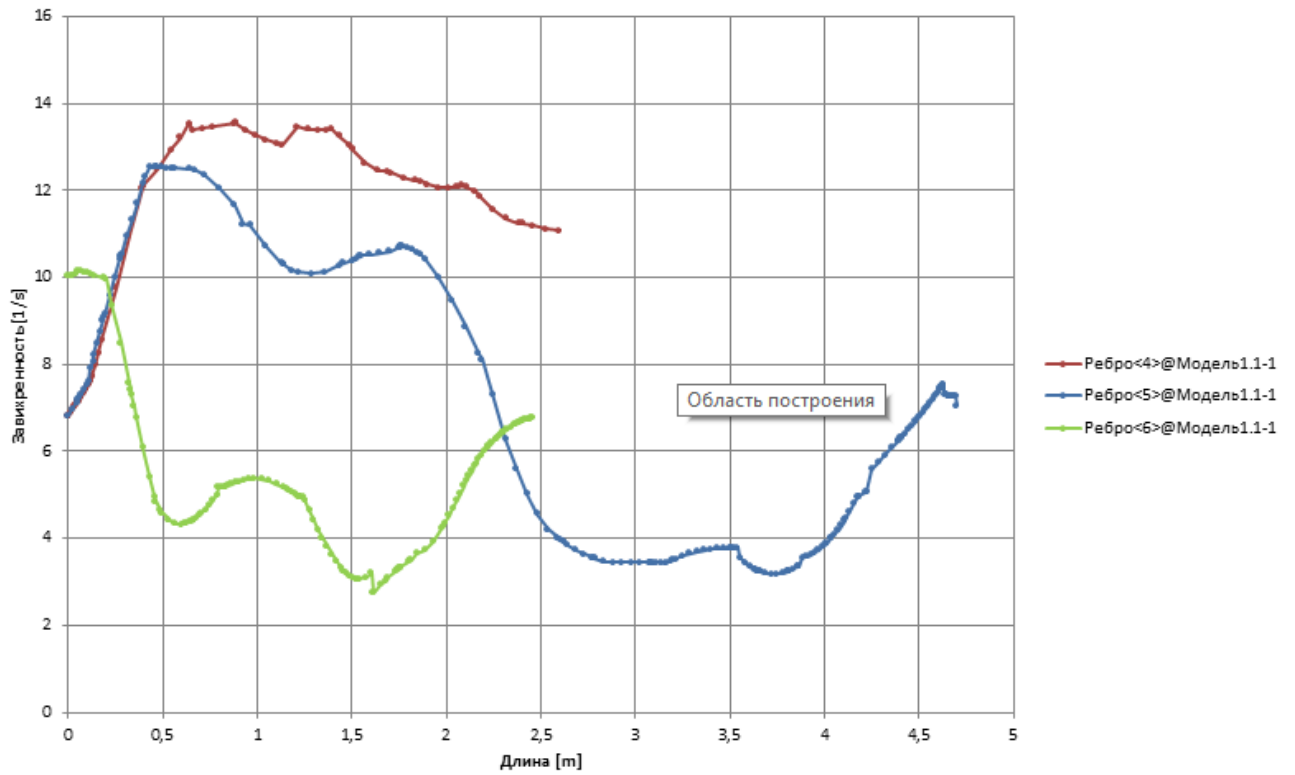


Рисунок 41 – Графік завихреності на поверхні без модифікацією

Збірка магістерська23.SLDASM [Проект(1) [По умовчанию]]

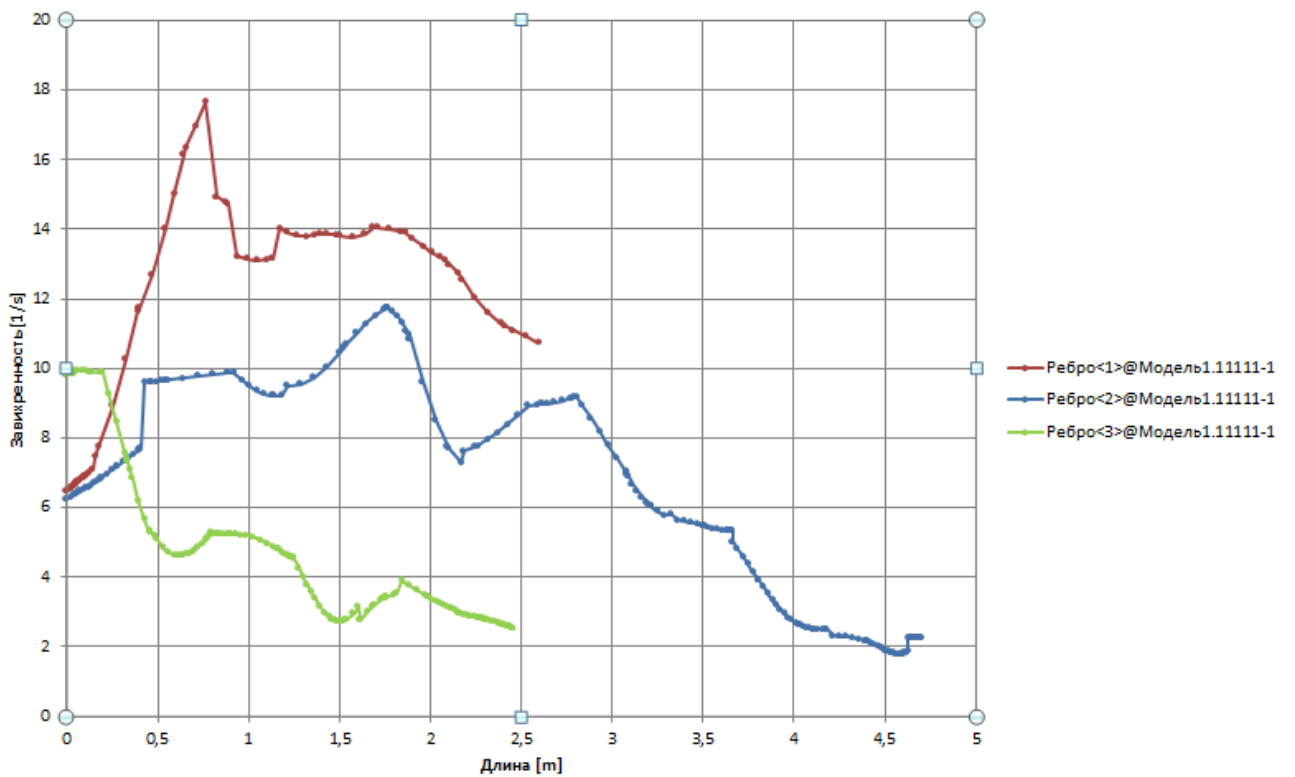


Рисунок 42 – Графік завихреності на поверхню з модифікацією

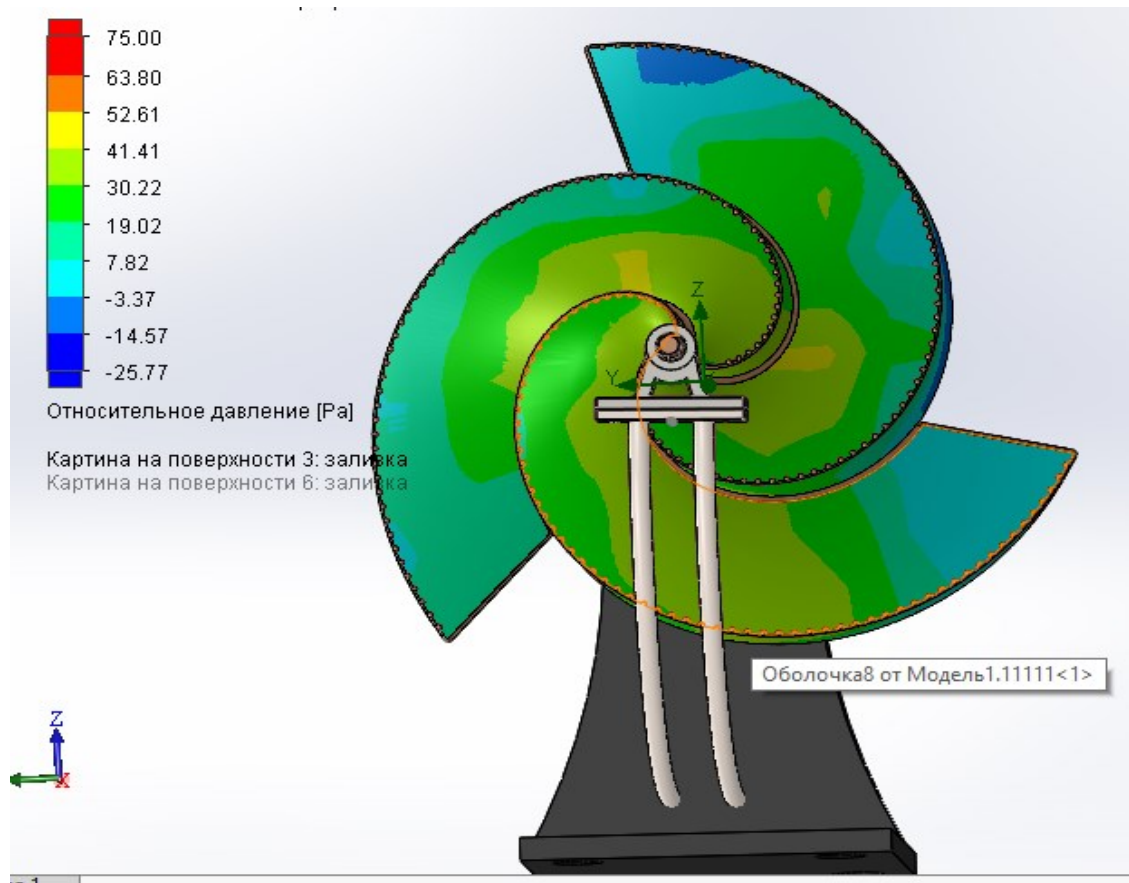


Рисунок 43 – Відносний тиск на поверхню з модифікацією

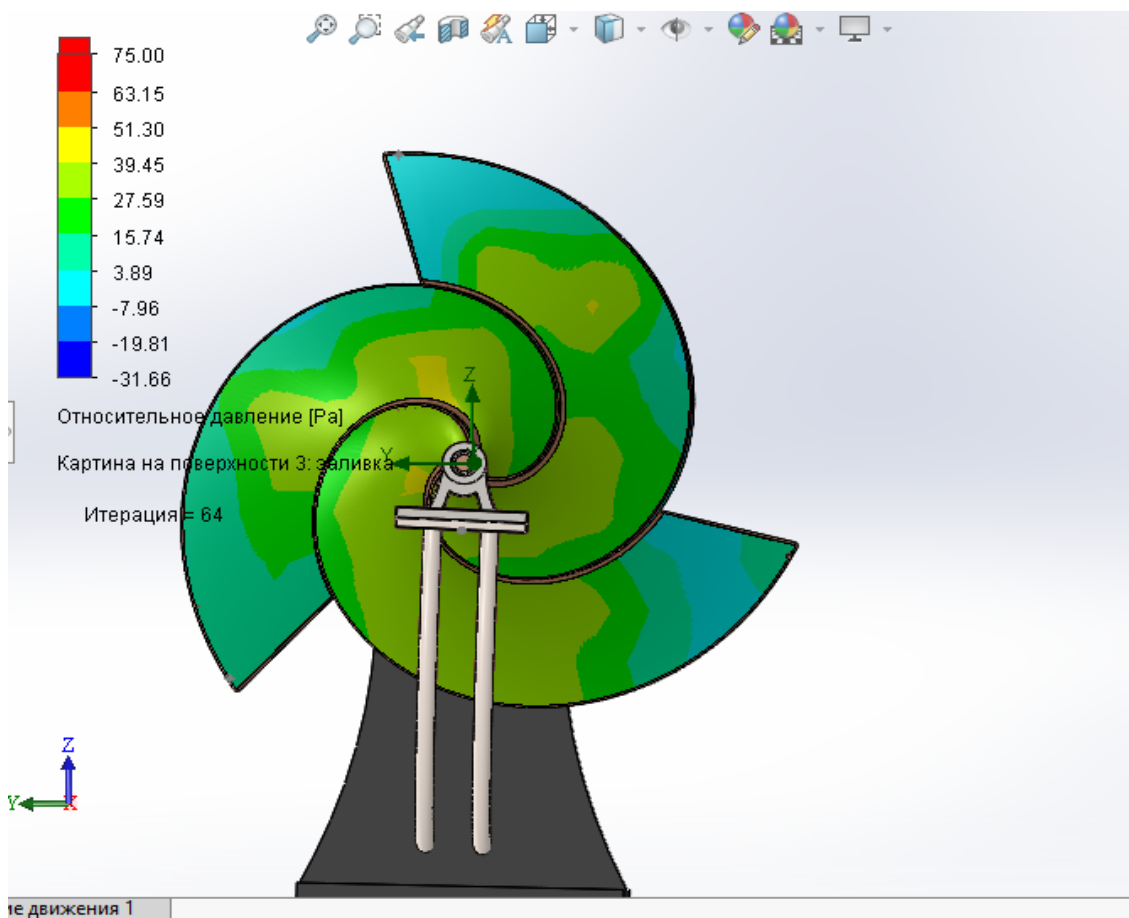


Рисунок 44 – Відносний тиск на поверхню без модифікацією

## Висновки

Аналізуючи потреби людей я дійшов висновку, що вітрова енергія може вирішити багато проблем, пов'язаних з: екологічною катастрофою, нестачею енергії та надмірного використання природних ресурсів. Це основні фактори, які стали поштовхом для розробки вітрової турбіни, яка не становить загрози навколишньому середовищу, птахам, та не створює великий рівень шуму.

В магістерській роботі:

1) проаналізовано найбільш популярні вітрогенератори, досліджено їх будову.

2) З допомогою сучасної системи тривимірного твердотілого моделювання Solid Works було розроблено модель вітроустановки, яка дозволяє проводити інженерний аналіз конструкції з метою оптимізації її геометричних параметрів.

3) На основі результатів новітніх досліджень в галузі аеродинаміки було запропоновано використати вихороперетворювачі на лопатях ротора вітроустановки та реалізовано їх в проекті.

4) Проведено аналіз обтікання ротора вітроустановки струменями повітря для базової конструкції та для варіанта з вихороперетворювачами. За результатами досліджень можна зробити висновок про ефективність модернізації конструкції.

## Список використаної літератури

1. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України [Електроний ресурс]. [Web-сайт ]. Режим доступу до ресурсу: <https://saee.gov.ua/uk/activity/vidnovlyuvana-enerhetyka>
2. Навчальні матеріали онлайн [Електроний ресурс]. [Web-сайт ]. Режим доступу до ресурсу: <https://pidru4niki.com/1164071137972/ekologiya/bioenergetika>
3. Енергія природи [Електроний ресурс]. [Web-сайт ]. Режим доступу до ресурсу: <https://alternative-energy.com.ua/uk/vocabulary>
4. Енергія природи [Електроний ресурс]. [Web-сайт ]. Режим доступу до ресурсу: <https://alternative-energy.com.ua/uk/vocabulary/>  
/%d0%b3%d0%b5%d0%be%d1%82%d0%b5%d1%80%d0%bc%d0%b0%d0%bb%  
d1%8c%d0%bd%d0%b0-  
%d0%b5%d0%bd%d0%b5%d1%80%d0%b3%d0%b5%d1%82%d0%b8%d0%ba%d  
0%b0/
5. Сонячна енергетика у світі [Електроний ресурс]. [Web-сайт ]. Режим доступу до ресурсу: <https://knowledge.allbest.ru/physics/3c0a65635b2bc79a4d53b88421216d370.htm>  
!
6. Основи вітроенергетики: підручник / Г. Півняк, Ф. Шкрабець, О75 Н. Нойбергер, Д. Циценков
7. Вікіпедія [Електроний ресурс]. [Web-сайт ]. Режим доступу до ресурсу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B8%D0%B4%D1%80%D0%BE%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0>

8. SolidWorks – світовий стандарт автоматизованого проектування [Електронний ресурс].

Режим доступу:

<http://commit.name/index.php?MainShowID=104&lang=ua>

9. SolidWorks

[Електронний ресурс]. Режим доступу:

<https://ru.wikipedia.org/wiki/SolidWorks>

10. Екоцентр: впровадження систем на альтернативних джерелах енергії

[Електронний ресурс]. [Web-сайт]. Режим доступу до ресурсу:

<http://www.ecosvit.net/ua/gorizontalni-vitrogeneratori-vitrovi-elektrostantsii-vitryak>

11. Брыляков, А.П. Відрив потоку на прямому крилі при підвищенні зовнішньої турбулентності [Текст]/ А.П. Брыляков, Г.М. Жарнова, Б.Ю. Занин // Вчені записи Цаги. Т. 35. - 2004. - 52 с.

12. Павленко, А.М. Вивчення вихрової структури відривних течій і методів управління відривом на моделях крил при малих числах Рейнольдса: авторові. дис. на соиск. уч. міри канд. тех. наук: спец. 01.02.05 "Механіка рідини, газу і плазми" [Текст] / А. М. Павленко; Ін-т теор. і прикладної механіки ім. С.А. Христиановича Сибірського отд. РАН. - Новосибірськ, 2011. - 21 с.

13. Іщенко, С.О. Методи та засоби керування поздовжніми вихровими структурами та їх дослідження [Текст] / С.О. Іщенко - К.: НАУ, 2010. - 120 с. 4.

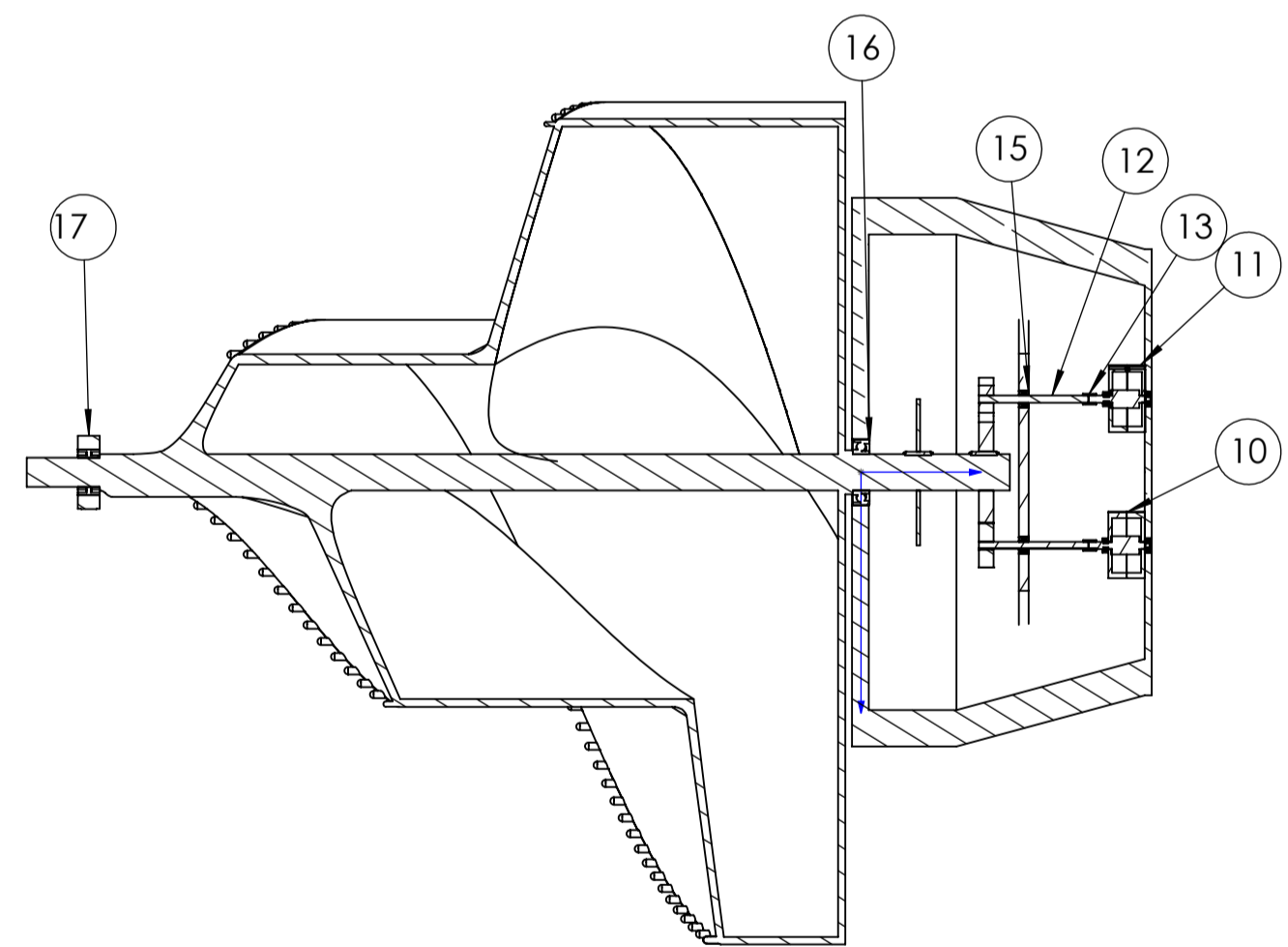
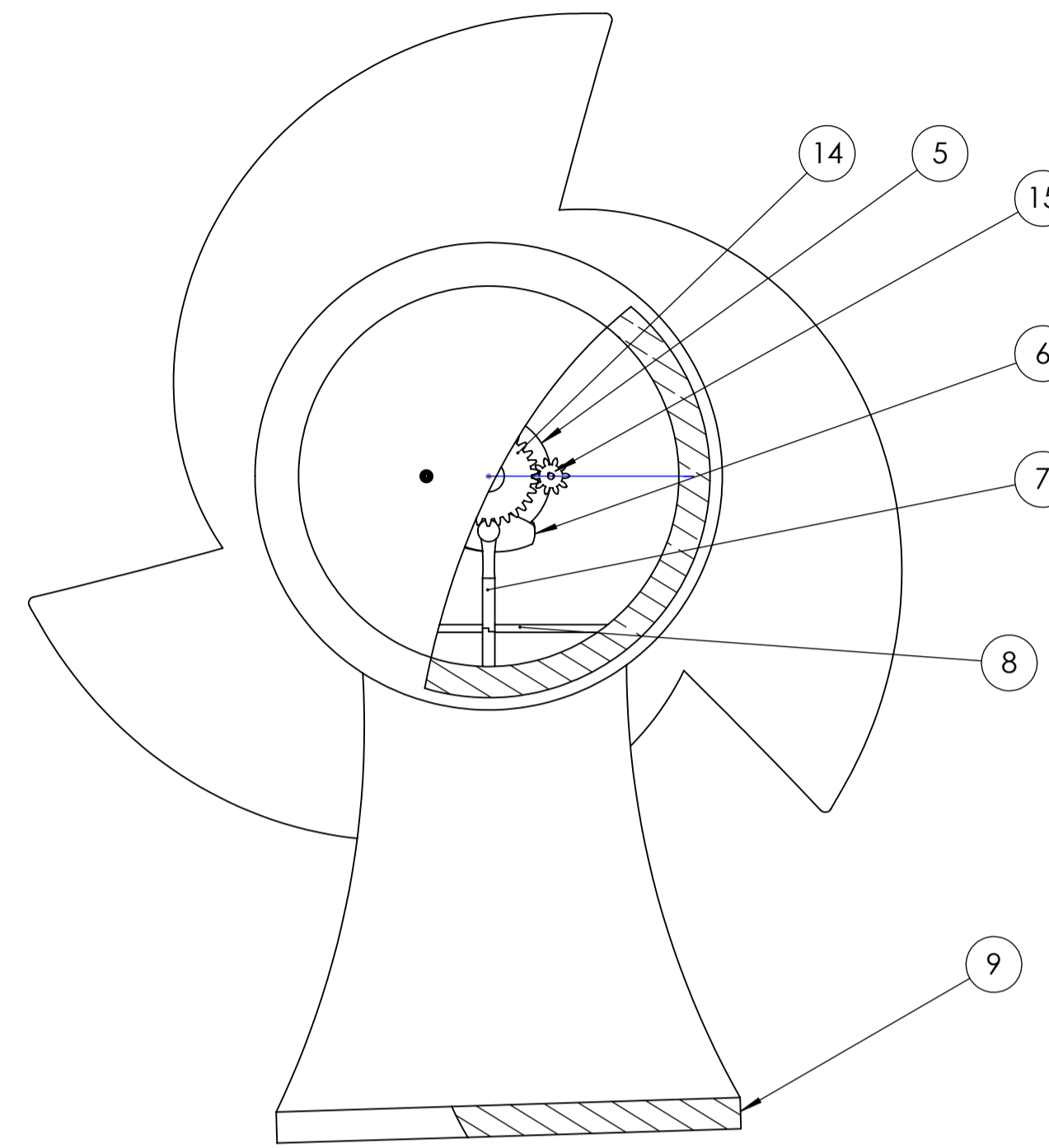
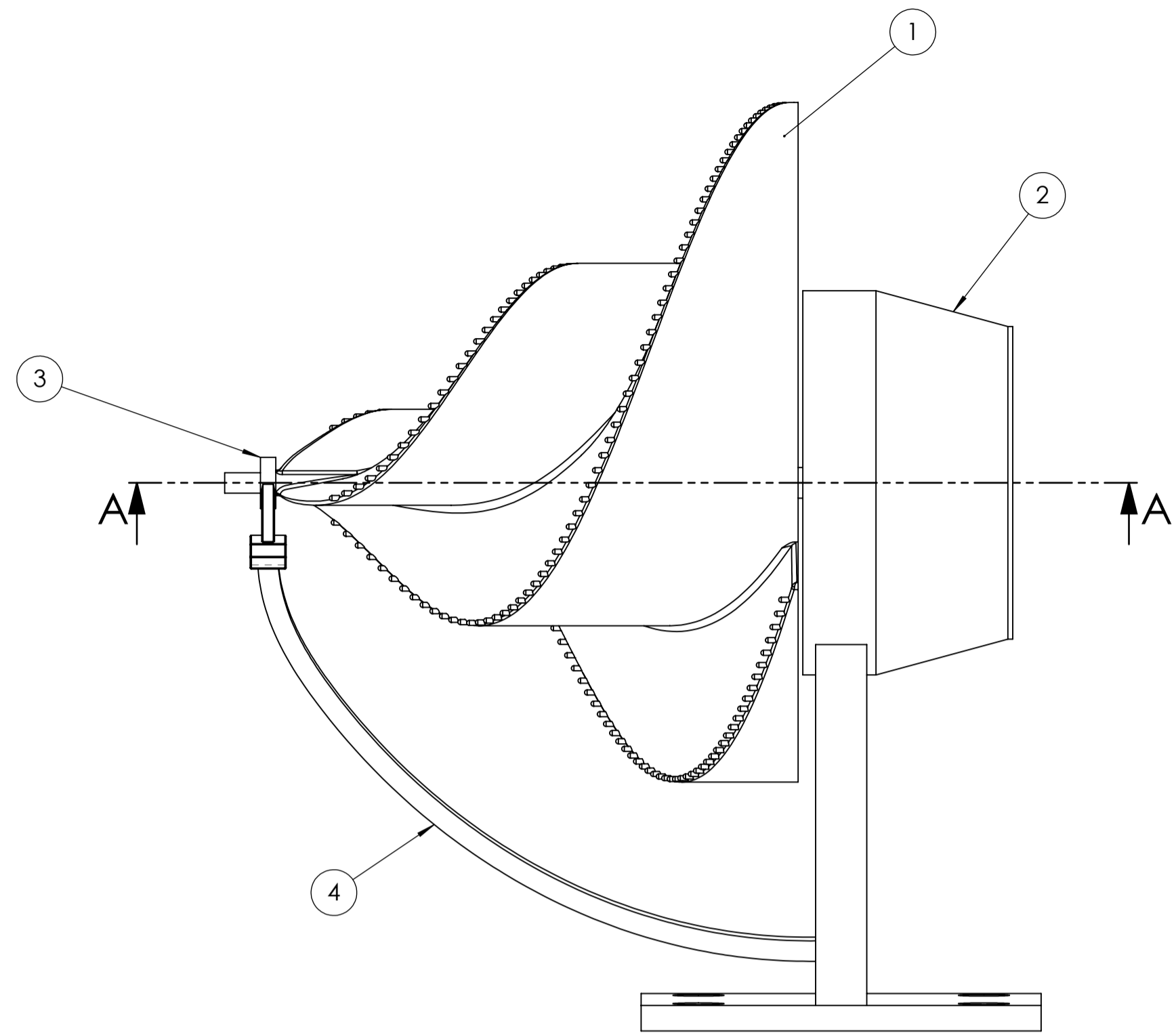
Бюшгенс, Г.С. Аеродинаміка, стійкість і керованість надзвукових літаків [Текст] / Г.С. Бюшгенс - М.: Наука, Физматлит, 1998. - 816 с.

14. Бюшгенс, Г.С. Аеродинаміка, стійкість і керованість надзвукових літаків [Текст] / Г.С. Бюшгенс - М.: Наука, Физматлит, 1998. - 816 с.

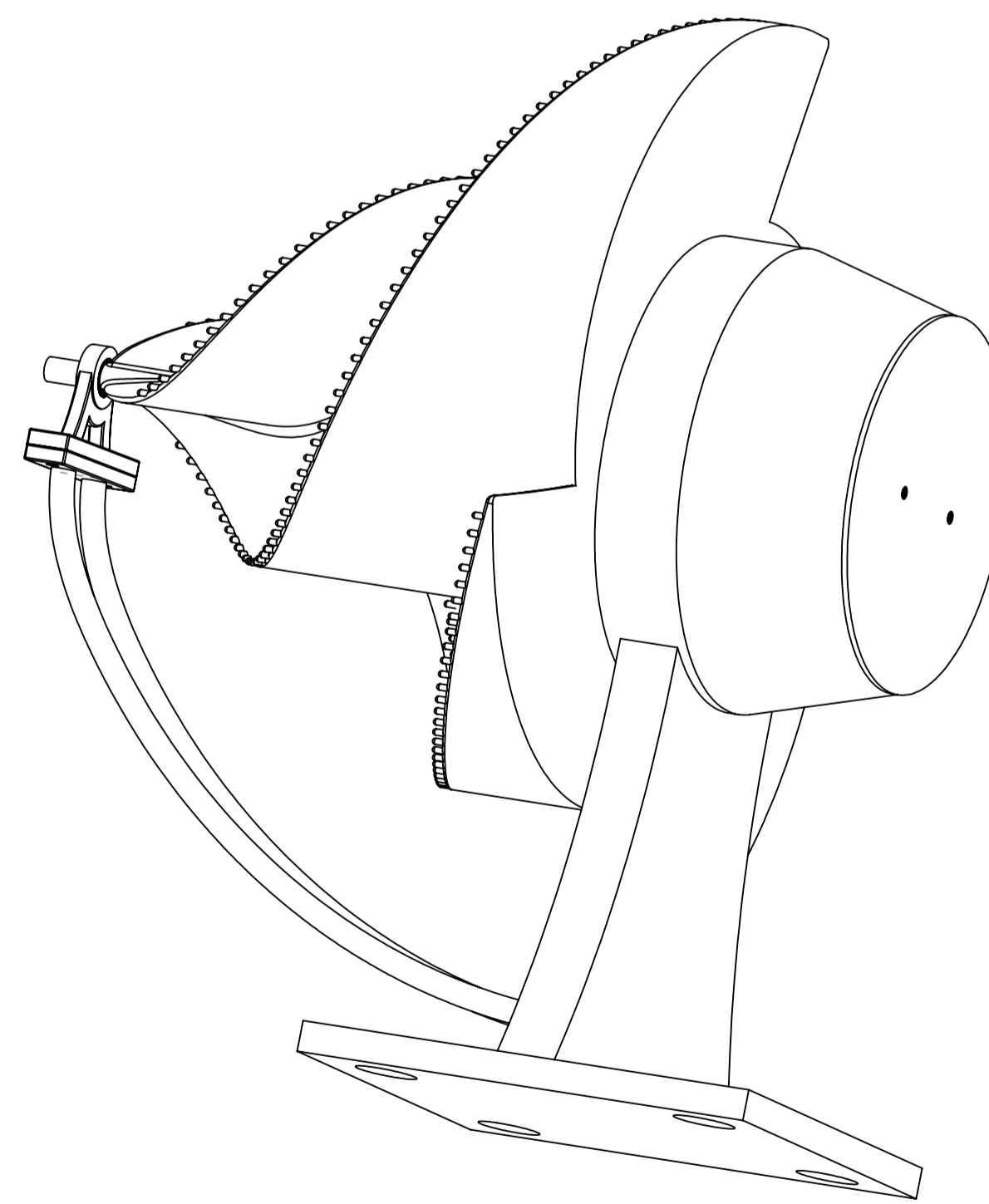
15. Бюшгенс, Г.С. Аеродинаміка і динаміка польоту магістральних літаків [Текст] / Г.С. Бюшгенс - М.: Наука, Физматлит, 1995. - 798 с.

16. Krzysiak, A. Applikation of a new concept of air jet vortex generators for flow control [Текст] / A. Krzysiak - (-000-0-) - Transaction of the institute of aviation, 2011. - 314 с.
17. Stanway, M.J. Hydrodynamic effects of leading tubercles on control surfaces and flapping foil propulsion [Текст] / M.J. Stanway - (-000-1-) - MTI, 2008. - 98 с.
18. Патент Р.Ф. No2328411. Спосіб управління відривом потоку [Текст] / Занин Б.Ю., Козлов В.В.; заявник Занин Б.Ю. 2008. - 4 с.
19. Патент України No67743. Генератор вихорів / Щербонос О.Г., Ударів Є.П.; заявник Національний авіаційний університет. 2012. - 4 с.
20. Фреймут, П. Візуалізація вихрової системи крила в прискореному потоці / П. Фреймут, Ф. Файнэш, В. Бенк - М.: Аерокосмічна техніка No7. 1988. - 44.
21. Onipko Rotor  
[Електроний ресурс]. [Web-сайт ]. Режим доступу до ресурсу:  
<https://onipko.com/contacts/>

#### **Додатки**

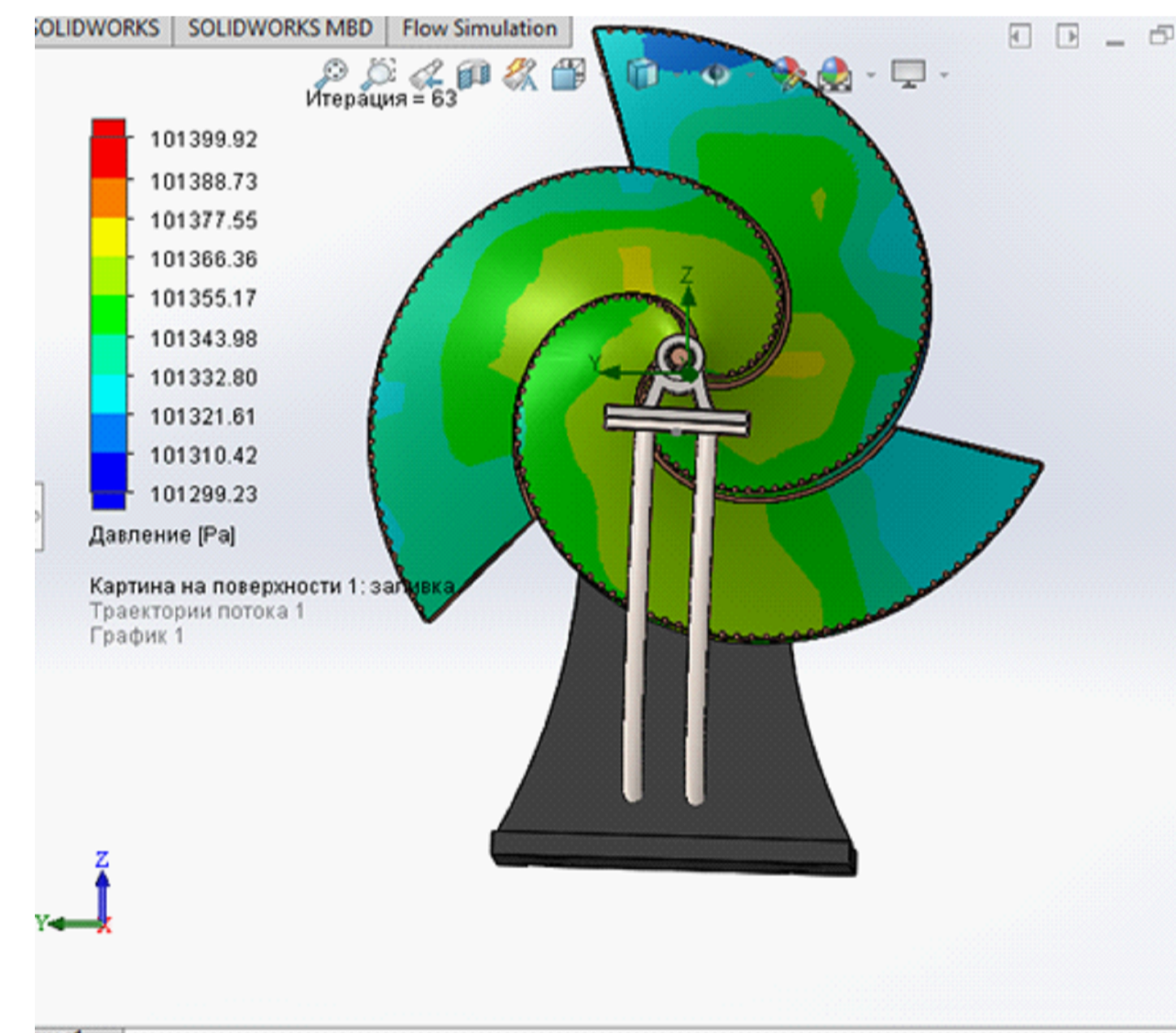
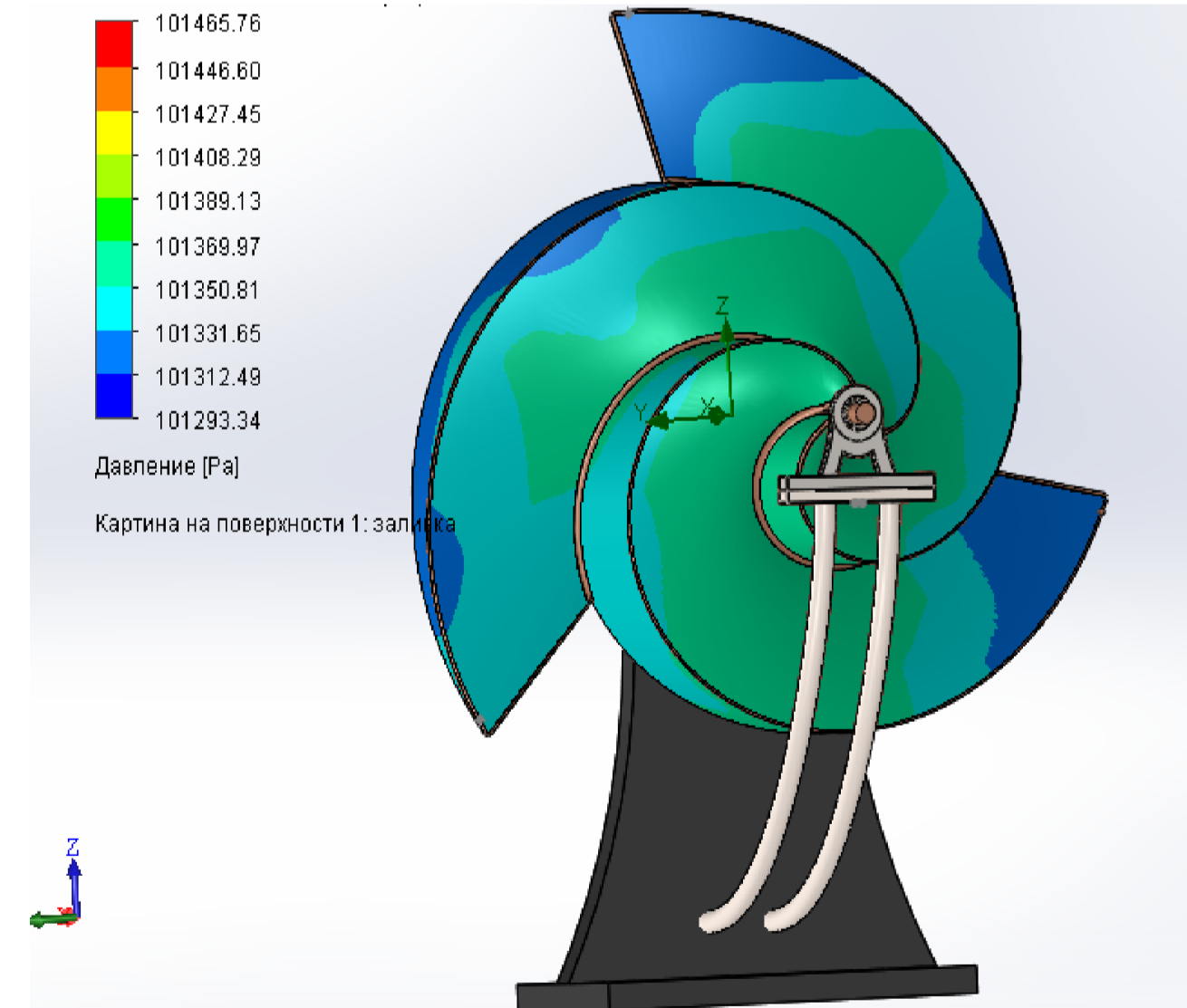
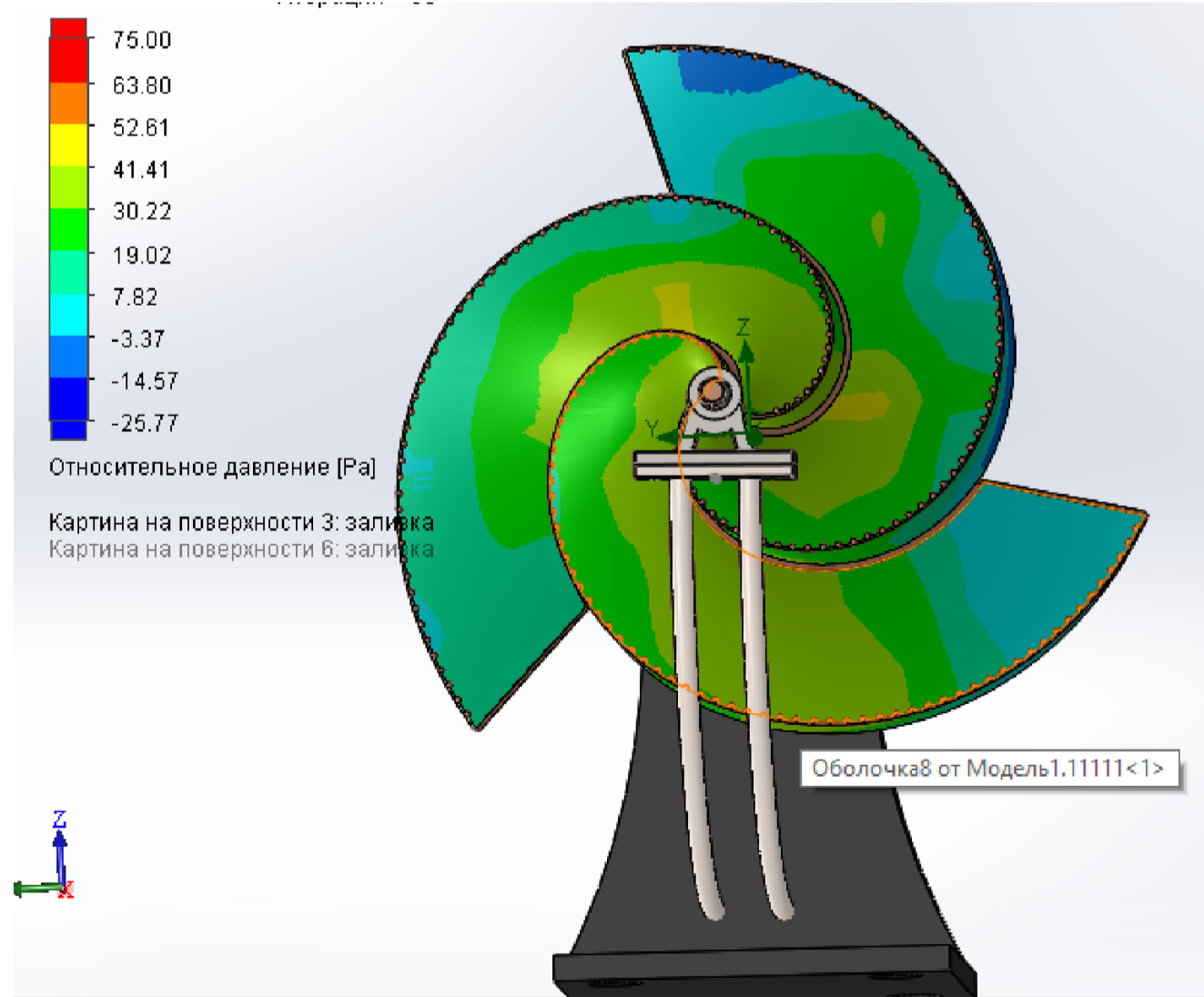
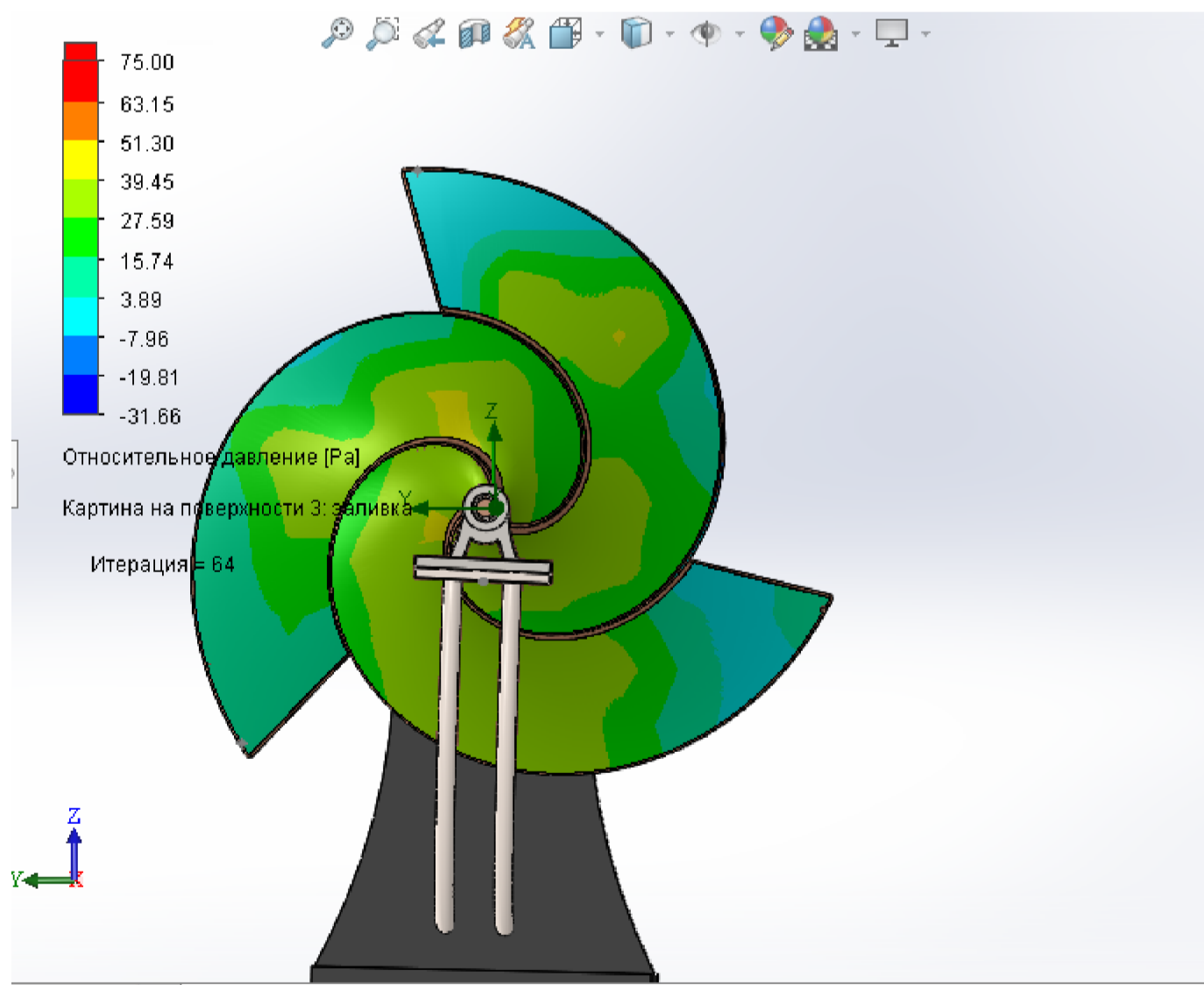
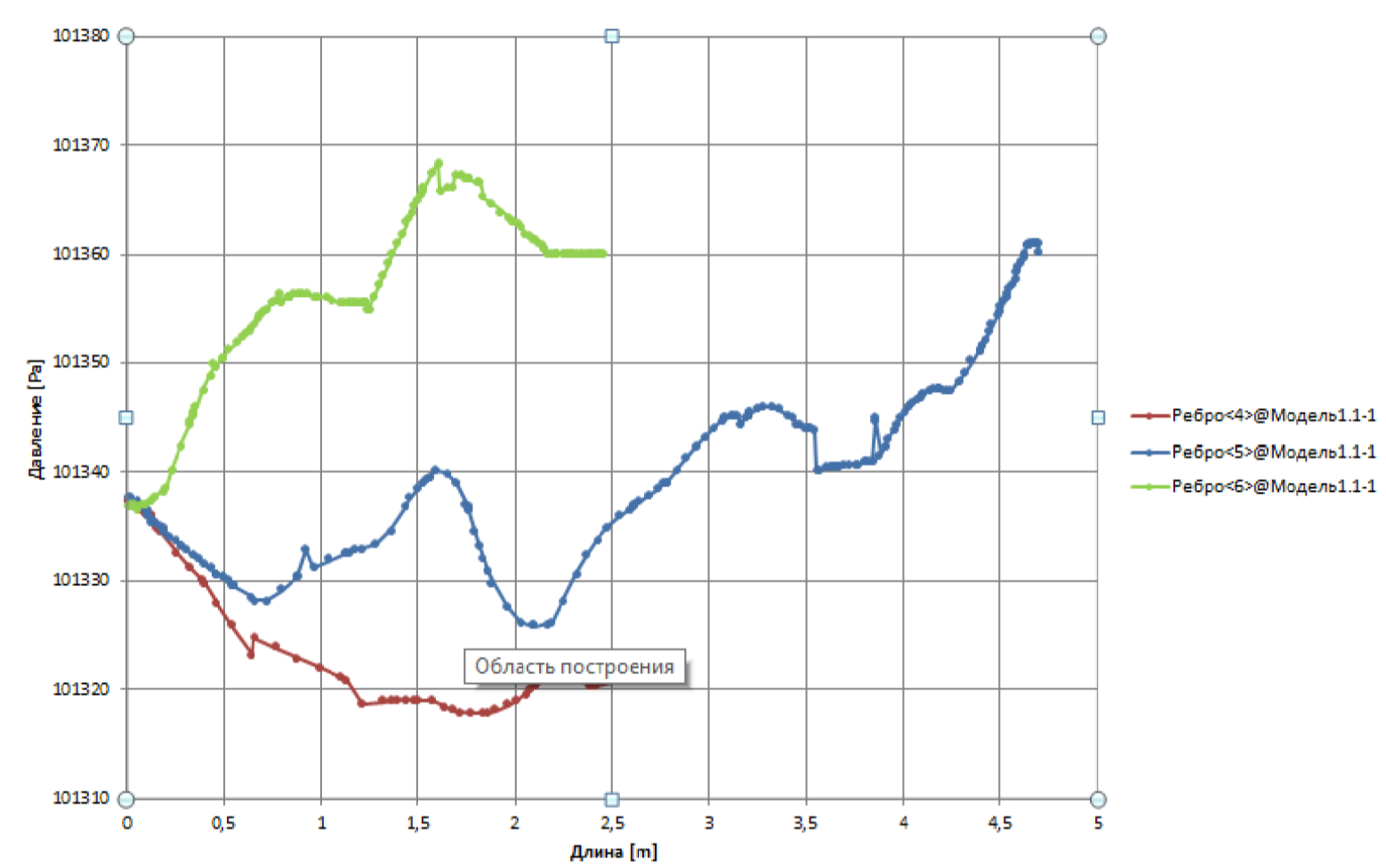
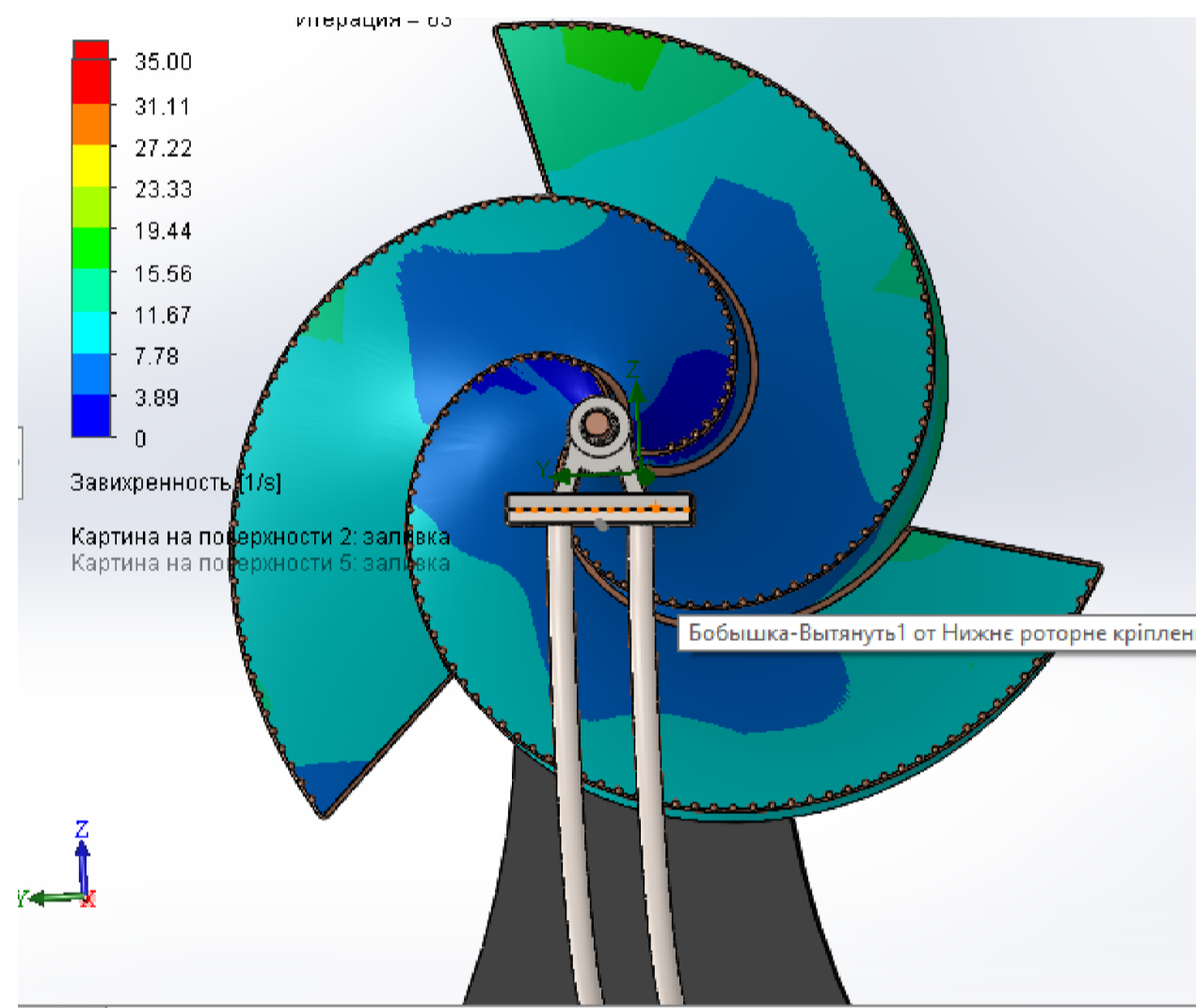
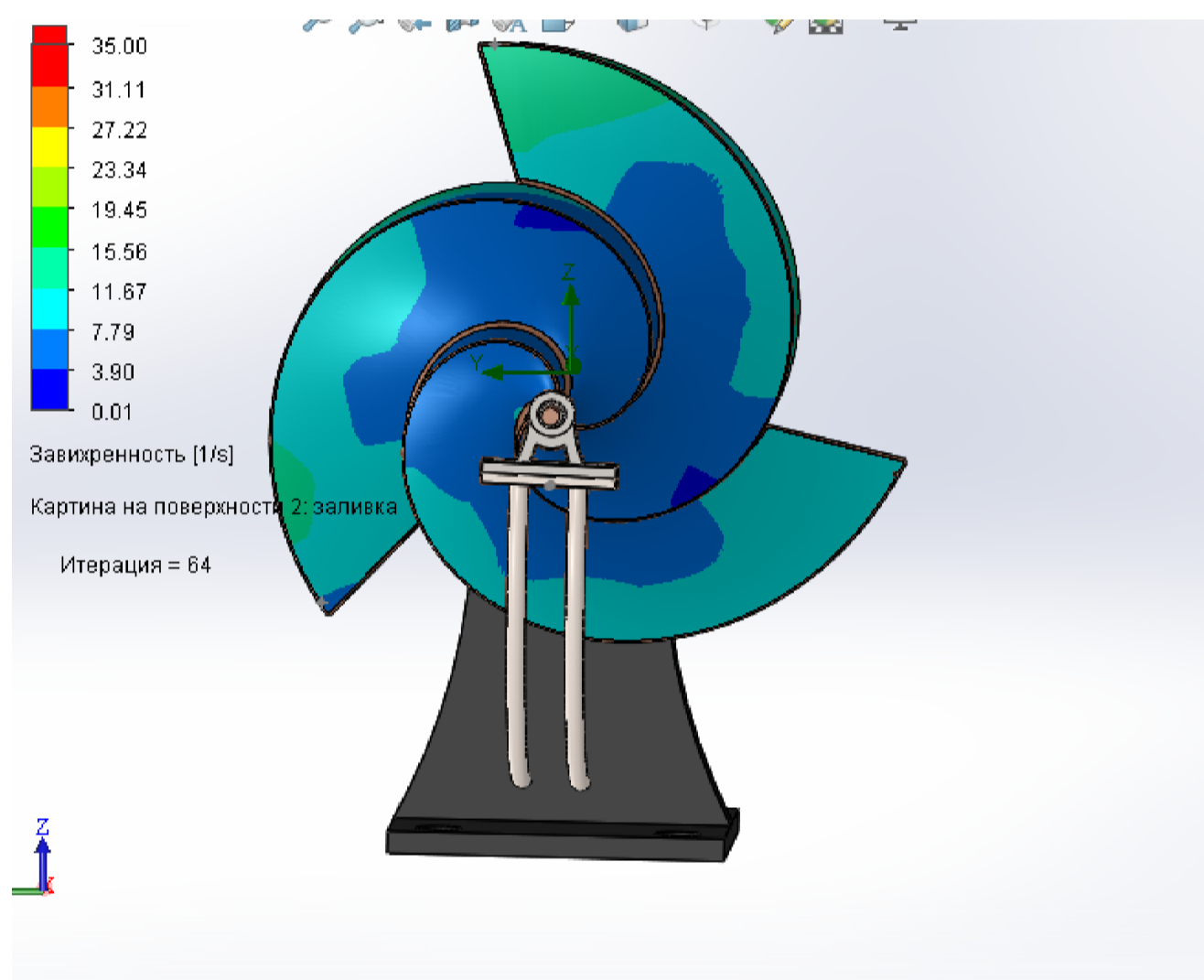
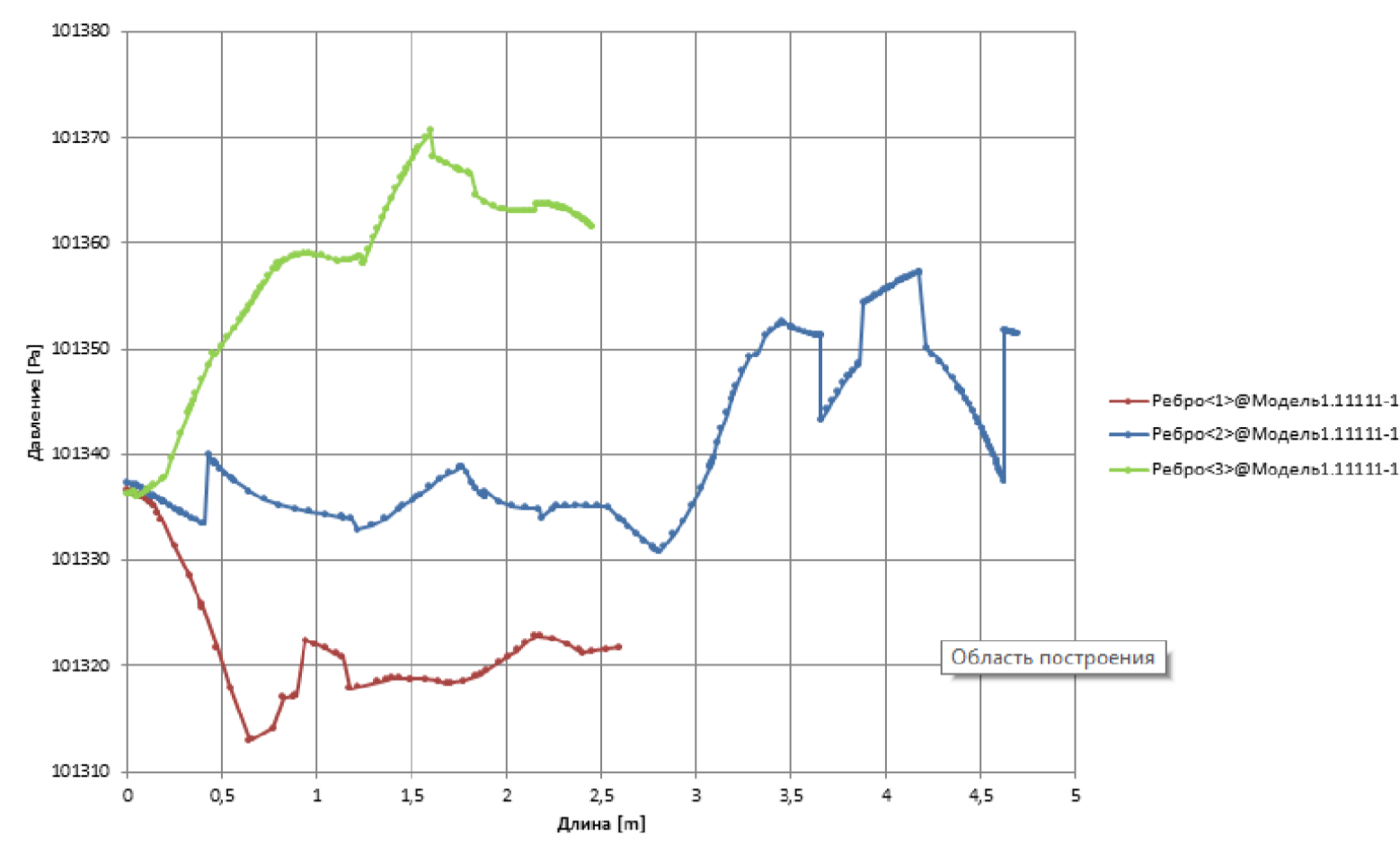
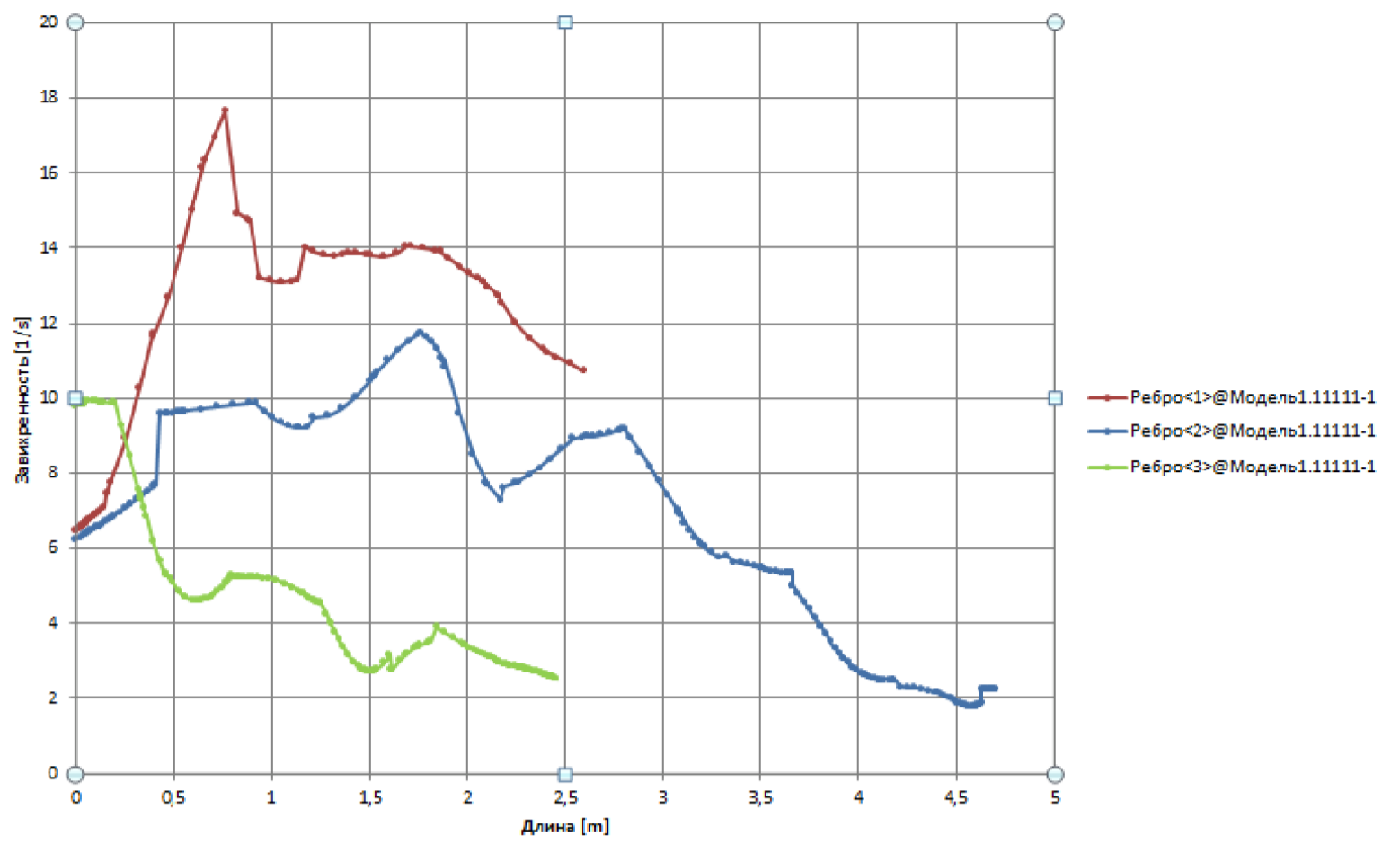
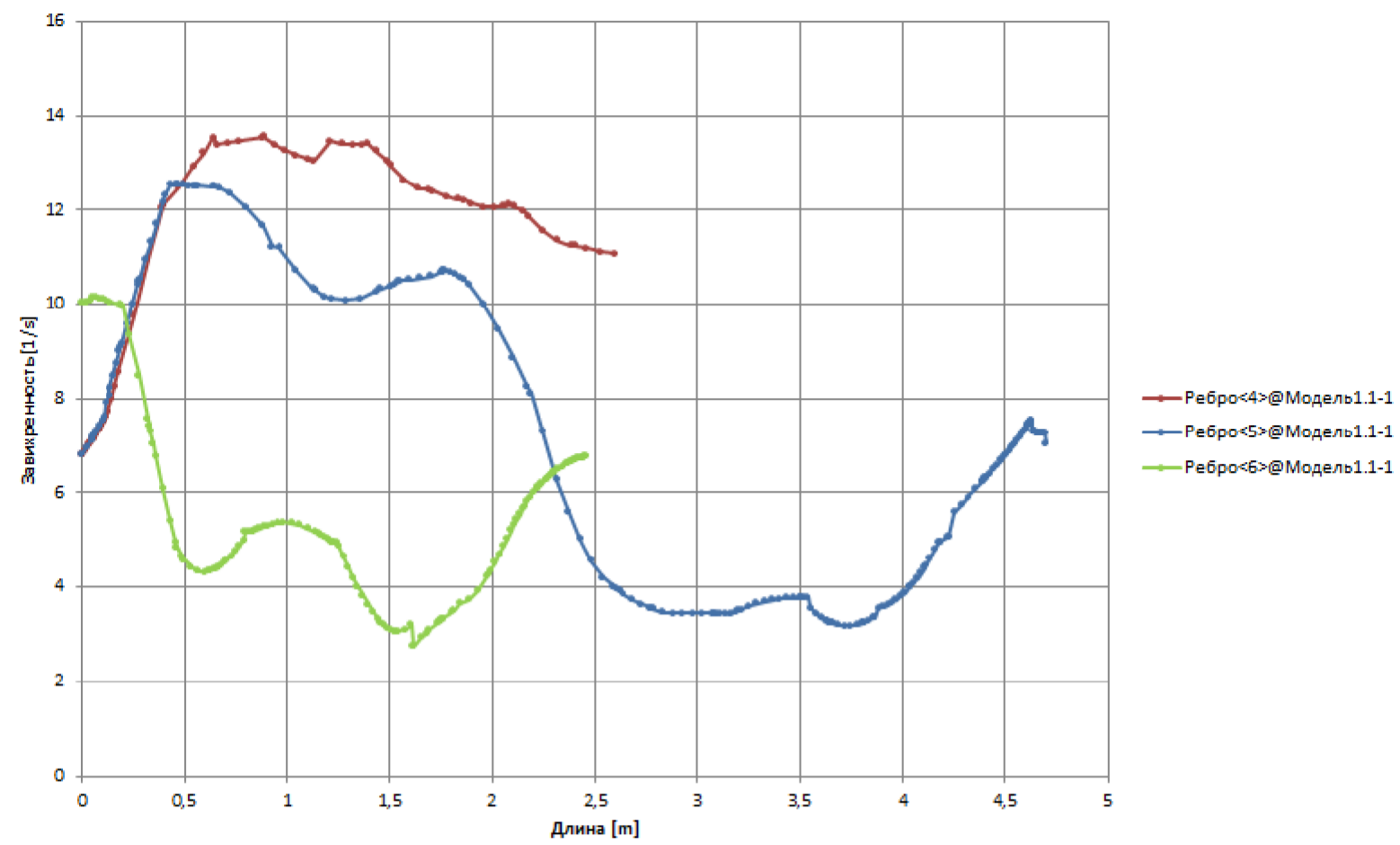


A-A

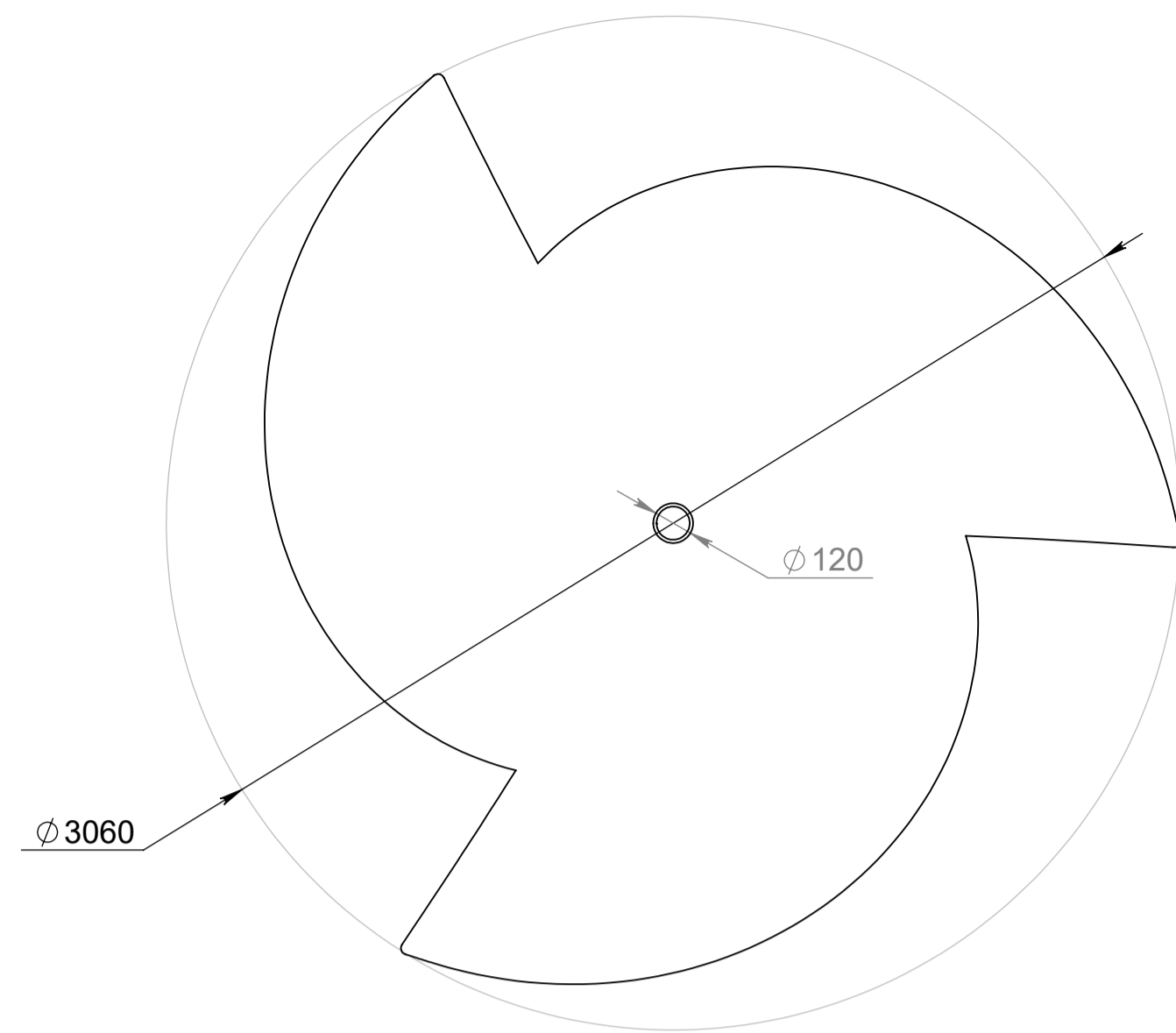


				MP.ПМКМ-34.00.00.000 СК				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Вітрогенератор	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.	Фарилюк Р.							1:5
Пров.	Врюкало В.							
Т. контр.						Лист 1	Листов 1	
Н. контр.						ІФНТУНГ ПМКМ-20-1		
Утв.								

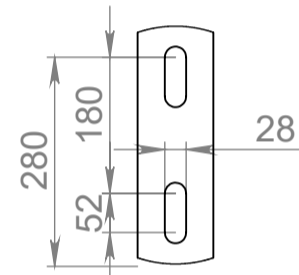
Изм. № подл. Подп. и дата Взам. инв. № Инв. № дубл. Подп. и дата Справа № Пере. примен.



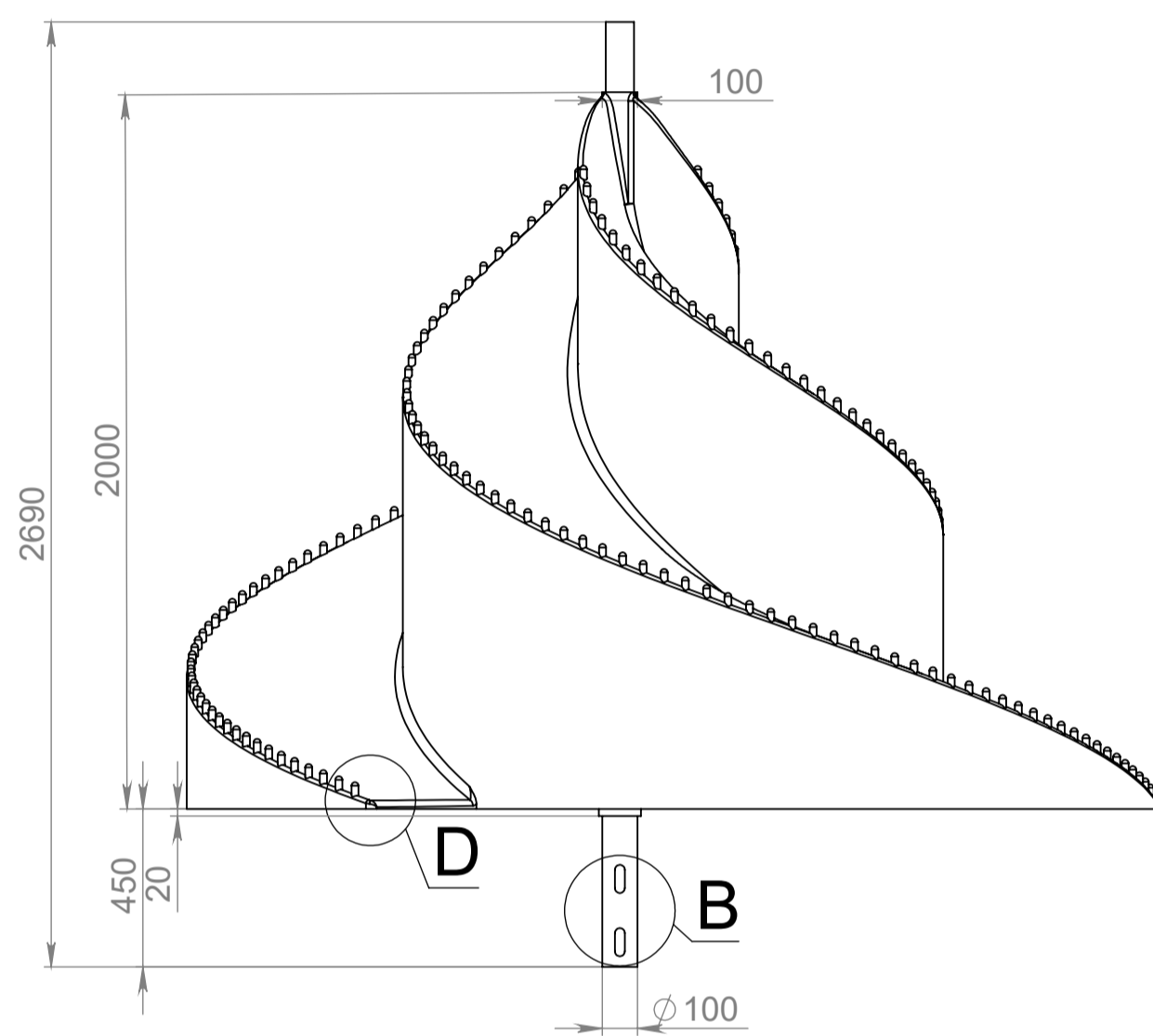
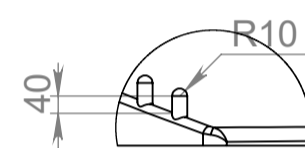
MP.ПМКМ-34.00.00.000				Епюри досліджень		
Лит.	Масса	Масштаб		Лит.	Масса	Масштаб
		1:1				
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Листов 1	
Разраб.	Фарилюк Р.				ФНТУНГ	
Пров.	Врюкало В.				ПМКМ-20-1	
Т. контр.						
Н. контр.						
Утв.						



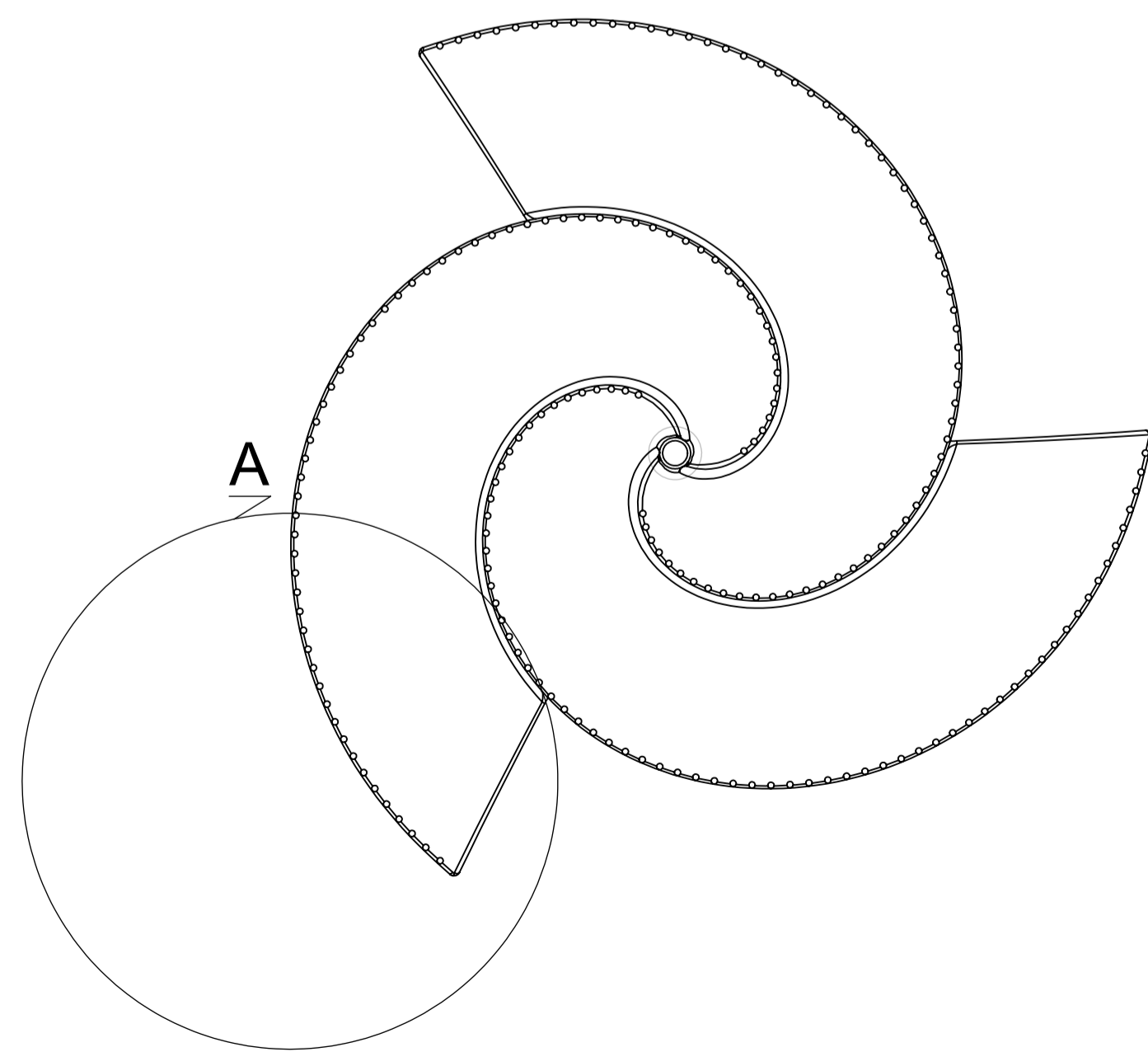
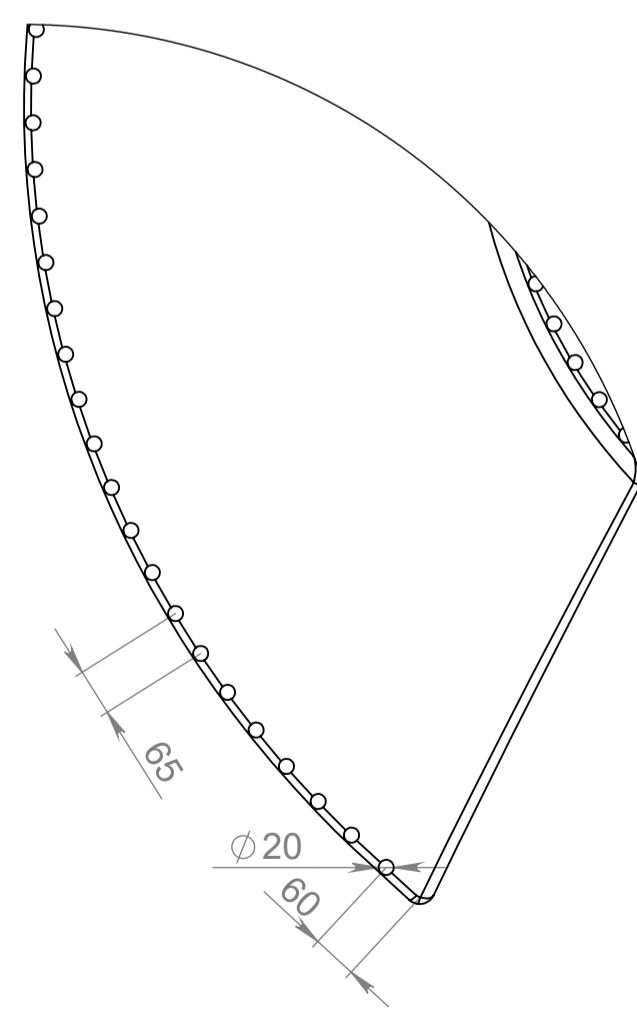
B (1 : 10)



D (1 : 10)



A (1 : 10)



Примітка

Радіус скруглень не вказаних кромки 1 см  
Глибина шпонкових пазів — 0,5 см, за ГОСТ 23360-78  
Товщина стінки лопастей 2 см

Парметри формоутворюючих спіралей

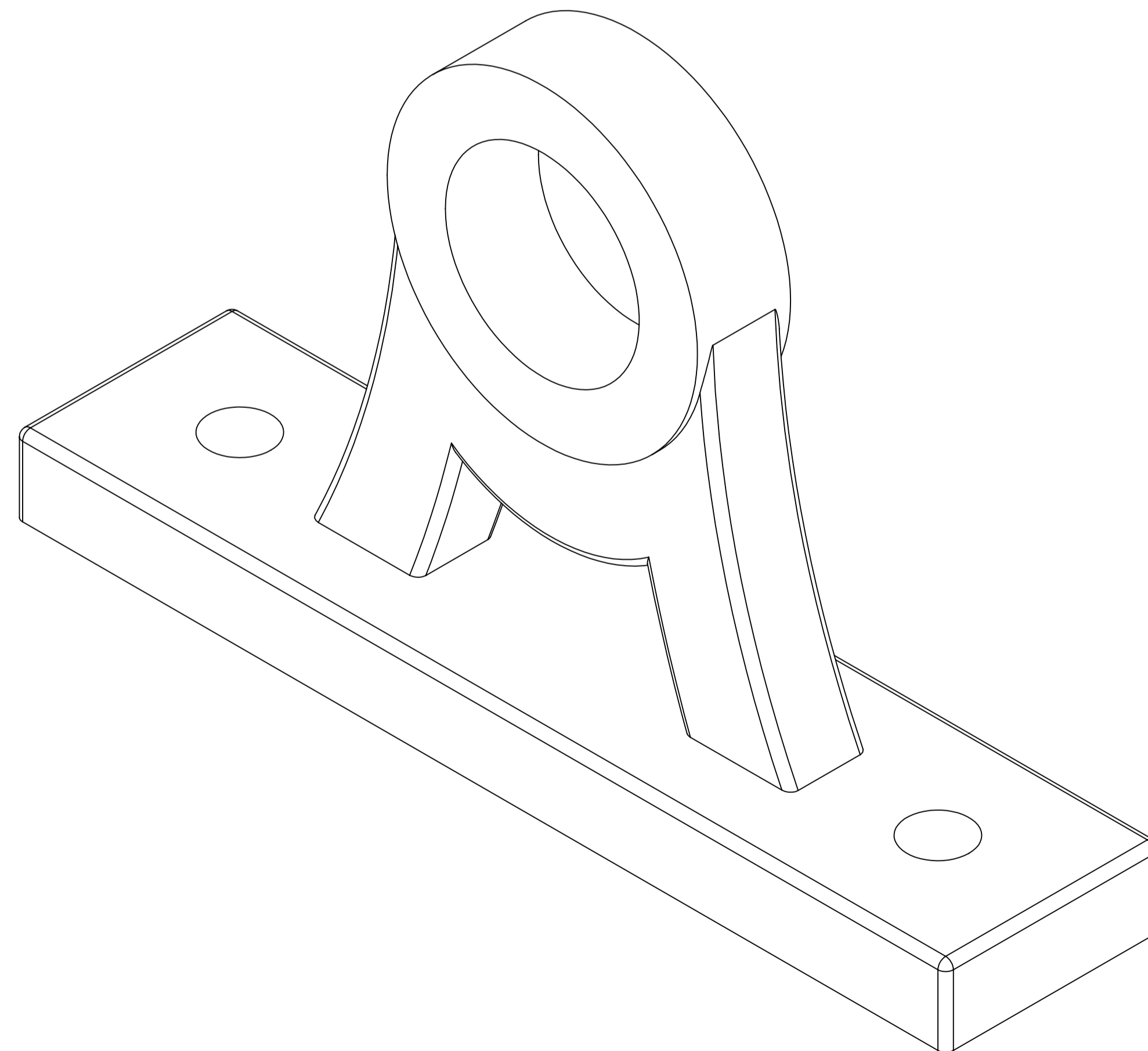
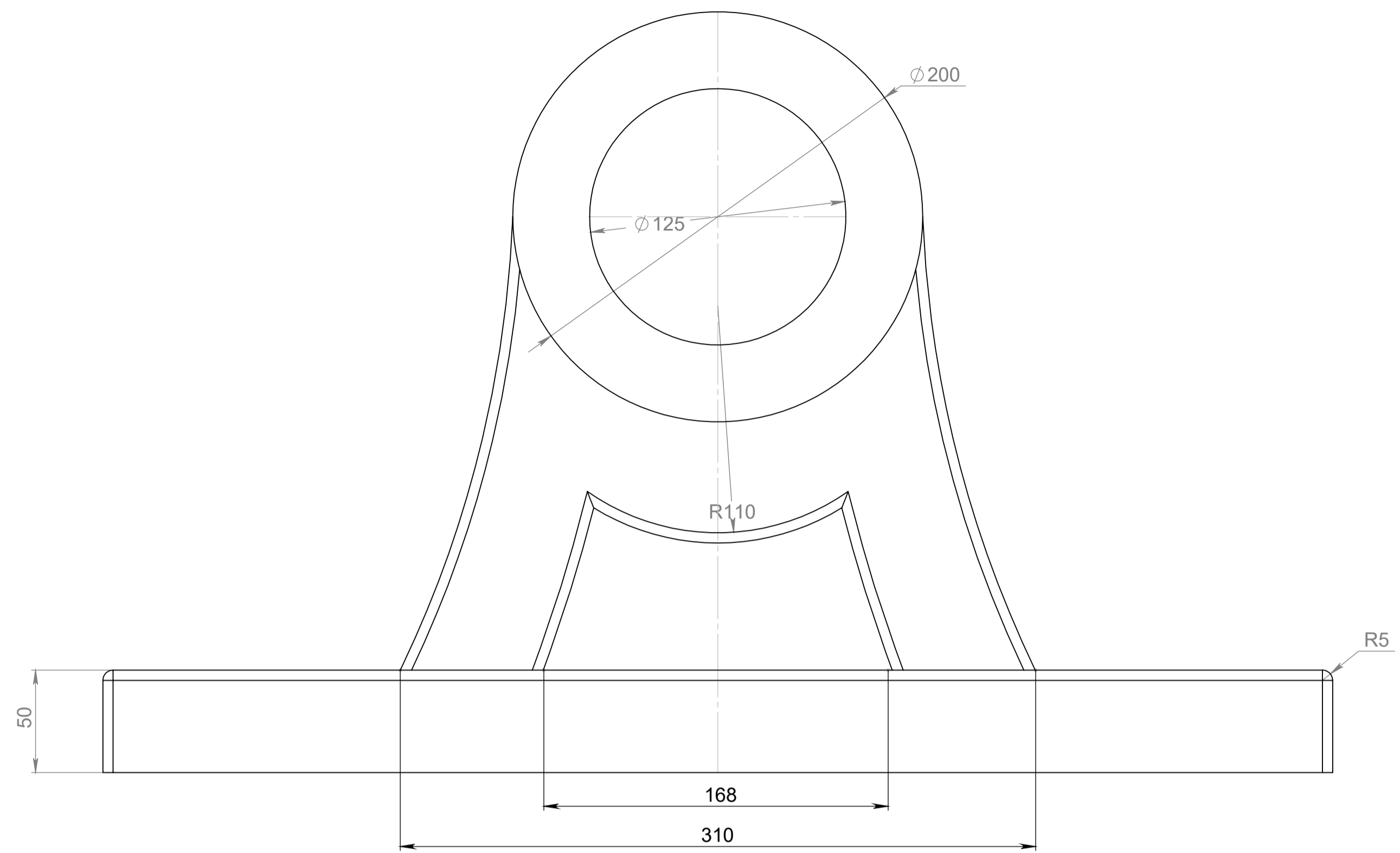
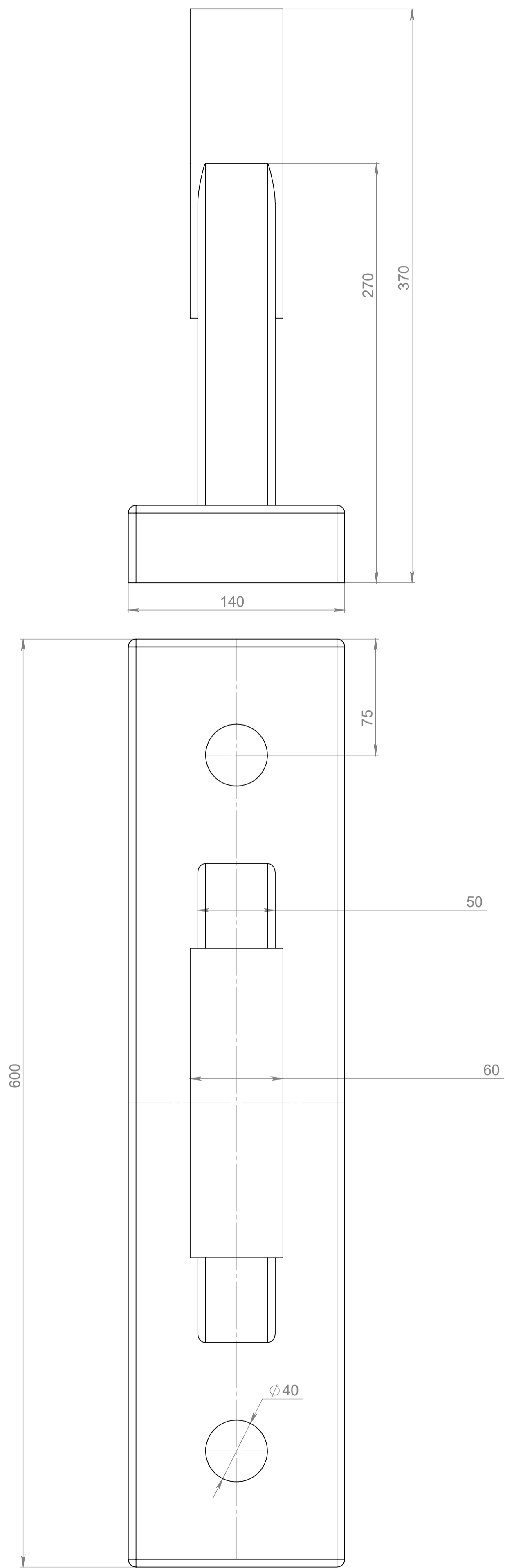
№	1	2	3
Висота	200 см	-	200
Крок	265.54см	195.15	270.15
Початковий діаметр	6см	6	6
Кінцевий діаметр	300см	300	6
Кут нахилу	36.316	-	-
Поворот	7.532	7.532	7.403

MP.ПМКМ-34.00.00.000

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Фарилюк Р.				882	1:20
Пров.		Врюкало В.					
Т. контр.					Лист 1		Листов 1
Н. контр.							ФНТУНГ
Утв.							ПМКМ-20-1

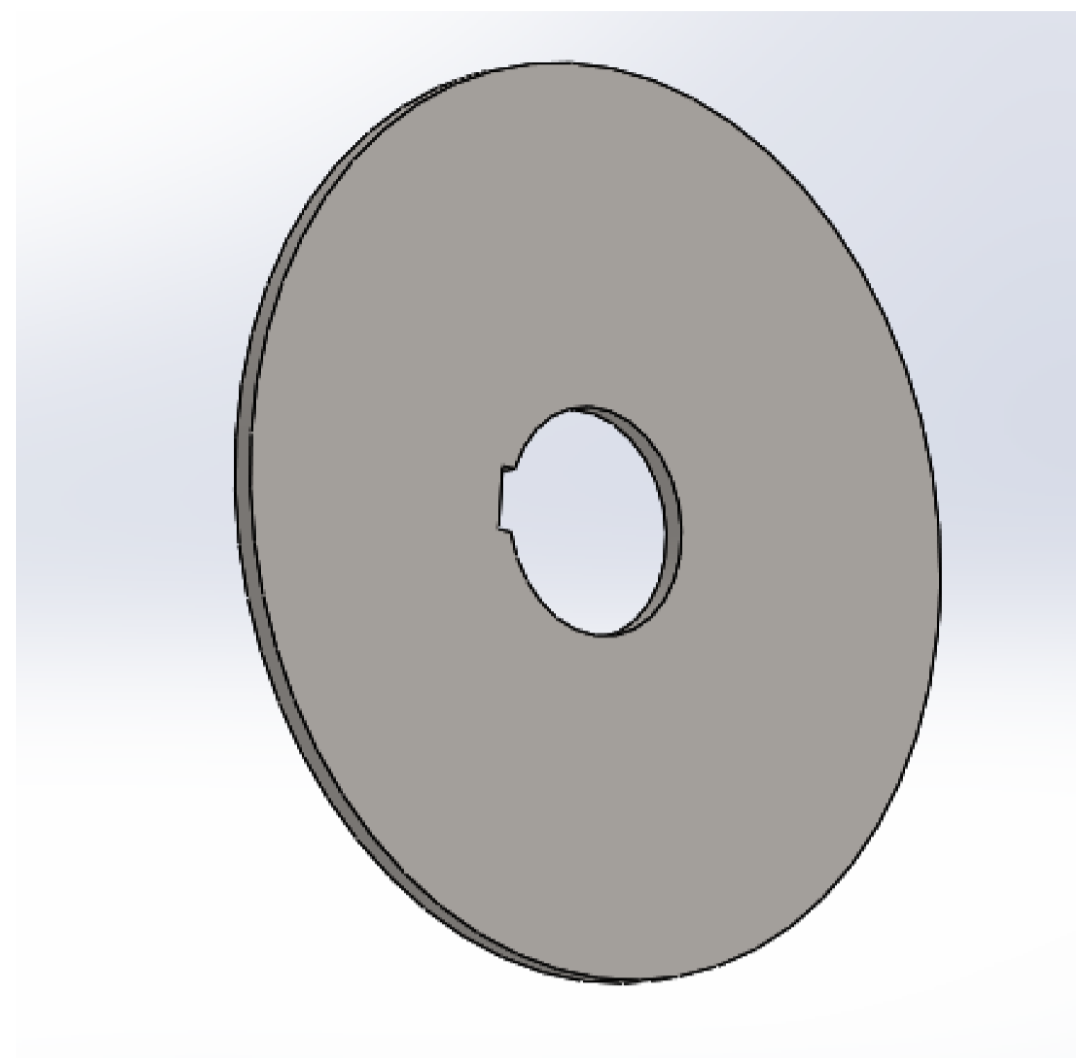
Турбіна

Лист 1

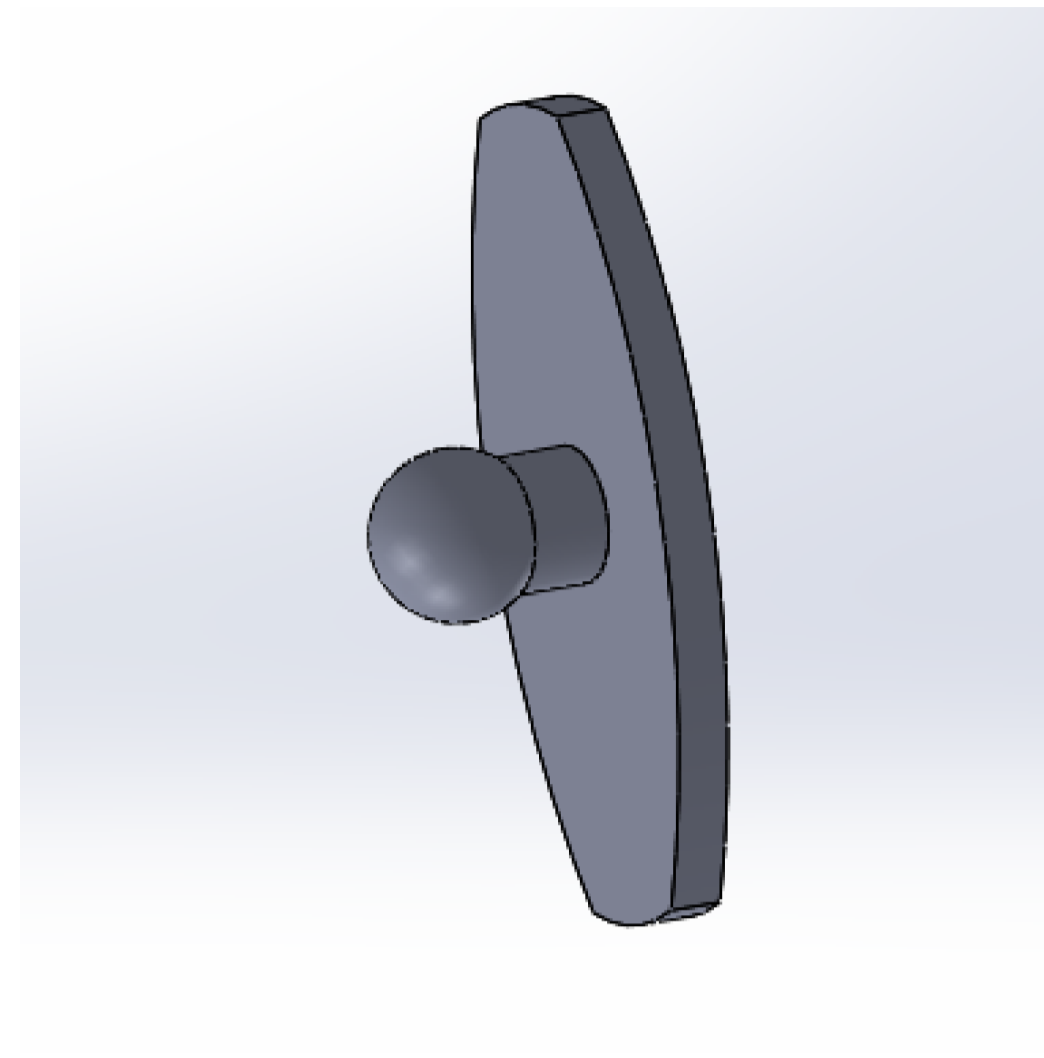


Изм.				Лист				№ докум.				Подп.				Дата											
Разраб.				Фарилюк Р.				Пров.				Врюкало В.				Т. контр.											
Н. контр.				Утв.																							
MP.ПМКМ-34.00.00.000												Кронштейн				Лит.				Масса				Масштаб			
																1:1											
Лист 1												Листов 1				ФНТУНГ				ПМКМ-20-1							
1 Копировал																				Формат А1							

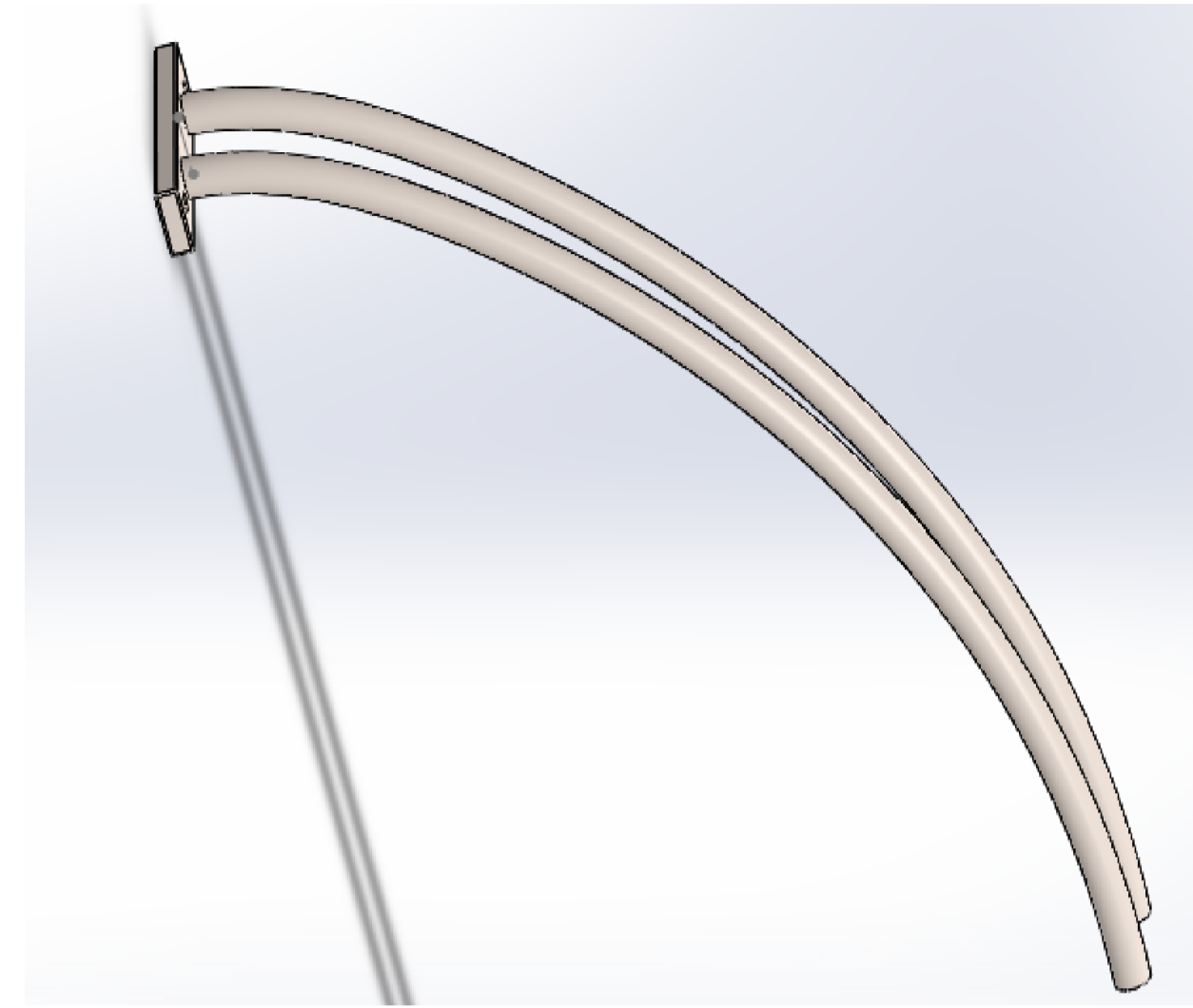




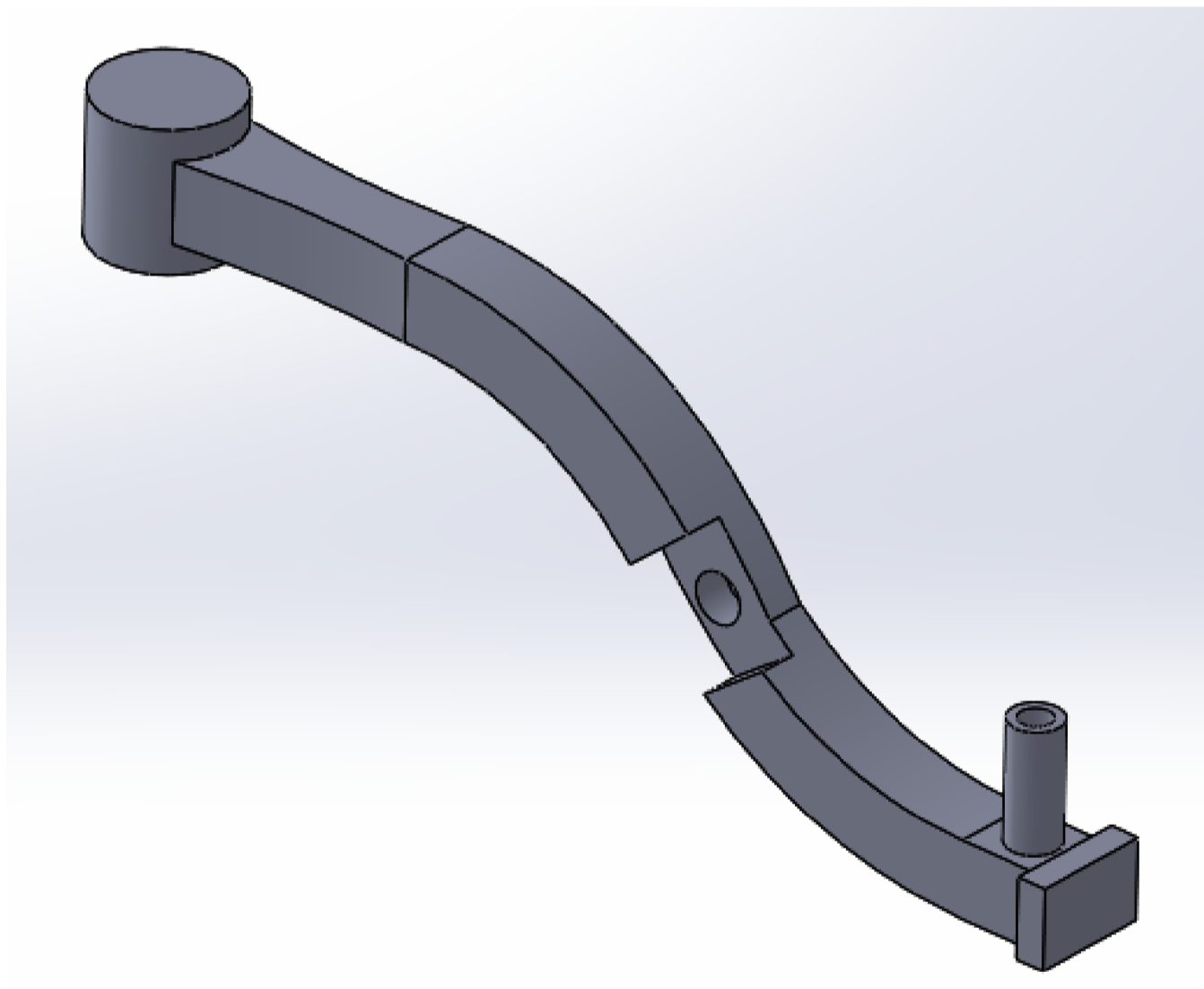
Гальмівний диск



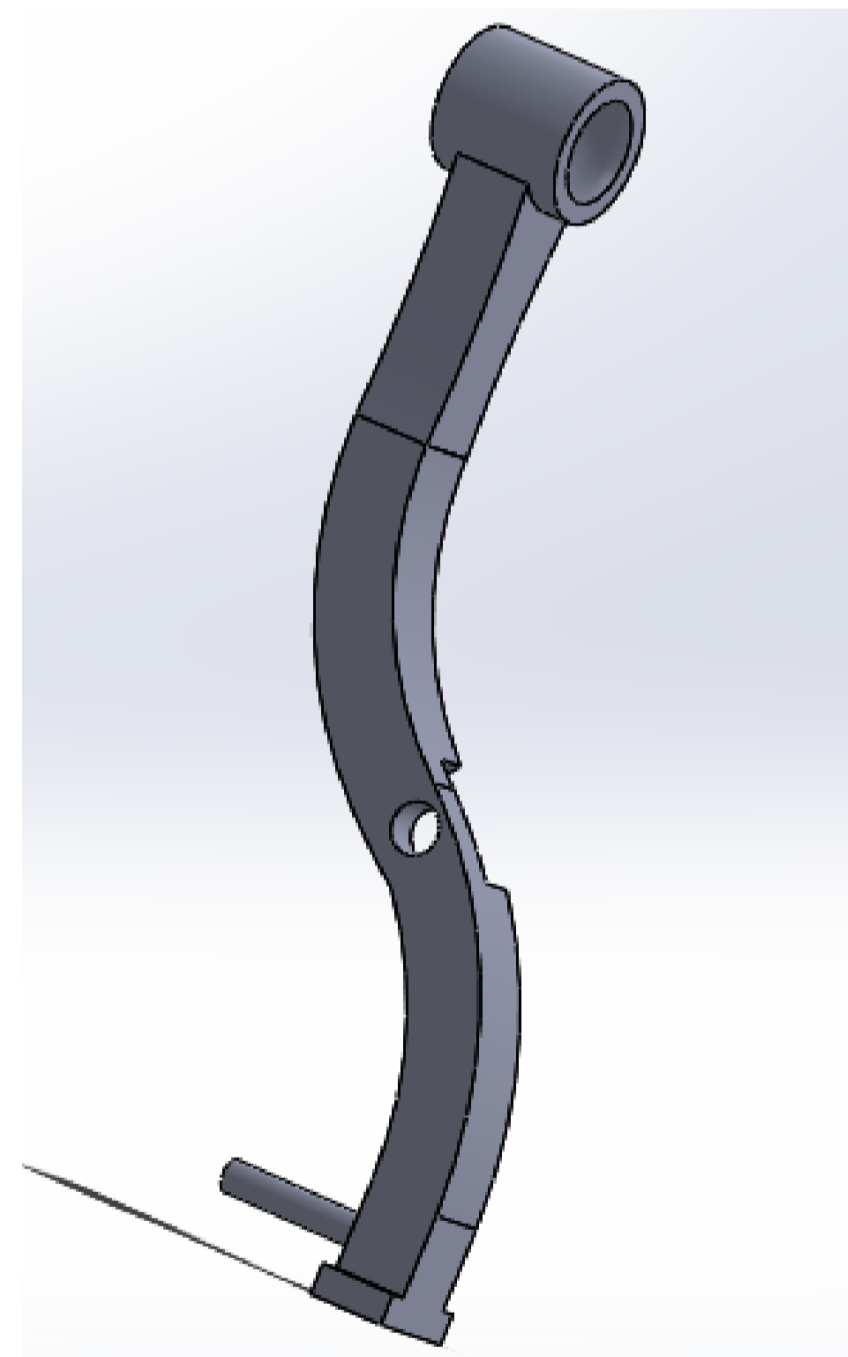
Гальмівна колодка



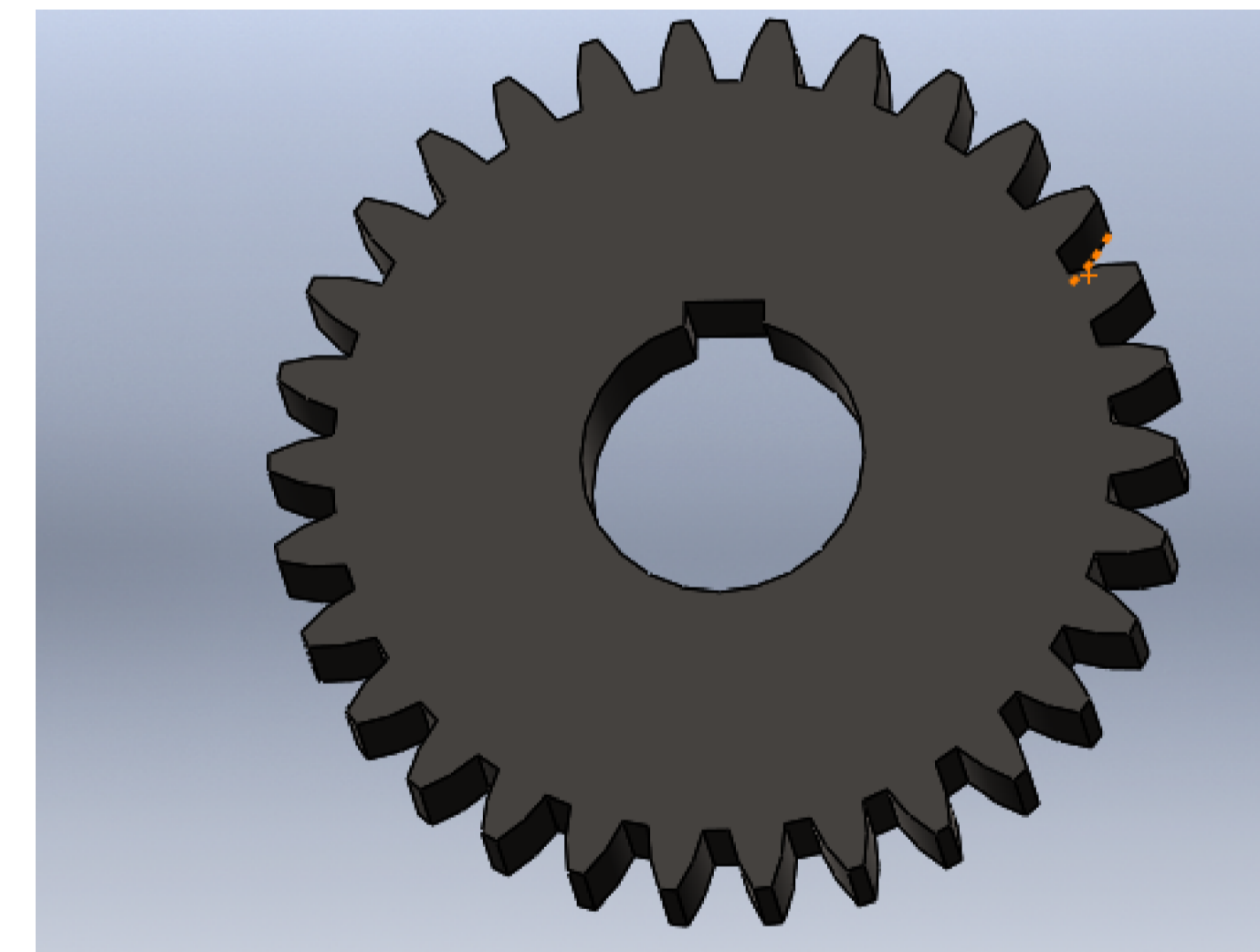
Стойка опорна



Під колодку ліва



Під колодку права



Шестерня велика

MP.ПМКМ-34.00.00.000					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
Разраб.		Фарилюк Р.			
Пров.		Врюкало В.			
Т. контр.					
Н. контр.					
Утв.					
Лист 1					Листов 1
Листов 1					Листов 1
ФНТУНГ					ФНТУНГ
ПМКМ-20-1					ПМКМ-20-1
1 Копировал					Формат А1

Перв. примен.

Справа. №

Подп. и дата

Изм. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Изм. № подл.