

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки
(назва інституту, факультету)

кафедра електричної інженерії суднових та роботизованих
комплексів
(назва кафедри)

Допущений до захисту

зав. кафедри

ЕІС та РК

(скорочена назва кафедри)


(підпис)

Костенко Д.В.

(прізвище та ініціали)

" 16 " 12 2025 р.

Кваліфікаційна робота

на здобуття ступеня вищої освіти

магістр

на тему Проектування телекерованого підводного апарату

Виконав: студент групи 6361м

Спеціальності

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

спеціалізації «Електричні системи і комплекси транспортних

засобів»

Студент

Федорак В.В.

(прізвище та ініціали)


(підпис)

Керівник

к.т.н., доцент Бабкін Г.В.

(прізвище та ініціали)


(підпис)

Рецензент

к.т.н., доцент Войтасик А.М.

(прізвище та ініціали)


(підпис)

м. Миколаїв – 2025 р.

Міністерство освіти і науки України
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Інститут, факультет Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки
Кафедра електричної інженерії суднових та роботизованих комплексів
Рівень вищої освіти магістр
Галузь знань 14 «Електрична інженерія»
(шифр і назва)
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва)
Освітньо-професійна програма «Електричні системи і комплекси транспортних засобів»
(шифр і назва)

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми

 Костенко Д. В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

" 01 " 10 2025 р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
на здобуття ступеня вищої освіти магістр

Федорак Вадим Віталійович

(прізвище, ім'я, по батькові студента)

1. Тема кваліфікаційної роботи Проектування телекерованого підводного апарату

Керівник кваліфікаційної роботи Бабкін Георгій Володимирович,

канд. техн. наук, доцент НУК

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від «14» 10 2025 року №1217уч

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи _____

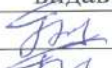
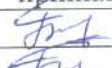
3. Вихідні дані кваліфікаційної роботи _____

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

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

Електронна презентація

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
ОП	Бабкін Г. В.		
ОНС	Бабкін Г. В.		

7. Дата видачі завдання на кваліфікаційну роботу « 15 » вересня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1	Видача завдання. Розроблення змісту роботи. Узгодження завдання по спец. розділам		
2	Розробка розділу 1. Розробка розділу 2.		
3	Розробка розділу 3. Розробка розділу 4.		
4	Розробка розділу 5. Затвердження додатків.		
5	Розробка висновків та переліку посилань. Розробка реферату та вступу.		
6	Затвердження висновків, переліку посилань, реферату та вступу. Оформлення ПЗ та презентації.		
7	Підготовка доповіді. Захист МР.		

Студент


(підпис)

Федорак В. В.
(прізвище та ініціали)

Керівник
кваліфікаційної роботи


(підпис)

Бабкін Г. В.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

У ході роботи був виконаний розрахунок обтічності корпусу телекерованого підводного апарату, за отриманими значеннями сили гідродинамічного опору були розраховані параметри водометного рушія відповідно до бажаної швидкості руху для п'яти режимів руху, проведена адаптація відомої лопатевої системи під дану задачу, побудована її твердотільна задані граничні умови та розраховані параметри розрахункової сітки міжлопатевого каналу, здійснено розрахунок в'язкої течії в міжлопатево́му каналі за допомогою програмного комплексу ANSYS CFX, розроблено конструкцію, комплектацію та дизайн прототипу телекерованого підводного апарату, а також розраховано приблизну вартість його компонентів.

Ключові слова: телекерований підводний апарат; водометний рушій; гідродинамічні характеристики; моделювання; програмний комплекс

ABSTRACT

During the course of the work, the flow rate of the body of the teleoperated underwater vehicle was determined, after removing the values of the force of the hydrodynamic support, the parameters of the water-jet propulsion were adjusted to the required fluidity of the propulsion for five modes of work, the adaptation of the external scapular system to the given task was carried out, the solid-state setting of the boundary conditions and the developed parameters of the interscapular mesh of the interscapular channel was carried out, the viscosity was developed flows in the interscapular channels for the additional ANSYS CFX software package, the design, equipment and design of the prototype of a telecoupled underwater vehicle were divided, as well as the approximate quality of its components.

Keywords: remote-controlled underwater vehicle; water jet propulsion; hydrodynamic characteristics; modeling; software package

ЗМІСТ

Перелік скорочень	7
Вступ	8
Розділ 1. Области застосування підведних апаратів	9
1.1 Аналоги телекеруваних підвідних апаратів	11
Розділ 2. Розрахунок сил гідродинамічного опору корпусу апарату	18
2.1 Розрахунок основних параметрів апарату	25
2.2 ЕБ-моделювання течії з умовою використання періодичності	30
2.3 Адаптація лопатевої системи насоса-прототипу	31
2.4 Ескізна побудова перерізів.....	42
2.5 Побудова тривимірної моделі лопатевої системи	44
2.6 Виділення розрахункової області проточної частини. Створення міжлопатевого каналу	47
2.7 Числіве моделювання в'язкого перетікання	48
2.8 Встановлення параметрів розрахункової сітки.....	53
2.9 Розрахунок в'язкої течії	55
Розділ 3. Конструкція, компоновка і зовнішні обриси.....	57
3.1 Управління ТПА, що розробляється. Проблеми навігації сучасних ТПА	57
3.2 Пристрій та зовнішній вигляд.....	60
3.3 Вибір пластику	61
3.4 Приблизний розрахунок вартості апарату.....	63
Розділ 4. Охорона праці	64
4.1 Вступ.....	64
4.2 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів, що впливають на людину	67
4.3 Природне освітлення.....	69
4.4 Штучне освітлення.....	70
4.5 Розрахунок штучного освітлення	72
4.6 Заходи щодо техніки безпеки	77
4.7 Висновки до розділу 4	80

Розділ 5. Охорона навколишнього середовища	81
5.1 Вступ.....	81
5.2 Забруднення навколишнього середовища від електронної промисловості	81
5.3 Заходи щодо зниження забруднення навколишнього середовища.....	84
5.4 Висновки до розділу 5	88
Висновки	89
Перелік джерел посилання	90

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ВА – виправляючий апарат

ГУ – граничні умови

ККД – коефіцієнт корисної дії

ЛГМ – лопатеві гідромашини

МКЕ – метод кінцевих елементів

ПШ – прикордонний шар

ТПА – телекерований підводний апарат

САПР – система автоматизованого проектування

ТПШ – турбулентний прикордонний шар

ТТ – турбулентна течія

РК – робоче колесо

GPS – Global positioning system

ВСТУП

Безпілотні технології з кожним днем все більше проникають у наше життя, охоплюючи нові сфери діяльності, освоюючи не лише повітряні та земні простори, а й морські. Це явище обумовлюється постійним прогресом у галузі робототехніки, що дозволяє дронам виконувати все більш складні та відповідальні завдання, а також вимогами до зниження ризику щодо людського життя та здоров'я. Ці обставини підтверджують актуальність подібних розробок та є сприятливими умовами їхнього розвитку. На сьогоднішній день існує велика кількість різноманітних підводних дронів.

Метою цієї випускної роботи є проектування прототипу експериментального ТПА з водометними рушіями. Діяльність знайшли рішення такі задачі:

- висвітлено галузі застосування ТПА;
- проведено огляд найпопулярніших існуючих цивільних моделей ТПА, а також наведено їх основні характеристики;
- проаналізовано гідродинамічні сили опору, що діють на корпус апарату;
- розділі розраховані основні параметри рушіїв ТПА;
- створено твердотільну ЕЕ-моделі течії в проточній частині водометних рушіїв;
- проведено чисельне дослідження в'язкої течії в проточній частині водометних рушіїв;
- пояснено пристрій ТПА, також розроблено його конструкцію та компонування;
- приблизно розрахована вартість компонентів прототипу.

РОЗДІЛ 1

ОБЛАСТИ ЗАСТОСУВАННЯ ПІДВЕДНИХ АПАРАТІВ

На ранніх етапах розвитку морської безпілотної робототехніки оператор був радий просто повернути свій ТПА після виконання завдання, минаючи увагою якість її виконання. Сьогодні дрони стали дуже надійним інструментом як у прибережних операціях, так і роботах у відкритому морі комерційними, урядовими, військовими та академічними користувачами. На відміну від ранніх "літаючих камер відеоспостереження", сучасні ТПА охоплюють завдання від перевірки небезпечних елементів усередині атомних електростанцій до ремонту складних глибоководних виробничих систем на шельфі нафтогазової промисловості (див. рис. 1.1). Зазвичай ТПА використовуються для виконання широкого кола завдань, описаних у цьому розділі.



Рисунок 1.1 – Телекерований безлюдний підводний апарат із встановленою буровою системою.

Підводні безпілотні апарати вдало проявляють себе у військовій справі, виступаючи як носії боезарядів, а також активно використовуються для моніторингу території та розвідки. Яскравим прикладом такого використання підводного робота є автономний безлюдний підводний апарат «Амулет» (рис. 1.2).

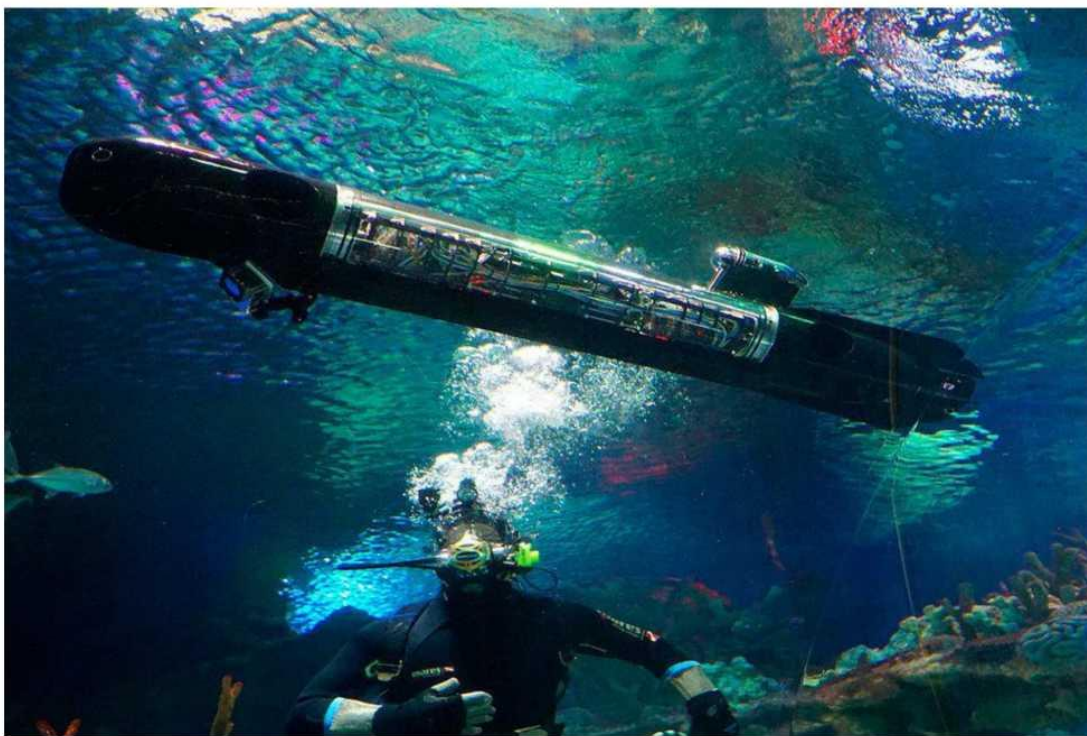


Рисунок 1.2 – АНПА "Амулет"

У можливості цього апарату входить здійснення рятувальних місій та наукових операцій. Велика кількість датчиків дозволяє вести вимірювання таких показників, як тиск, температура навколишнього середовища і навіть швидкість поширення звуку. Оскільки «Амулет» є практично військовою розробкою його властивості достеменно невідомі. Грунтуючись на відкритих даних, наданих, наданих в інтернеті [20], апарат має наступні характеристики:

- довжина та діаметр корпусу - 1.6 м та 16 см відповідно;
- маса – 25 кг;
- глибина занурення – 50 м;
- максимальна швидкість підводного ходу – 5.4 км/год;
- дальність дії – 15 км.

У мирному житті використання дронів дозволяє вивчати морські глибини простим і безпечним способом. З їх допомогою можна потрапити в важкодоступні ділянки.

ТПА використовуються:

- для оглядових робіт;

- для рятувальних операцій;
- для остропки та вилучення великих предметів з дна;
- для робіт із забезпечення об'єктів нафтогазового комплексу (підтримка буріння, огляд трас газопроводів, огляд структур на наявність полумок, виконання операцій з вентилями та засувками);
- для операцій з розмінування, для наукових додатків, для підтримки водолазних робіт;
- для робіт з підтримки рибних ферм, для археологічних досліджень;
- для огляду міських комунікацій, для огляду суден на наявність контрабандних товарів, прикріплених зовні до борту та ін;
- виступаючи в ролі помічника для забезпечення безпеки дайвера та надання допомоги.

Коло розв'язуваних завдань постійно розширюється, і парк апаратів стрімко зростає. Робота апаратом набагато дешевша за дорогі водолазні роботи незважаючи на те, що початкові вкладення досить великі.

В даний час особливо популярні такі пристрої рибалок, мисливців за морськими мешканцями та дослідників підводного світу. Основні продукти на ринку ТПА представлені в наступному розділі.

1.1 Аналоги телекеруваних підводних апаратів

Gladius

Найдоступніший, найпростіший у використанні безпілотник для підводної фотозйомки з камерою 4K (див. рис. 1.3) [19]. Gladius здатний занурюватися на глибину до 100 метрів із горизонтальним діапазоном 500 метрів, залишаючись під водою протягом 3 годин. Зйомка фото та відео ведеться у форматі 4K. Є можливість зберігати відео на носії дрону або вести пряму трансляцію занурення в режимі реального часу.



Рисунок 1.3 – Gladius

ТПА має такі характеристики:

- Максимальна швидкість: 2 м/с;
- Глибина занурення: 30 м;
- Габарити: 430x260x95 мм;
- Вага: 3 кг;
- Максимальний час: до 4 год.

Aquabotix Endura 100

Належить до ТПА професійного класу [19] (див. рис. 1.4). Рух здійснюється за допомогою п'яти рушіїв. На борту є система датчиків, що дозволяє вимірювати температуру навколишнього середовища, глибину занурення, сканувати наявність витоків, і навіть брати проби води. ТПА має можливість переносити до 2,7 кг додаткового навантаження. Вбудована камера роздільною здатністю 1080p здатна вести панорамну зйомку з кутами нахилу об'єктива 120 градусів. Є 32 ГБ внутрішньої пам'яті.

ТПА має такі характеристики:

- Максимальна швидкість: 16 м/с;
- Глибина занурення: 100 м;
- Габарити: 700x370x300 мм;
- Маса: 6,8 кг;

- Час роботи АКБ: 3-4 години;
- Розмір кабелю управління: 60, 80 та 100 м.



Рисунок 1.4 – Aquabotix Endura 100

PowerRay

Цей ТПА (див. рис. 1.5) призначений допомоги у лові риби [19]. Він має два горизонтальні двигуни і один вертикальний. Оснащений термометром, глибиноміром, сонаром, 12 мегапіксельною камерою та системою освітлення.



Рисунок 1.5 – PowerRay

PowerRay має такі характеристики:

- Максимальна швидкість: 2 м/с;
- Швидкість спливання: 0,4 м/с;
- Швидкість занурення: 0,3 м/с;
- Глибина занурення: 30 м;
- Габаритні розміри: 465x270x126 мм;
- Вага: 3,8 кг;
- Час роботи: 4 години;
- Провід керування: 75 або 100 м.

iBubble

Це модель (див. рис. 1.6), розроблена дайверами [19], здатна слідувати за аквалангістом, орієнтуючись на браслет управління, або триматися на відстані до 25 м. Режим роботи камери регулюється браслетом.

iBubble, володіючи високим рівнем автономності, дозволяє аквалангісту зосереджуватися на своїх прямих завданнях, заощаджуючи час на контроль дрону. iBubble оснащений гідролокатором, який забезпечує відповідний рівень безпеки. Він також має неймовірну маневреність завдяки семи гребним рушіям.



Рисунок 1.6 – iBubble

ТПА має такі характеристики:

- Розміри: 500x350x250 мм;
- Маса: 5 кг;
- Глибина занурення: 60 м;
- Крейсерська швидкість: 2 вузли (близько 3,5 км/год);
- Час роботи: 1 година.

OpenROV Trident

Подано на рис. 1.7 [19]. Простий і водночас функціональний апарат за рахунок ефективної системи, що підтримується глибиноміром та гіроскопічним датчиком. Переміщення здійснюється за допомогою трьох двигунів з безколекторними електромоторами.

ТПА має такі характеристики:

- Розміри: 410x205x86 мм;
- Маса: 3,4 кг;
- Глибина занурення: 100 м;
- Максимальна швидкість: 2 м/с;
- Час роботи: 3-4 години;
- Зв'язок з оператором: підводний кабель та канал Wi-Fi;
- Провід управління: 25 та 100 м.

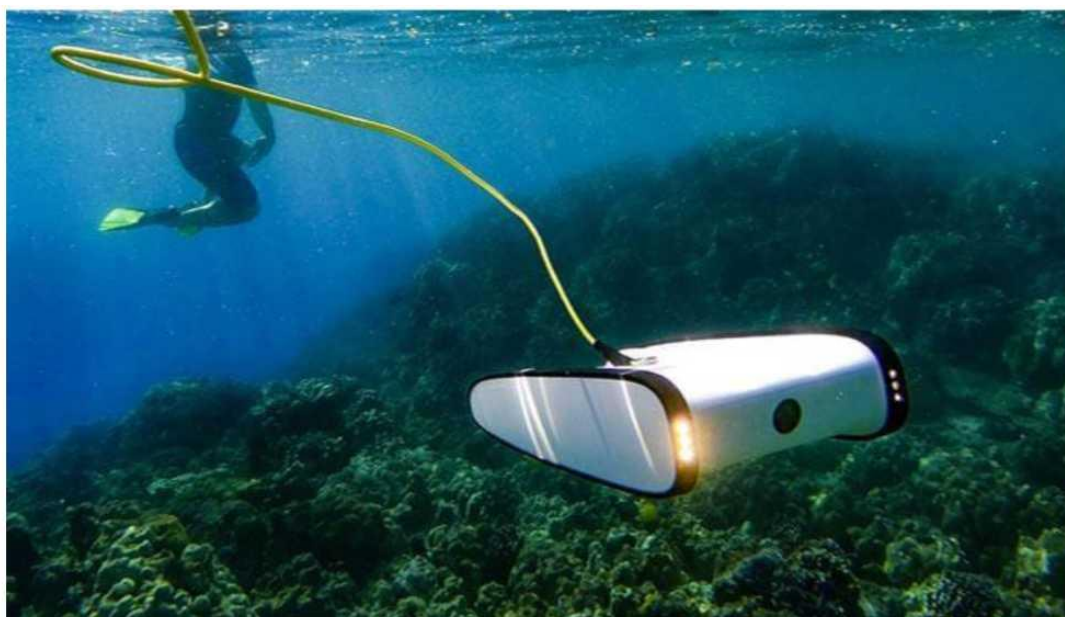


Рисунок 1.7 – OpenROV Trident

CCROV

Відрізняється компактними розмірами [19], порівняно з іншими моделями, представленими на ринку (див. рис. 1.8). Рух здійснюється за допомогою чотирьох горизонтальними та двох вертикальними рушіями, спільна робота яких забезпечує можливість розвороту на місці та зависання на необхідній глибині.

Характеристики CCROV:

- Габарити: 208x204x158 мм;
- Маса: 5,5 кг;
- Глибина занурення: 100 м;
- Швидкість: 1 м/с;
- Час роботи АКБ: 1:00;
- Розмір кабелю управління: 25, 50, 75 та 95 м.



Рисунок 1.8 – CCROV

Характеристики розглянутих апаратів представлені у табл. 1.1:

Таблиця 1.1 – Основні характеристики сучасних ТПА

Назва	Розміри, мм	Маса, кг	Максимальна швидкість, км/год	Глибина занурення, м	Час роботи, год
Gladius	430x260x95	3	7,2	30	4
Aquabotix Endura	700x370x300	6,8	5,76	100	3
PowerRay	465x270x126	3,8	7,2	30	4
iBubble	500x350x250	5	3,5	60	1
OpenROV Trident	410x205x86	3,4	7,2	100	3
CCROV	208x204x158	5,5	7,2	100	1

Дана таблиця наочно ілюструє основні характеристики найпопулярніших на даний момент безпілотних підводних апаратів, формуючи уявлення про те, якими характеристиками повинен мати проєктований ТПА (див. завдання).

РОЗДІЛ 2

РОЗРАХУНОК СИЛ ГІДРОДИНАМІЧНОГО ОПОРУ КОРПУСУ АПАРАТУ

Частина повної енергії, що йде на подолання сил гідродинамічного опору, що виникають при русі реальної рідини трубами і каналами, втрачається для даної системи (мережі) безповоротно. Ця втрата енергії зумовлена незворотним переходом механічної енергії (роботи сил опору) у теплоту. Тому під гідродинамічним опором або втратами мається на увазі величина, що дорівнює безповортній втраті повної енергії на даній ділянці. Відношення втраченої повної енергії (потужності) потоку до кінетичної енергії (потужності) або втраченого повного тиску, що опосередковано за масовою витратою, до динамічного тиску в обумовленому перерізі називають коефіцієнтом гідродинамічного опору [10]

$$C_f = \frac{2F}{\rho v^2 S} \quad (2.1)$$

Таким чином, для розрахунку основних параметрів ТПА необхідно спочатку визначити силу гідродинамічного опору шляхом чисельного моделювання обтічності корпусу ТПА.

Спочатку було спроектовано тривимірну модель ТПА. Проектування твердотільного тривимірної моделі обумовлено необхідністю проведення розрахунку опору корпусу ТПА потоку рідини, а також подальших розрахунків руху рідини в проточних частинах рушіїв спеціальних програмних пакетах.

Проектування здійснювалося у Solidworks – програмному комплексі САПР для автоматизації робіт промислового підприємства на етапах конструкторської та технологічної підготовки виробництва.

На даному етапі визначення рушійної сили рушіїв у першому наближенні було досить спрощеної моделі прототипу ТПА без лопатевої системи із заглушеними проточними частинами (рис. 2.1).

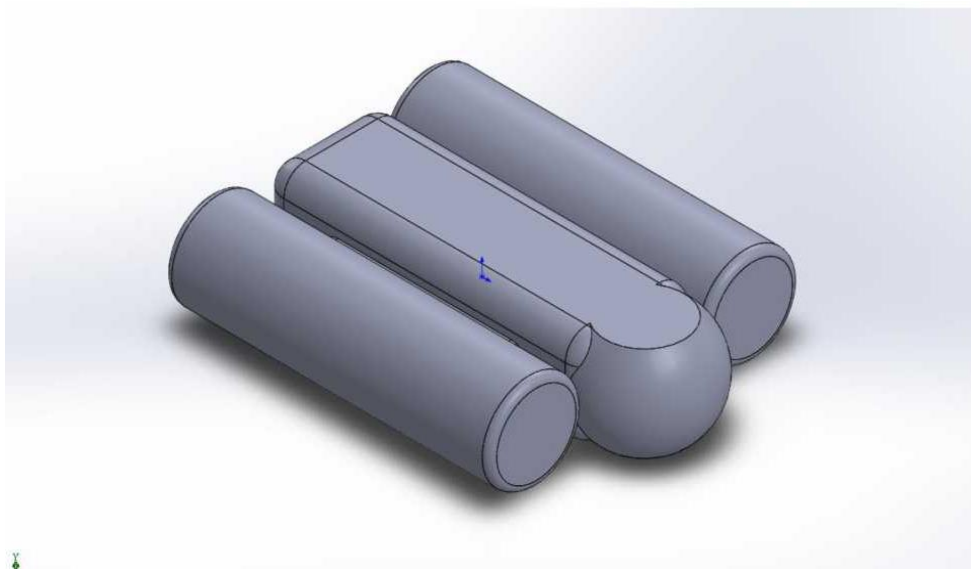


Рисунок 2.1 – Спрощена модель прототипу ТПА

Полагається, що ТПА має два горизонтально розташованих осьових рушія для руху по горизонталі, і два вертикально розташованих осьових рушія для руху по вертикалі. Також він має нульову плавучість, тобто сила тяжкості і архімедова сила для нього компенсовані.

Чисельне моделювання обтікання корпусу було здійснено за допомогою програмного розширення Fluent, що є обчислювальним інструментом для моделювання потокових процесів в середовищі (CFD-аналіз), повністю вбудованим в Ansys Workbench. Проведення подібного розрахунку швидше та дешевше, ніж виготовлення прототипу або моделі, оснащення датчиками, проведення циклу випробувань та отримання даних, придатних для подальшої роботи. Fluent дозволяє досліджувати відразу декілька варіантів або можливих конфігурацій і отримати наочніші результати: будь-які параметри доступні для аналізу - швидкість, тиск, щільність, температура - безпосередньо на моделі.

Створивши в Ansys Workbench проект, і, завантаживши туди геометрію дрону, можемо розпочати підготовку розрахунку. Для початку необхідно виділити цікаву для нас розрахункову область. Цього можна досягти, створивши чотирикутну призматичну область навколо ТПА (див. рис. 2.2), за допомогою опції 'enclosure', а потім віднімаючи з отриманої призматичної області тіло дрона,

користуючись опцією 'boolean' САПР комплексу Design Modeler, вбудованого в Ansys Workbench. Масштаби цієї розрахункової області приблизно 10 разів по осях перевищують геометрію моделі ТПА.

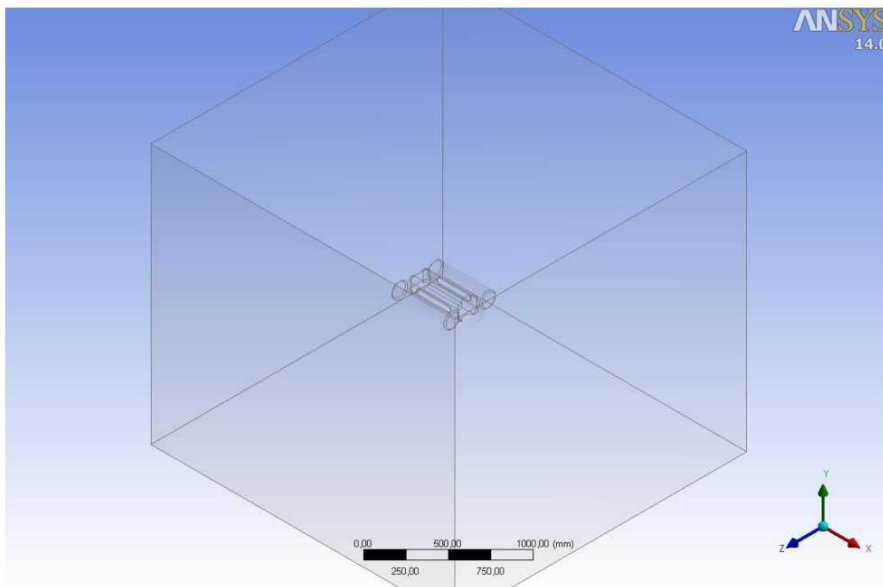


Рисунок 2.2 – Створення розрахункової області

Після отримання розрахункову область, необхідно було дискретизувати на частини з певними ГУ, які будуть задавати поведінку диференціальних рівнянь на межі області в процесі розрахунку [14].

Граничні області та його позначення представлені на рис. 2.3-2.6:

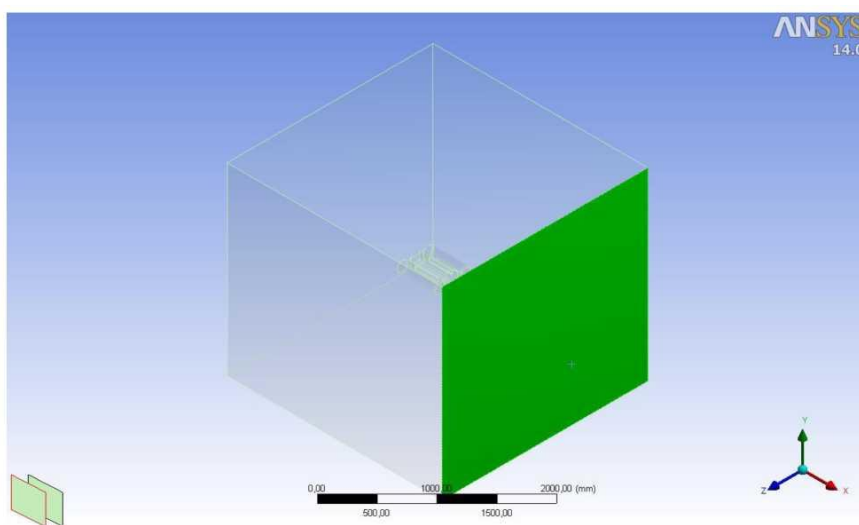


Рисунок 2.3 – Виділення області з ГУ Inlet

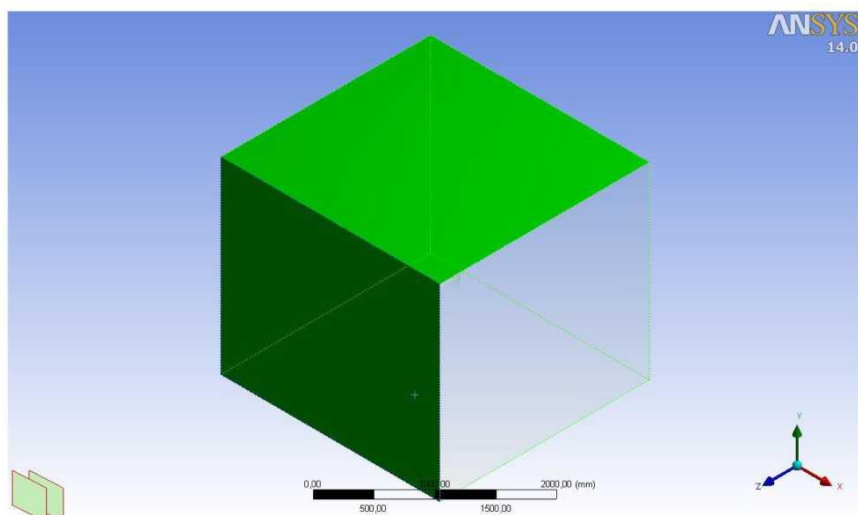


Рисунок 2.4 – Виділення області з ГУ Open

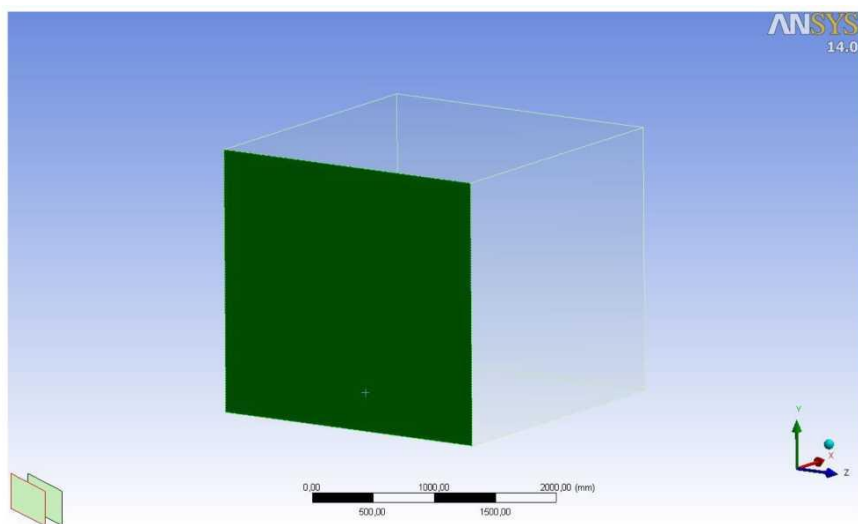


Рисунок 2.5 – Виділення області з граничними умовами Outlet

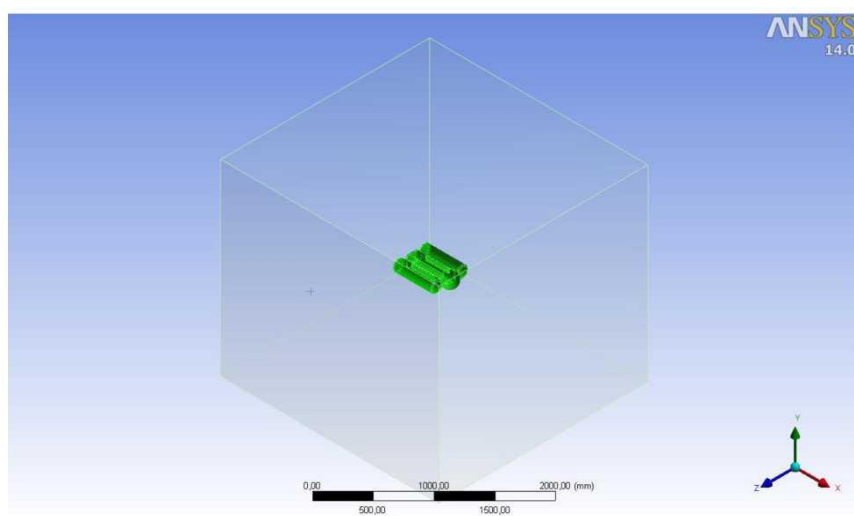


Рисунок 2.6 – Виділення області із ГУ Vehicle_surface

Для розрахунку сили опору при зануренні-спливті за вхідну область «Inlet» потрібно позначити верхню (по осі Y) площину, а «Outlet» – нижню.

Наступним етапом була побудова розрахункової сітки - це процес розбиття розрахункової області на безліч окремих осередків відповідно до МКЕ. Осередки сітки, як правило, являють собою тетраедри, гексаедри, призми або піраміди.

Крапки, розташовані у вершинах чи центрі осередків - вузли розрахункової сітки. В результаті чисельного розв'язання рівнянь математичної моделі саме у вузлах розрахункової сітки і визначаються параметри течії, що шукаються.

Основна вимога до розрахункової сітки – вона має бути досить густою, щоб забезпечити збіжність розрахунку та достовірно визначити параметри руху всередині розрахункової області [6]. У той же час, занадто густа сітка з занадто великою кількістю елементів може перевищити ліміти обчислювальних ресурсів комп'ютера. Розрахункова сітка задовільної густоти, що вийшла, представлена на рис. 2.7:

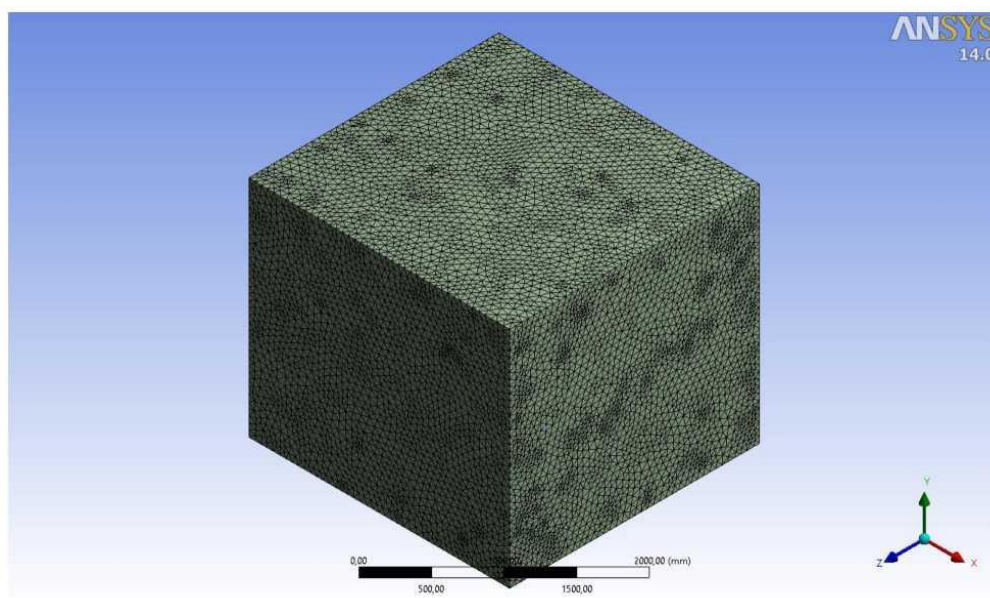


Рисунок 2.7 – Розрахункова сітка

Після побудови розрахункової сітки було здійснено введення вихідних величин у пакеті Fluent (див. рис. 2.8),

Reference Values	
Compute from	
Reference Values	
Area (m2)	0.06817189
Density (kg/m3)	998.2
Enthalpy (J/kg)	83930
Length (m)	20
Pressure (pascal)	0
Temperature (K)	288.16
Velocity (m/s)	1.3889
Viscosity (kg/m-s)	0.001003
Ratio of Specific Heats	1.33

Рисунок 2.8 – Вихідні величини

де "Area" – це характерна площа, перпендикулярна потоку, що визначається у вкладці "Reports";

"Density" – щільність середовища;

"Enthalpy" – ентальпія середовища при 20°C;

"Length" – умовна довжина розрахункового шляху;

"Pressure" – гідростатичний тиск, що залежить від глибини занурення, яке ми в даному випадку прирівнюємо до нуля, так як нас цікавлять лише сили в'язкого опору потоку;

"Temperature" – температура середовища;

"Velocity" – швидкість руху потоку, що набігає, або швидкість руху дрону;

"Viscosity" – в'язкість середовища;

"Ratio of Specific Heats" – коефіцієнт питомої витрати теплоти середовища.

Далі були проведені серії розрахунків для різних швидкостей руху дрону: від 1 км/год до 5 км/год з інтервалом 1 км/год. Знаючи швидкості та відповідні їм сили опору можна визначити втрати потужності за такою формулою:

$$N = P v \quad (2.2)$$

де P – сила опору потоку,

v – швидкість руху дрону.

Отримані значення були занесені до табл. 2.1 (в останньому рядку вказані значення вертикального рушія):

Таблиця 2.1 – Результати розрахунку гідродинамічного опору корпусу дрону

v , м/с	v , км/год	F , Н	N , Вт
0	0	0	0
0,28	1	4,2511	1,181
0,56	2	13,218	7,344
0,83	3	26,409	22,01
1,11	4	43,068	47,85
1,39	5	63,236	87,83
0,56	2	42,632	23,669

Також на підставі отриманих даних було побудовано залежність величини сили гідродинамічного опору корпусу дрону від швидкості його руху, представлена на рис. 2.9:

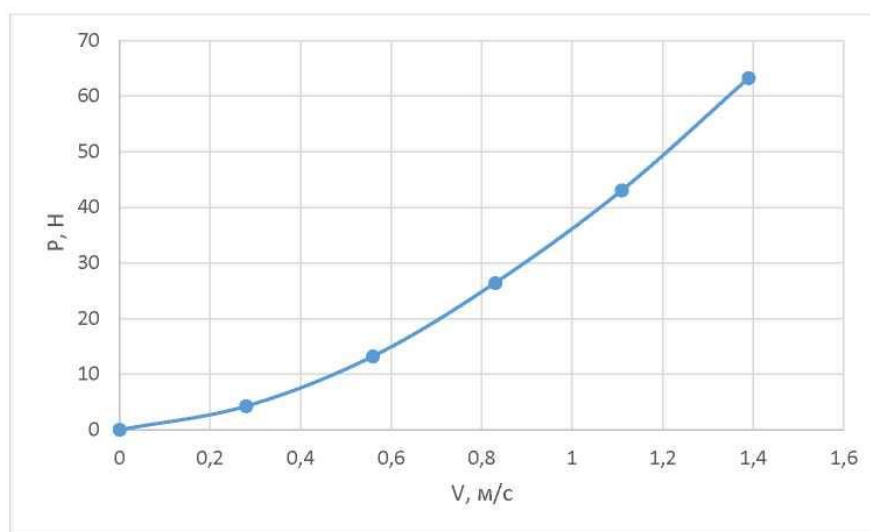


Рисунок 2.9 – Залежність сили гідродинамічного опору корпусу дрону від швидкості його руху

Рис. 2.9 наочно ілюструє квадратичну залежність сили опору швидкості. Маючи даний графік, ми можемо приступати до розрахунків параметрів рушія.

Для вертикальних двигунів вибрано один режим швидкості 2 км/год. Сила опору та потужність рівні відповідно $F=42,6$ Н та $N=23,7$ Вт.

2.1 Розрахунок основних параметрів апарату

Відповідно до [13], який у книзі «Водометні рушії малих суден» зазначає, що найчастіше при проектуванні водометного рушія потрібна розробка його стосовно заданого корпусу судна, до початку проектування рушія перед конструктором встає одне з наступних завдань: визначення потужності головного двигуна, яка потрібна для руху з заданою швидкістю. У практичному випадку розробка рушія потребує вирішення обох завдань одночасно. Спочатку по бажаній швидкості ходу визначається необхідна потужність, потім підбирається двигун, після чого визначається можлива швидкість ходу.

Основні характеристики водометного рушія визначаються такими рівняннями:

$$N_{\text{дв}} = \frac{\rho g Q H}{\eta} \quad (2.3)$$

де Вид – Потужність двигуна [Вт];

ρ – Щільність води [кг/м³];

Q – Витрата рушія [м³];

H – напір рушія [м];

η – ККД рушія.

$$N_H = \rho g Q H \quad (2.4)$$

де N_H – потужність насоса [Вт].

$$P = \rho Q v_0 (q - \alpha) \quad (2.5)$$

де P – рушійна сила [Н]

v_0 – швидкість ходу судна [м/с]

v – швидкість струменя, що викидається рушієм [м/с]

q – Коефіцієнт швидкостей, що є ставленням швидкості струменя до швидкості судна.

α – коефіцієнт взаємодії двигуна з корпусом.

$$H = \frac{v_0^2}{2g} (Kq^2 - \beta) \quad (2.6)$$

де g – прискорення вільного падіння [м/с²];

K – Коефіцієнт, що характеризує втрати в трубопроводі;

β – Коефіцієнт взаємодії рушія з корпусом.

Попередній розрахунок дозволяє не враховувати коефіцієнти, а використовувати замість них умовний коефіцієнт корисної дії:

$$\eta = \eta_{\text{и}} \eta_{\text{н}} \eta_{\text{м}} \eta_{\text{в}} \quad (2.7)$$

де η – Ідеальний ККД рушія;

$\eta_{\text{н}}$ – ККД насосної системи, що використовується в рушії;

$\eta_{\text{м}}$ – механічний ККД;

$\eta_{\text{в}}$ – ККД водоводу, що складається з ККД сопла, ККД водозабірника та враховує тертя у водоводі та місцеві опори.

Формула ККД рушія виглядає так:

$$\eta_{\text{и}} = \frac{2}{1 + \left(\frac{v}{v_0} \right)} \quad (2.8)$$

Вона показує обернено пропорційну залежність $\eta_{\text{и}}$ від різниці швидкостей. У той же час формула (2.5) говорить про необхідність підвищення витрати для збільшення рушійної сили, що веде до збільшення габаритів та маси рушія.

Ідеальний ККД був прийнятий наступним $\eta_{\text{І}} = 0,9$. По ньому було знайдено відношення швидкостей $q = 1,22$. Знаючи значення бажаних швидкостей судна для п'яти режимів руху, можемо визначити швидкість руху струменя, що виходить із рушія. Всі обчислення представлені в табл. 2.3, розташованій наприкінці глави (для вертикальних рушіїв див. останній стовпець таблиці).

Знання сили гідродинамічного опору потоку і потужність, необхідну судну у розвиток бажаної швидкості, дозволяє розпочинати розрахунку основних параметрів. Рівняння (2.4) і (2.5) дозволяють виділити рівняння витрати в залежності від опору і рівняння напору в залежності від потужності:

$$Q = \frac{P}{\rho v_0 (q - 1)} \quad (2.9)$$

$$H = \frac{N_{\text{дв}}}{\rho g Q} \quad (2.10)$$

Після визначення основних параметрів водометного рушія можна перейти до визначення його габаритних розмірів.

Діаметр робочого колеса може бути розрахований за наближеною формулою В.М. Лаврентьєва [9]:

$$D_p = \frac{1,45}{\sqrt{n}} \sqrt[4]{\frac{P}{\rho}} \quad (2.11)$$

де P – тяга рушія для конкретної швидкості [м/с];

n – експлуатаційна кількість обертів двигуна, [об/сек];

ρ – Щільність води.

Після перетворення формула (2.10) набуде вигляду:

$$n = \left(\frac{1,45}{D_p} \right)^2 \sqrt{\frac{P}{\rho}} \quad (2.12)$$

$P = 31,6$ Н, $D_p = 0,13$ м – попередній діаметр робочого колеса горизонтального двигуна. Для вертикального двигуна вибираємо $D = 0,08$ м.

$$n = 1330 \text{ об/хв}$$

Необхідно перевірити обчислене значення частоти можливість виникнення кавітації:

$$n \leq n_{\text{доп}} \quad (2.13)$$

при малих значеннях швидкості руху (менше 12 км/год) $n_{\text{доп}}$ визначається, як [13]:

$$n_{\text{доп}} = \frac{800 \div 900}{\sqrt{Q}} \quad (2.14)$$

Обчислене значення частоти обертання відповідає умові.

$$n_{\text{доп}} = 7852 \div 8835 \text{ об/хв}$$

Також було розраховано допустимі частоти обертання інших режимів швидкості (див. табл. 1.3)

З метою забезпечення найменших кінцевих втрат на лопатях робочого колеса та підвищення ефективності роботи насосної частини зазор між лопатями та трубою насоса не повинен перевищувати 0,5% від діаметра рушія [13].

$$\delta = 0,005D_p \quad (2.15)$$

Насоси з одноступінчастою конструкцією зазвичай мають $g_l = 3 - 6$ лопат робочого колеса [13]. У нашому випадку вибираємо $g_{ол} = 5$.

Для визначення діаметра маточини РК, необхідно враховувати умову вибору прийнятної форми кореневих перерізів при заданій густоті ґрат, а також забезпечення оптимального співвідношення швидкостей потоку води в насосі та на виході. Це веде до того, що в більшості випадків вибір і втулкового відношення колеса ст/ здійснюється з огляду на натиск, розвивається рушієм на експлуатаційній швидкості руху судна. Насправді для суден з водометними рушіями, які працюють на відносно невеликих напорах ($H < 10$ м вод. ст) приймають:

$$d_{ст} = (0,28 - 0,35)D_p$$

Знайдені та відомі параметри водометного рушія були записані для п'яти режимів швидкості табл. 2.2 (в останньому стовпці представлені значення для вертикального рушія):

Результатом розрахунків, проведених у цьому розділі, є основні параметри водометного рушія, саме: натиск, витрата, потужність, частота оборотів, допустима частота оборотів, необхідна потужність двигунів.

На підставі даних, представлених у табл. 2.2, побудовані залежності потужностей насоса та двигуна від швидкості:

Таблиця 2.2 – Параметри водометного рушія

v , км/год	0	1	2	3	4	5	6
Q , м ³ /с	0	0,0035	0,0054	0,0072	0,0088	0,0104	0,0175
P , Н	0	2,1255	6,6091	13,204	21,534	31,618	21,316
V_0 , м/с	0	0,2778	0,5556	0,8333	1,1111	1,3889	0,5556
H , м	0	0,0173	0,0693	0,156	0,277	0,433	0,069
N , Вт	0	0,5905	3,672	11,003	23,926	43,914	11,84317
v , м/с	0	0,3389	0,6778	1,0166	1,3555	1,6945	0,6778
N насоса, Вт	0	0,5905	3,672	11,003	23,926	43,914	11,8432
n	0	344,66	607,75	859,04	1097	1329,3	1091,5
$n_{\text{доп}}$	-	8834,3	8510,7	9412,2	10863	13545	6047,4
$N_{\text{АН}}$	0	0,9234	5,7425	17,207	37,417	68,675	18,521

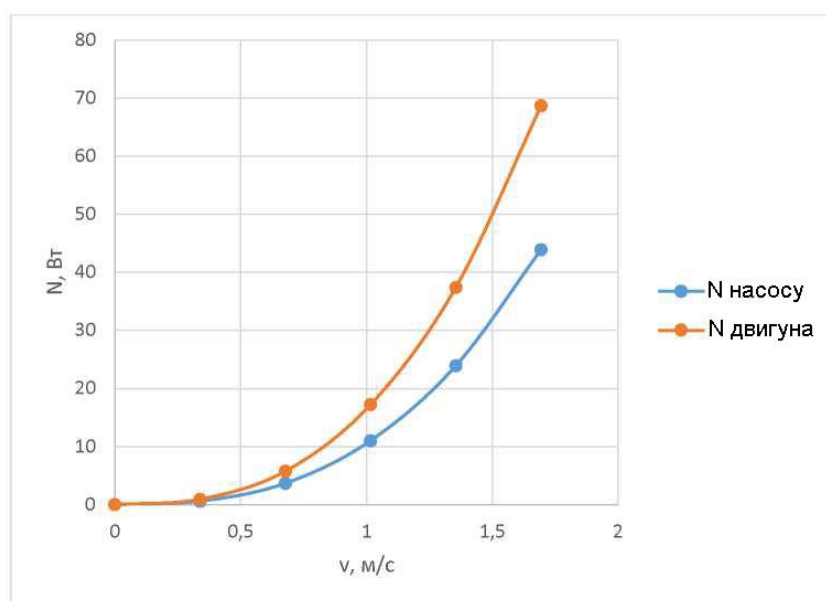


Рисунок 2.9 – Залежність потужності двигуна та насоса від швидкості ТПА

2.2 ЕБ-моделювання течії з умовою використання періодичності

У разі проектування будь-якого лопатевого гідроагрегату, будь то насос або турбіна, спроектована тривимірною твердотільною моделлю (ЕЛ-модель)

проточної частини є на сьогоднішній день невід'ємним етапом. Це з важливістю проведення розрахунку просторового руху рідини у проточності частини у спеціалізованих програмах.

Для розрахунку просторового руху потоку необхідно здійснити побудову ЕЕ-моделі розрахункової області. У нашому випадку розрахунковою областю є об'єм рідини, що знаходиться в даний час в області лопатевої системи.

Заощадженню обчислювальних ресурсів щодо параметрів рушія сприяє включення в розрахункову область одного межлопаточного каналу РК і ВА. Таким чином, ми припускаємо періодичне повторення течії в інших каналах. Ця модель називається моделлю з умовою використання періодичності [6]. Її задіяння відкриває можливість використання для обчислення параметрів руху рідини окремих каналів розрахункову сітку з великою кількістю елементів.

Порядок побудови ВД-моделі розрахункової галузі складається з наступних етапів:

- створення тривимірної твердотільної моделі лопатевої системи;
- створення тривимірної моделі повної розрахункової області проточної частини;
- поділ повної розрахункової області область робочого колеса і область виправляючого апарату;
- створення розрахункової області робочого колеса (один міжлопатевий канал);
- створення розрахункової області апарата, що виправляє (один міжлопатковий канал).

2.3 Адаптація лопатевої системи насоса-прототипу

В якості основи для створення лопатевої системи рушія ТПА, була взята лопатева головного циркуляційного насоса, яка була спроектована в курсовому проекті «Розрахунок та конструювання головного циркуляційного насоса для атомних електростанцій з ВВЕР» з числом лопатей РК $gr = 5$ і 4 теоретичні

креслення лопат РК і ВА, представлені на рис. 1.19-1.24, а також з'ясовано номінальні параметри (див. табл. 2.3)

Таблиця 2.3 – Номінальні параметри насоса-прототипу

Пн	Qп	Нн	Ерк
1500	55000	102	1100

Адаптація лопатевої системи під відмінні параметри передбачає використання формул для наведених величин:

$$n'_l = \frac{nD}{\sqrt{H}} \quad (2.16)$$

$$Q'_l = \frac{Q}{D^2 \sqrt{H}} \quad (2.17)$$

Отримуємо $n = 163$ об/хв, $Q = 1250$ кг/с. Подача визначається за такою формулою:

$$Q = Q'_l D^2 \sqrt{H} = Q'_l D^2 \frac{nD}{n'_l} \quad (2.18)$$

Таким чином масова витрата дорівнюватиме: $Q = 22,35$ Кр

При порівнянні отриманого значення витрати з табл. 1.3, було виявлено, що витрата, розрахована за формулою (2.18) більше табличного значення майже вдвічі. Таким чином, враховуючи прямо пропорційну залежність подачі від частоти, при зменшенні частоти обертання певну кількість разів, ми в стільки ж разів зменшимо витрату. Значення подач, розрахованих за наведеними параметрами для різних швидкостей руху та значення скоригованих частот обертання, були занесені до табл. 2.4 (в останньому стовпці наведено значення для вертикальних рушіїв):

Таблиця 2.4 – Кориговані параметри водометного рушія

v, км/Год	0	1	2	3	4	5	6
Q, м ³ /с	0	0,0035	0,0054	0,0072	0,0088	0,0104	0,0175
P, Н	0	2,1255	6,6091	13,204	21,534	31,618	21,316
Vo, м/с	0	0,2778	0,5556	0,8333	1,1111	1,3889	0,5556
H, м	0	0,0173	0,0693	0,156	0,277	0,433	0,069
N, Вт	0	0,5905	3,672	11,003	23,926	43,914	11,84317
v, м/с	0	0,3389	0,6778	1,0166	1,3555	1,6945	0,6778
N насоса, Вт	0	0,5905	3,672	11,003	23,926	43,914	11,8432
n	0	207	322	428	524	615	1038
$\Pi_{\text{доп}}$	-	8834,3	8510,7	9412,2	10863	13545	6047,4
	0	0,9234	5,7425	17,207	37,417	68,675	18,521

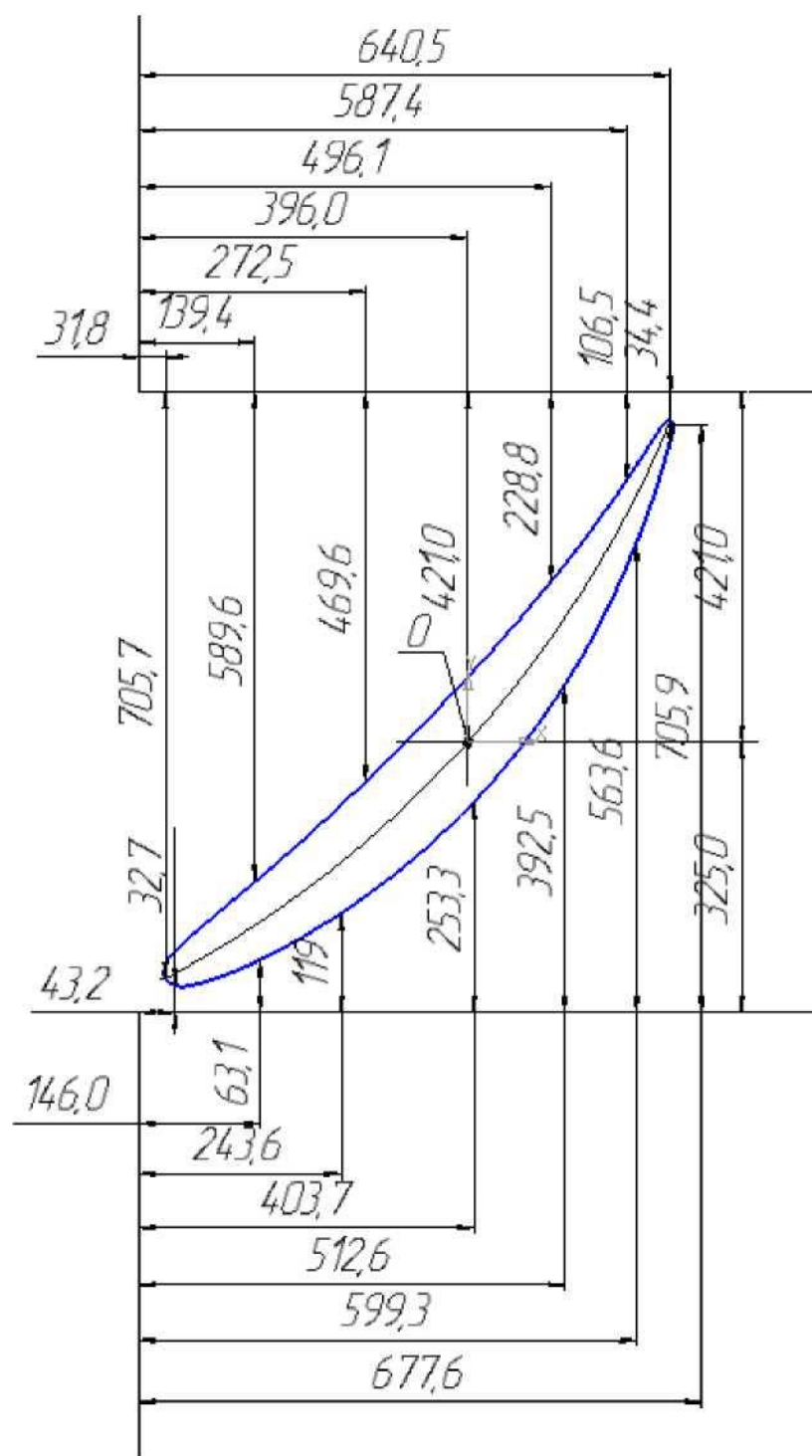


Рисунок 2.10 – Завдання координат поверхні профілю лопаті РК R=290 мм

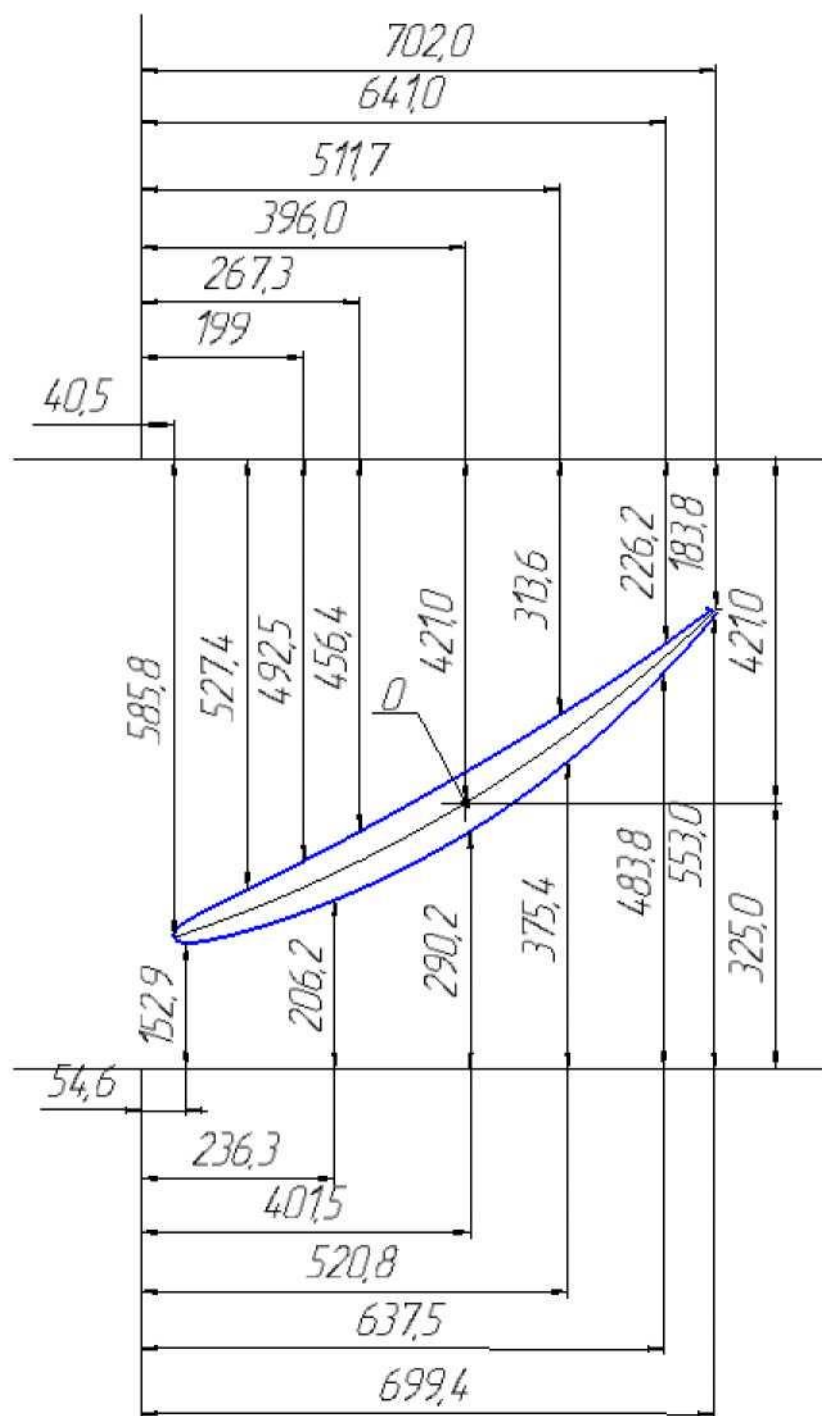


Рисунок 2.11 – Завдання координат поверхні профілю лопаті РК R=380 мм



Рисунок 2.12 – Завдання координат поверхні профілю лопаті РК R=440 мм

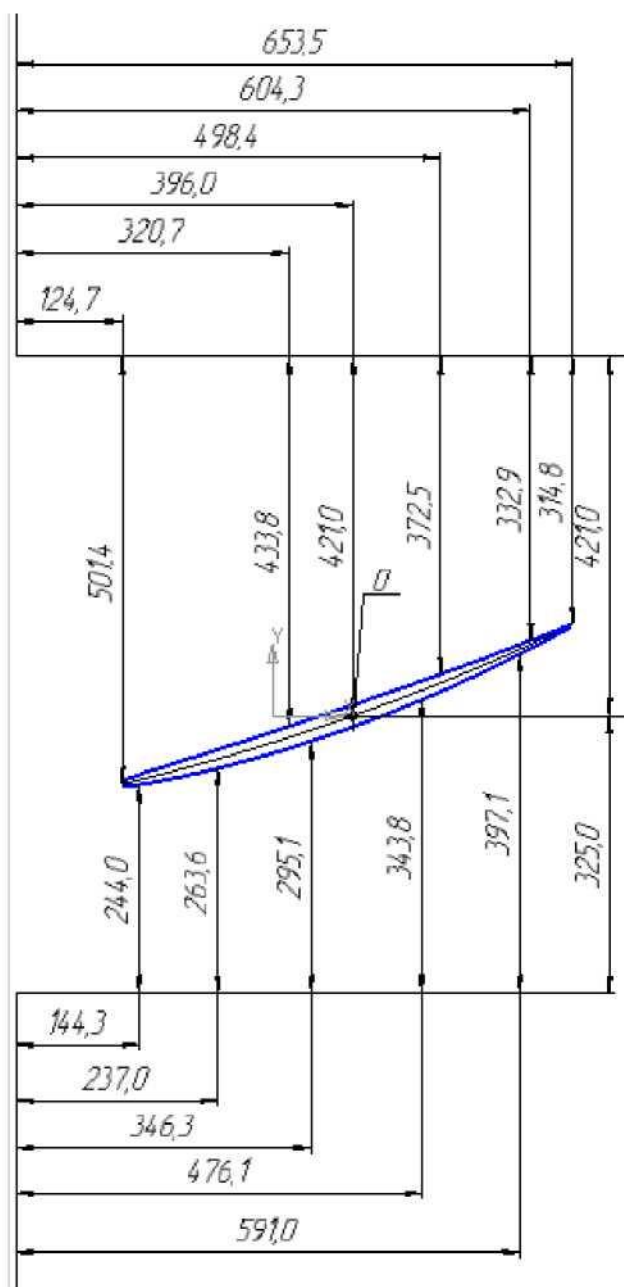


Рисунок 2.13 – Завдання координат поверхні профілю лопаті РК R=500 мм

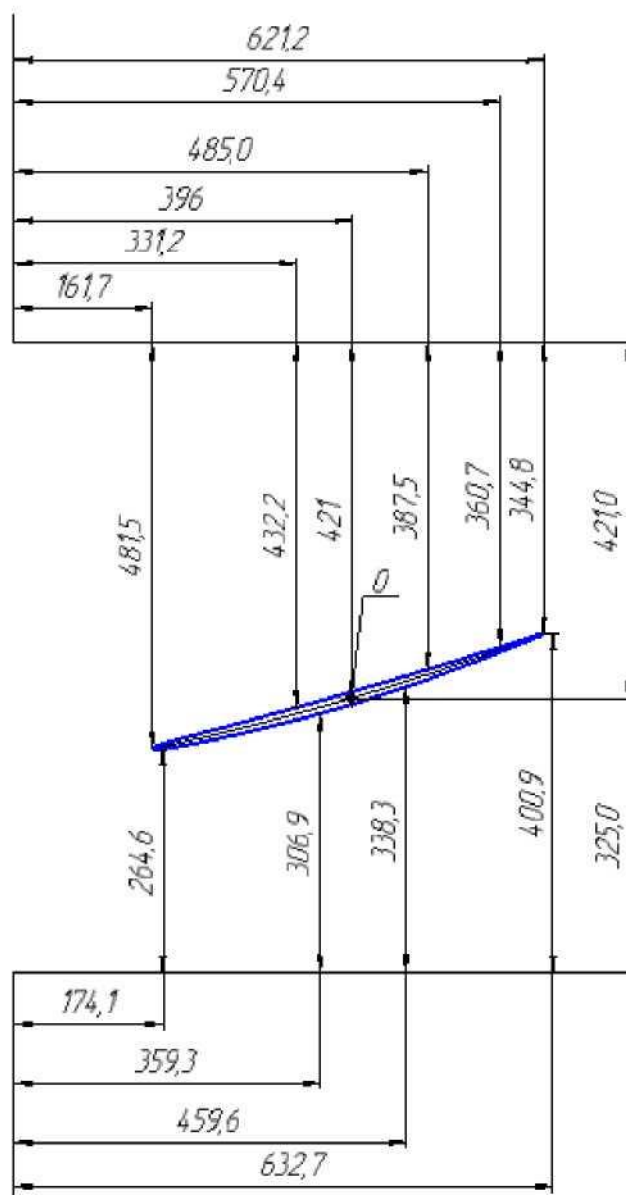


Рисунок 2.14 – Завдання координат поверхні профілю лопаті РК R=550

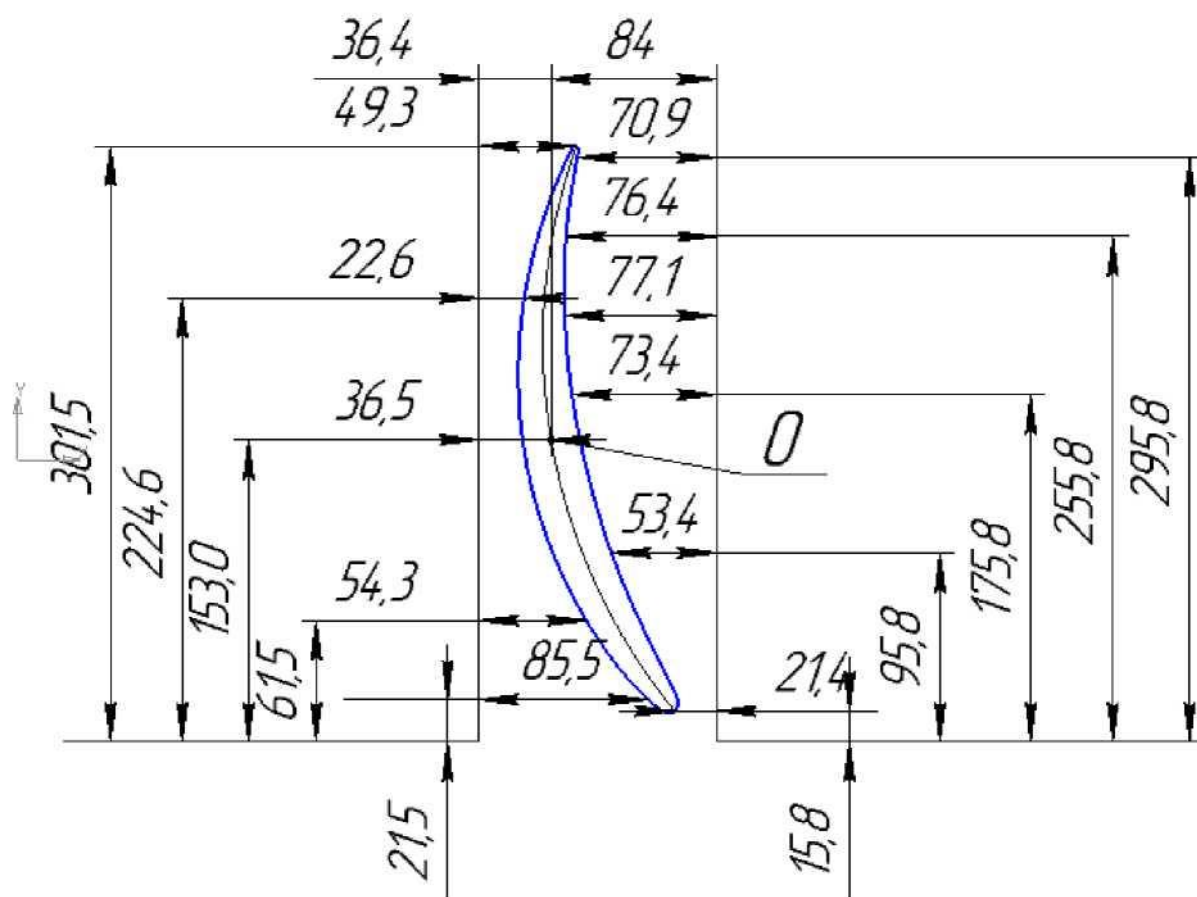


Рисунок 2.15 – Завдання координат поверхні профілю лопаті ВА R=383 мм

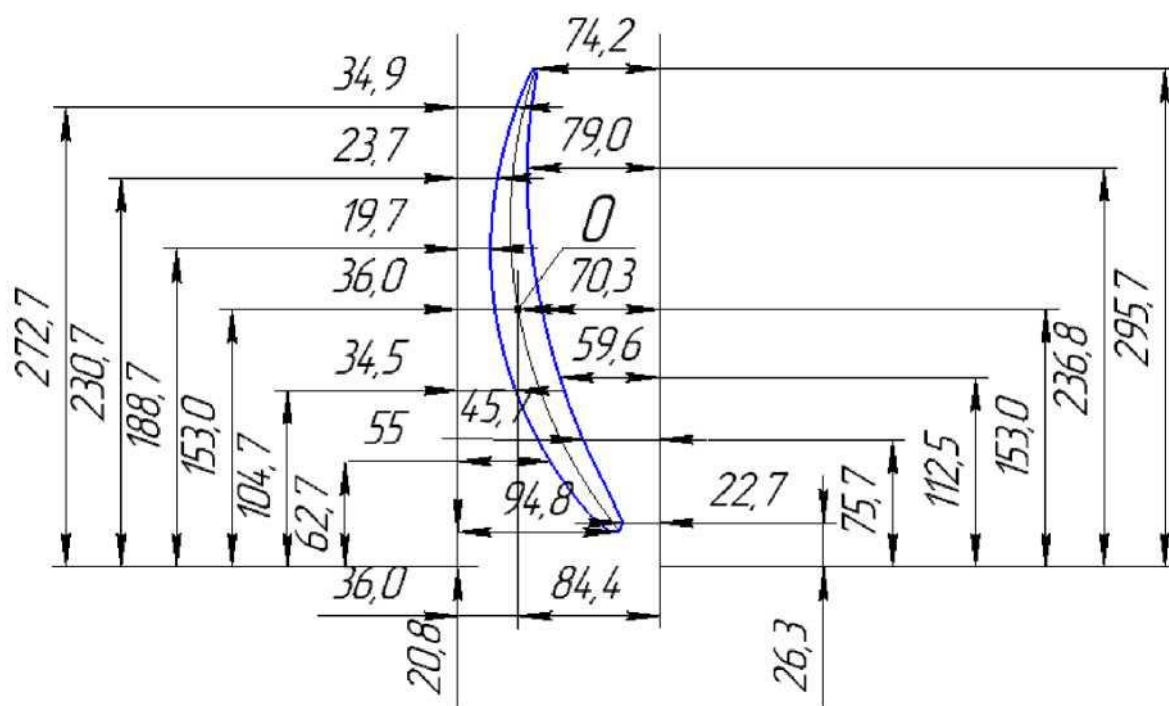


Рисунок 2.16 – Завдання координат поверхні профілю лопаті ВА R=386 мм

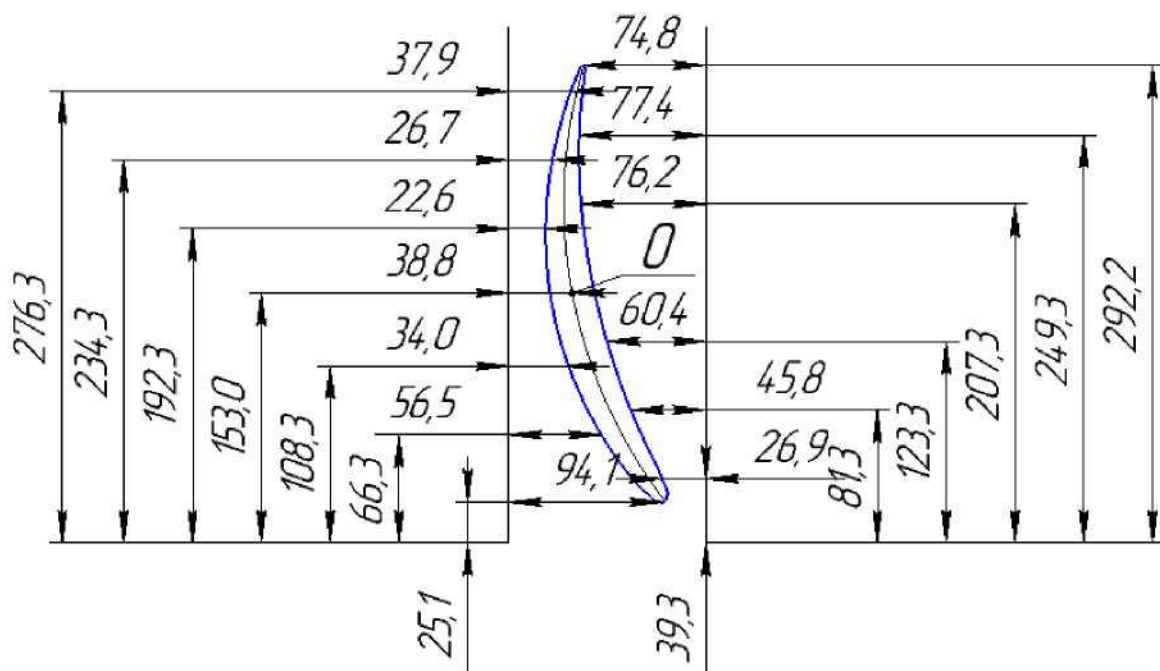


Рисунок 2.17 – Завдання координат поверхні профілю лопаті ВА R=390 мм

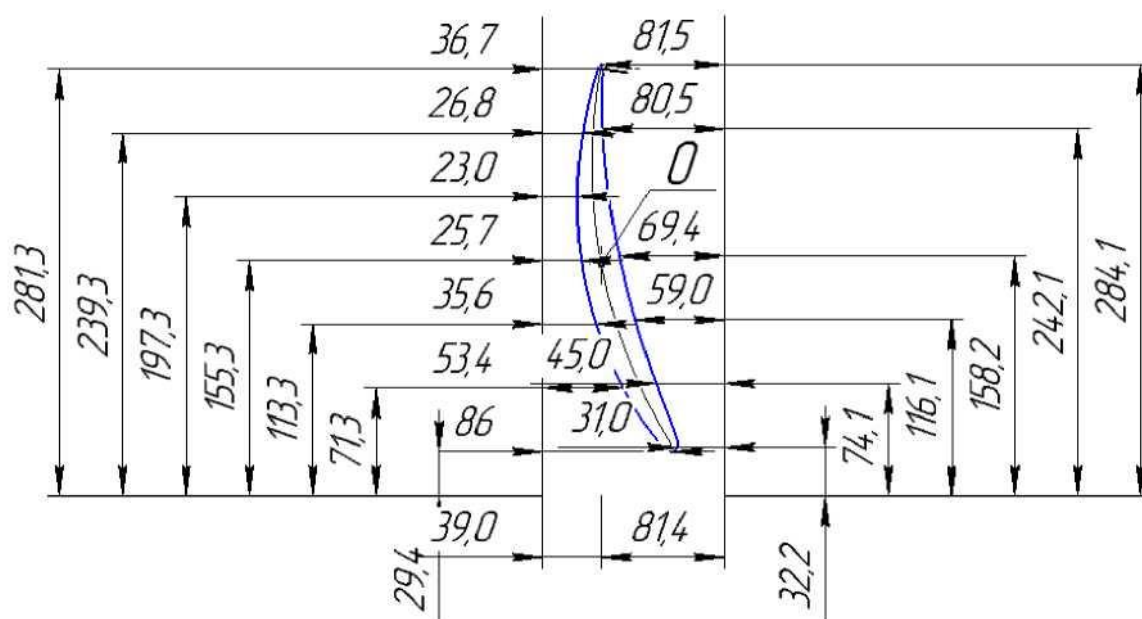


Рисунок 2.18 – Завдання координат поверхні профілю лопаті ВА R=395 мм

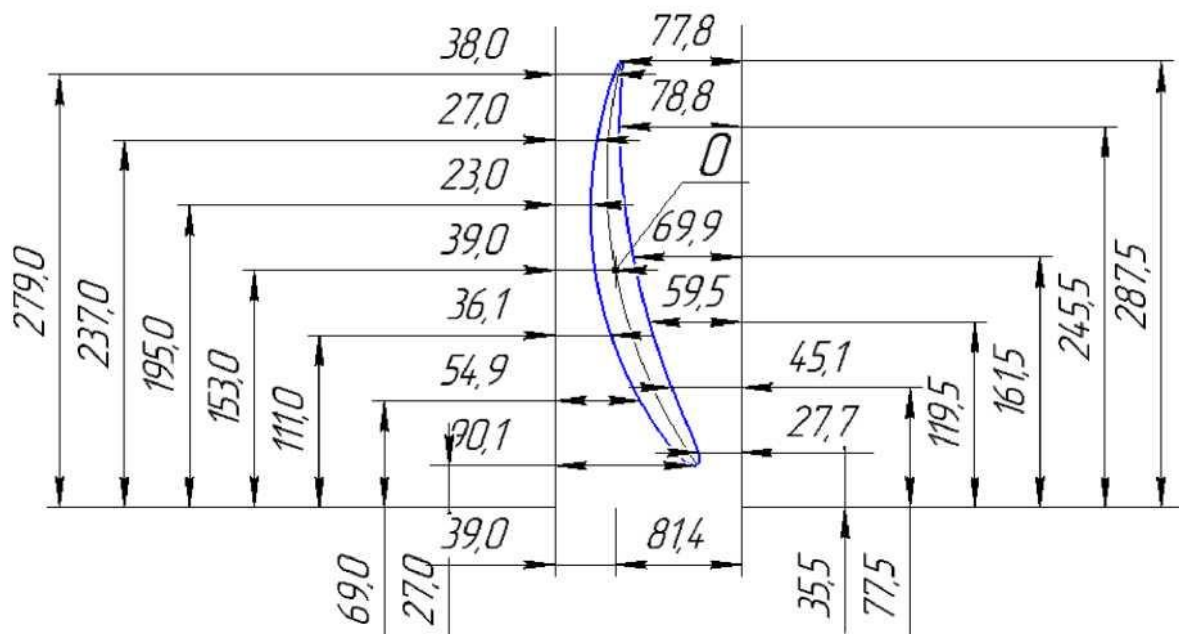


Рисунок 2.19 – Завдання координат поверхні профілю лопаті ВА R=400

Теоретичний креслення є плоскими розгортками профілів лопаті в кожному розрахунковому перерізі з розмірами координат точок напірної і всмоктувальної сторін профілю. По розгорткам виконується побудова видів лопаті у плані та у меридіанної проекції. Він необхідний виготовлення шаблонів, якими виконується обробка поверхні лопаті. Також він є основою для побудови твердотільної моделі лопаті РК та ВА загалом.

Для створення 3D моделі лопаті РК, як і створення моделі ТПА, використовувався програмний комплекс САПР Solidworks. Побудову кожного плоского перерізу можна здійснити трьома способами:

- використовуючи теоретичне креслення як шаблони, обвести його сплайном (кривою);
- перерахуванням плоских координат у просторі. Докладніше про цей спосіб розказано в [6];
- побудова перерізів в ескізах, що знаходяться в різних площинах, з подальшим згинанням поверхонь, утворених перерізами.

2.4 Ескізна побудова перерізів

На початку побудови лопаті в Solidworks, було обрано площину, від якої йшов відлік. Рекомендується використовувати одну з базових площин: "Спереду", "Зверху" або "справа".

Після вибору бази у вкладці "Елементи" - "Довідкова геометрія" необхідно вибрати оператор "Площина". У меню визначення площини, що створюється, як посилання вибирається базова площина, а потім створюється умова розташування щодо неї. Це може бути паралельність, перпендикулярність, збіг, кут між площинами чи поверхнями, а також відстань за нормаллю (див. рис. 2.20).

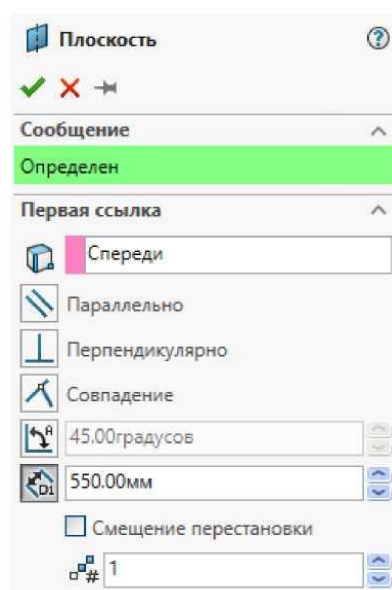


Рисунок 2.20 – Визначення площини

У разі було використано умова відстані. Як відстань були відкладені радіуси, на яких розташовуються перерізи (див. рис. 2.21).

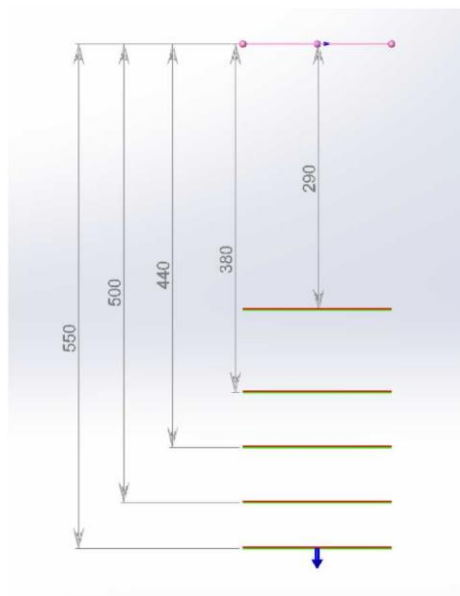


Рисунок 2.21 – Площини перерізів

Потім у кожному перерізі будується ескіз, що відповідає розгортці даного радіусу, який заповнюється поверхнею за допомогою інструмента «Заповнити» у вкладці «Поверхня». В результаті маємо умовну поверхню перерізу (див. рис. 2.22). Після будуються поверхні для перерізів, що залишилися.

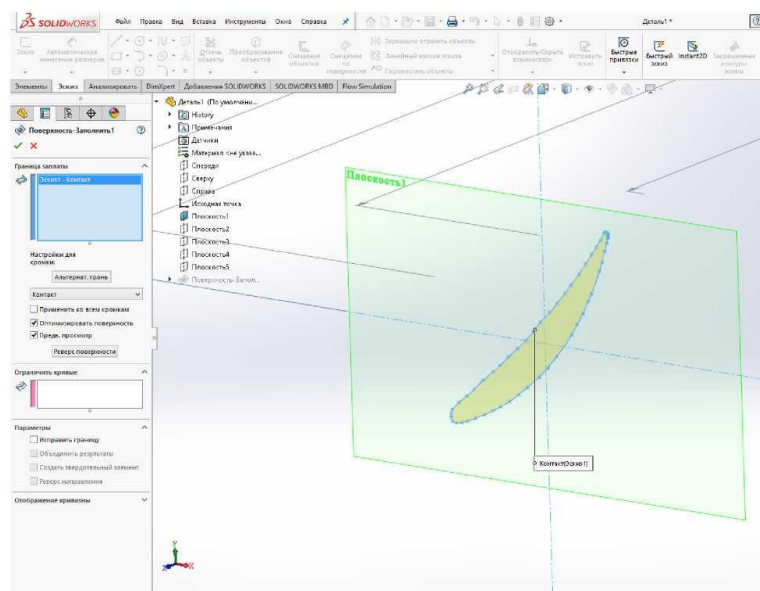


Рисунок 2.22 – Ескіз перерізу R=550

В результаті утворюються плоскі розгортки умовних поверхонь перерізів лопаті РК. Для того, щоб зробити їх просторовими, необхідно скористатися

оператором «Гнучкі» у вкладці «Елементи», поставивши радіус вигину, як радіус розташування перерізу. Після створення вигинів по крайках отриманих поверхонь формуються напірна і всмоктувальна поверхні лопаті, які потім зшиваються з метою створення єдиної твердотільної моделі (див. рис. 2.23).

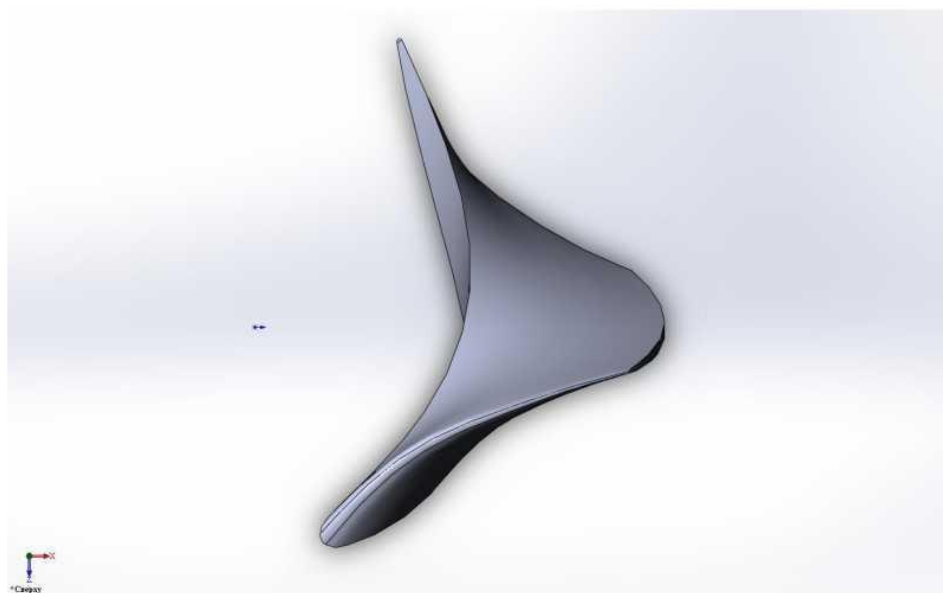


Рисунок 2.23 – Твердотільна модель лопаті

2.5 Побудова тривимірної моделі лопатевої системи

Після створення моделі лопаті була спроектована втулка за найменшим радіусом перерізу, навколо якої було збудовано масив лопатей (рис. 2.24).

Побудова твердотільного ЕЕ-моделі ВА здійснювалося аналогічним чином.

Побудовані моделі були масштабовані відповідно до коефіцієнта геометричної подоби, який знаходиться за формулою:

$$K_l = \frac{D}{D^*} \quad (2.19)$$

де D – діаметр РК проектного водометного рушія;

D^* – діаметр РК насоса, що адаптується.

Таким чином, $K_l = 0,118$.

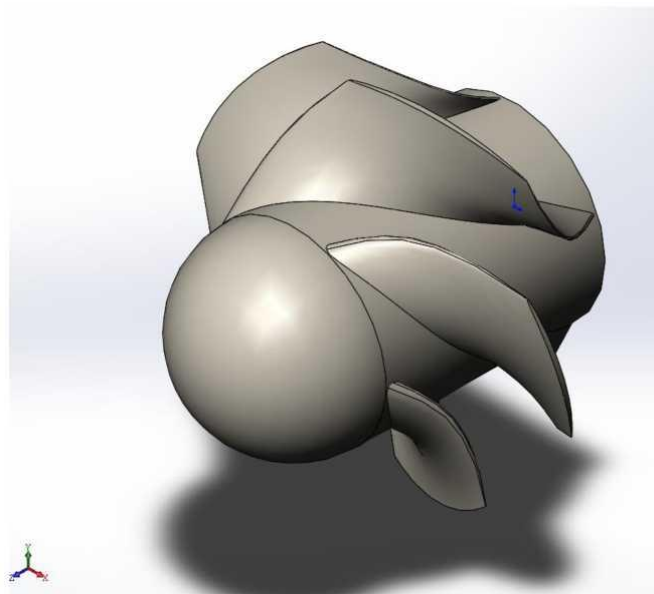


Рисунок 2.25 – Твердотільна модель РК

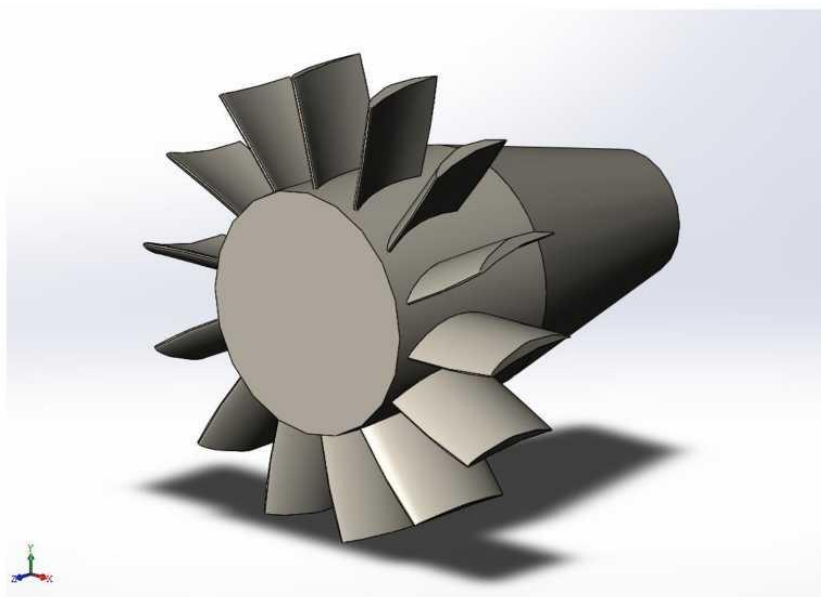


Рисунок 2.25 – Твердотільна модель ВА

Відмасштабовані моделі об'єднувалися в єдине тверде тіло (рис. 2.26) для подальшого виділення області течії.

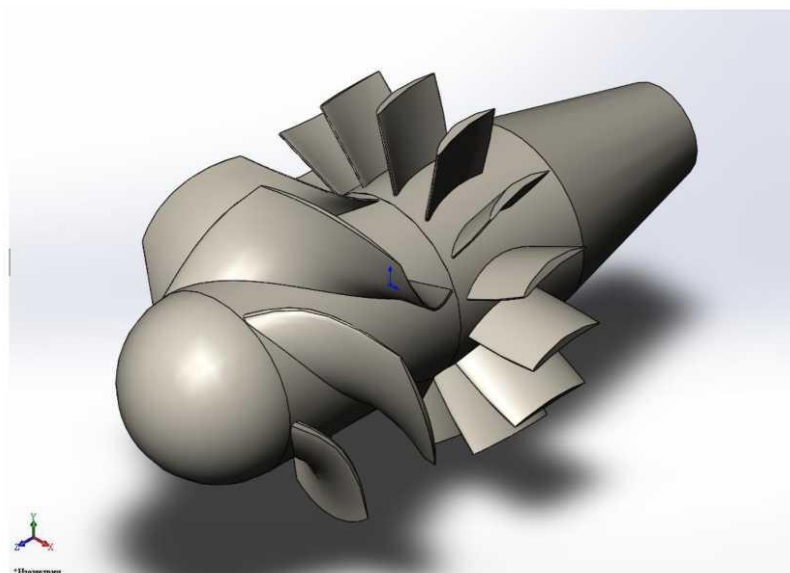


Рисунок 2.26 – Твердотільна 3Б-модель лопатевої системи

Також навколо лопатевої системи була побудована проточна частина (рис. 36), внутрішній діаметр якої визначається виходячи з умови (15), а зовнішній брався конструктивно і пізніше повірявся у розрахунку на міцність. На розрахунок течії зовнішній діаметр не впливає.

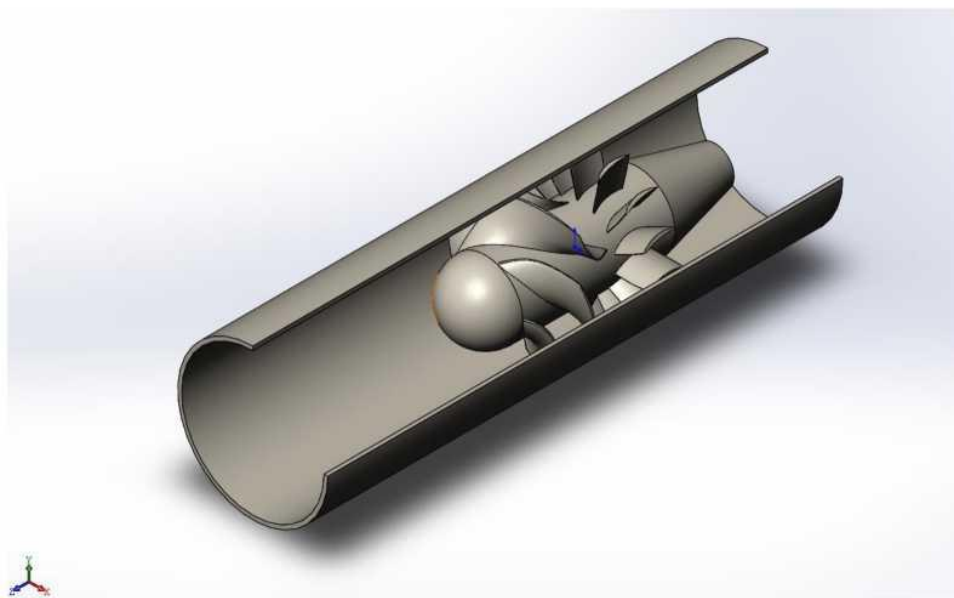


Рисунок 2.27 – Проточна частина водометного рушія ТПА (у розрізі)

2.6 Виділення розрахункової області проточної частини. Створення міжлопатєвого каналу

Для моделювання течії всередині проточної частини був створений циліндр з діаметром, рівним внутрішньому діаметру проточної частини та основою, що дорівнює довжині проточної частини. При видаленні з нього лопатевої системи за допомогою оператора комбінування тіл була отримана твердотільна ЕБ-модель течії, представлена в розрізі на рис. 2.28:

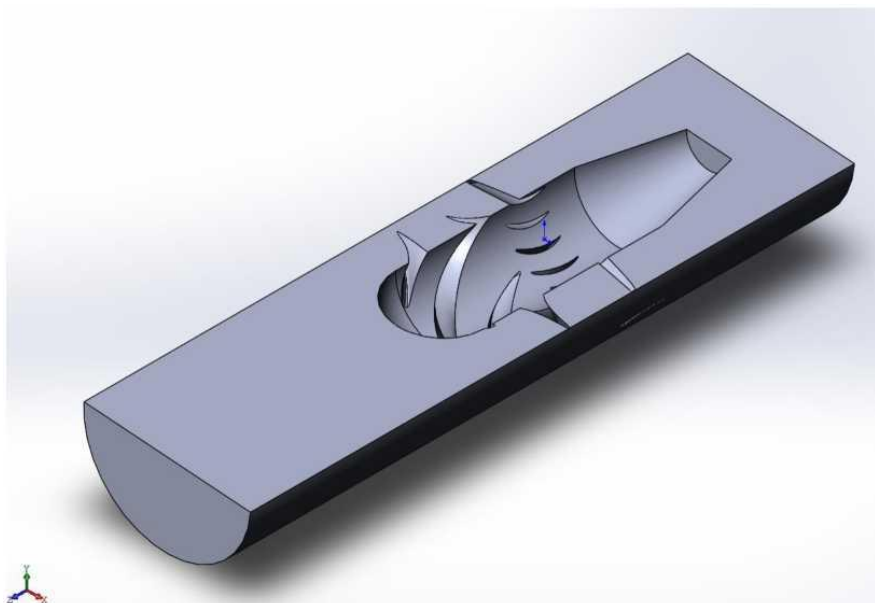


Рисунок 2.28 – Твердотільна ЕБ-модель течії проточної частини двигуна ТПА

Як було зазначено, заощадження ресурсів сприяє використанню моделі періодичності, тобто виділення одного розрахункового каналу. Процес перетворення моделі на модель з умовою використання періодичності докладно описаний у навчальному посібнику «Розробка та чисельне дослідження лопатевої системи осьового насоса» [6].

Для вертикальних рушіїв розрахунок проводиться без апарата, що виправляє.

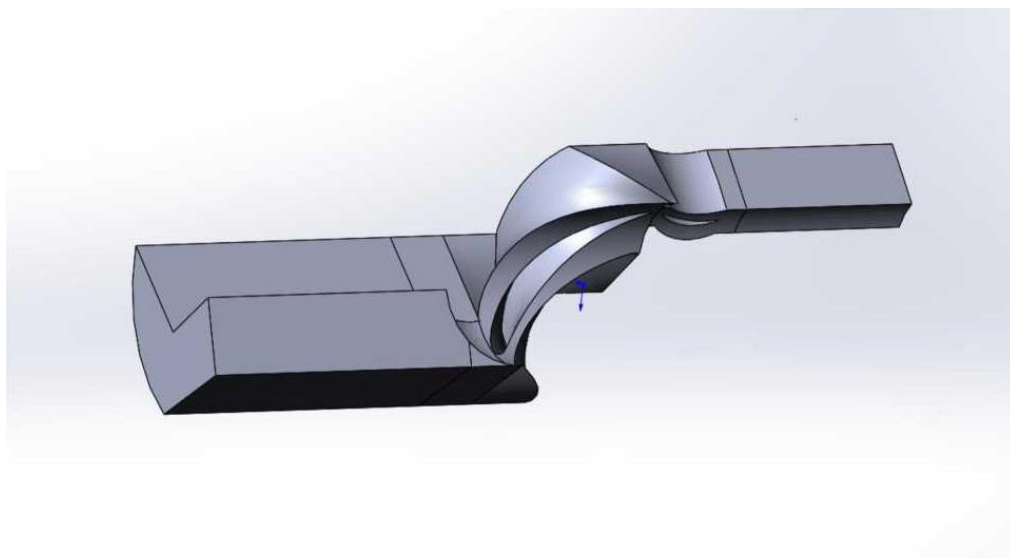


Рисунок 2.29 – Модель перебігу з умовою періодичності

2.7 Числіве моделювання в'язкого перебігу

Створення сітки здійснювалося у сіточному генераторі ICEM CFD програмного комплексу ANSYS.

Створивши проект, і, завантаживши геометрію моделі, насамперед необхідно було дискретизувати розрахункову область відповідно до певних ГУ. Аналогічна робота була виконана раніше, але цього разу через умови періодичності додається кілька ГУ (див. рис. 2.30 – 2.42)

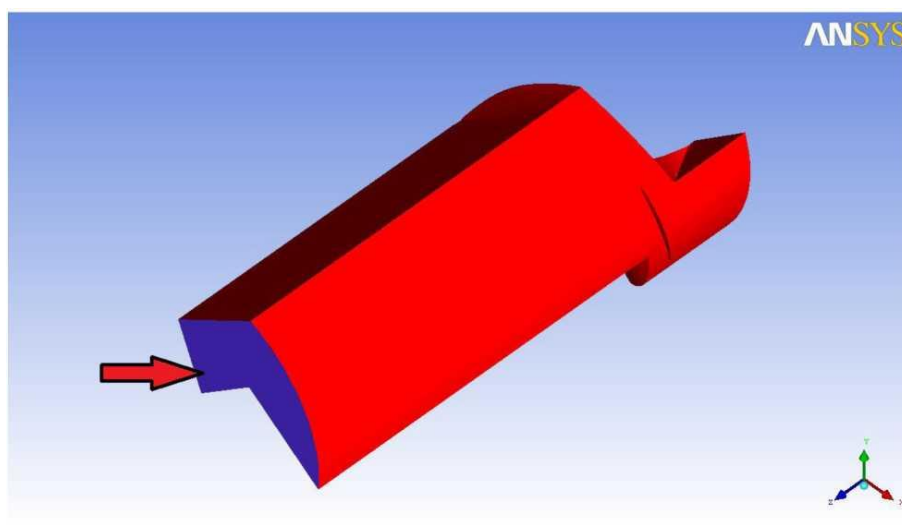


Рисунок 2.30 – Inlet_1

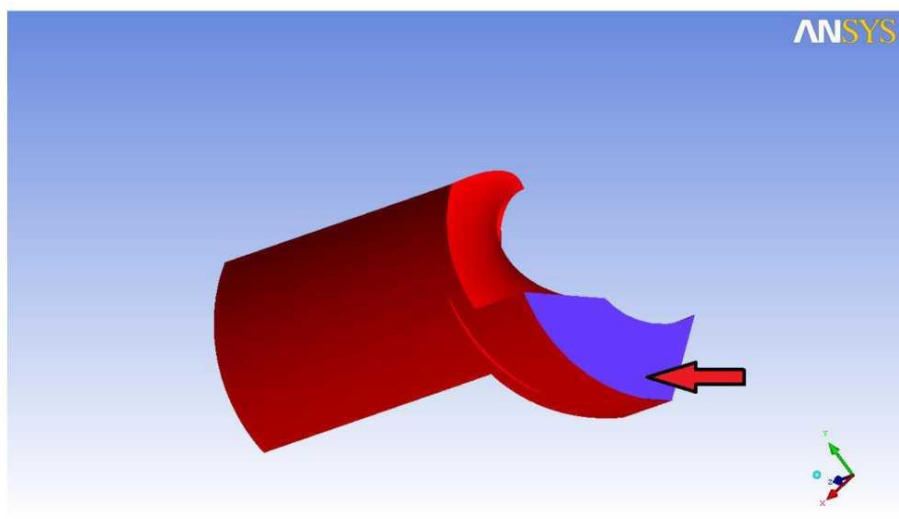


Рисунок 2.31 – Outlet

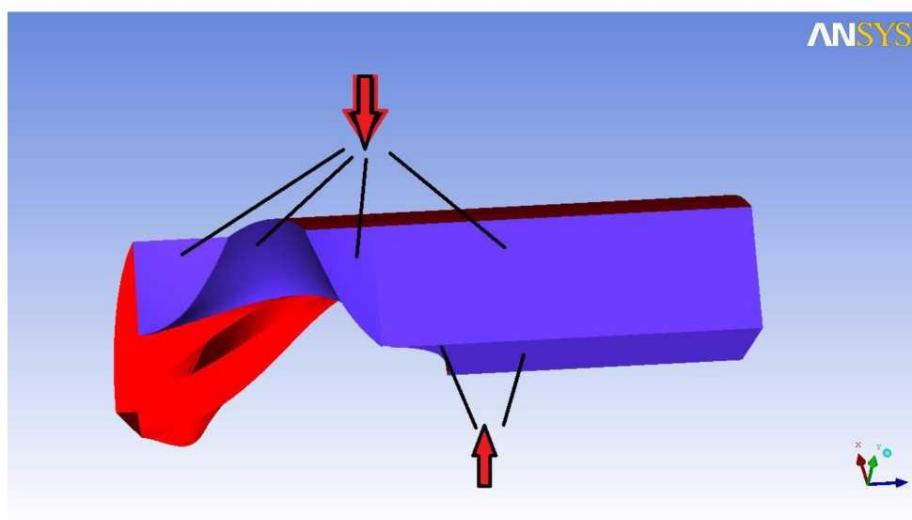


Рисунок 2.32 – Periodic_1_1

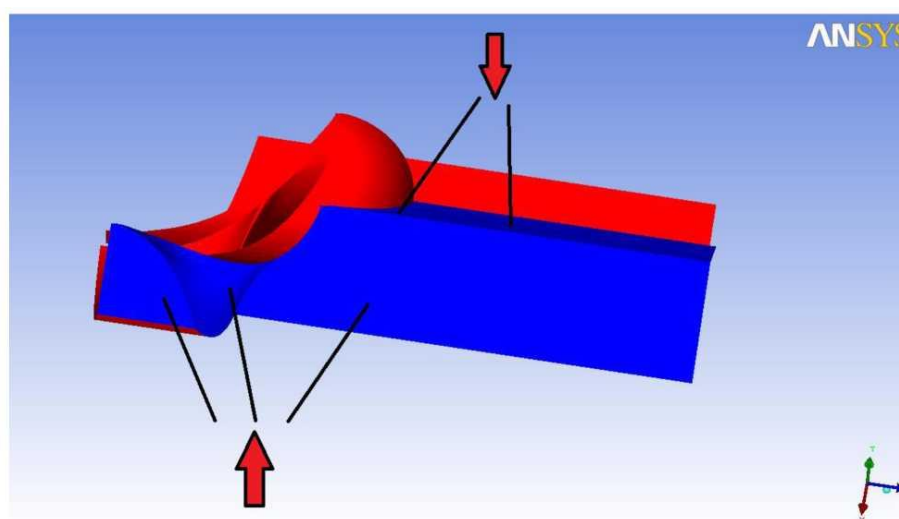


Рисунок 2.33 – Periodic_2_1

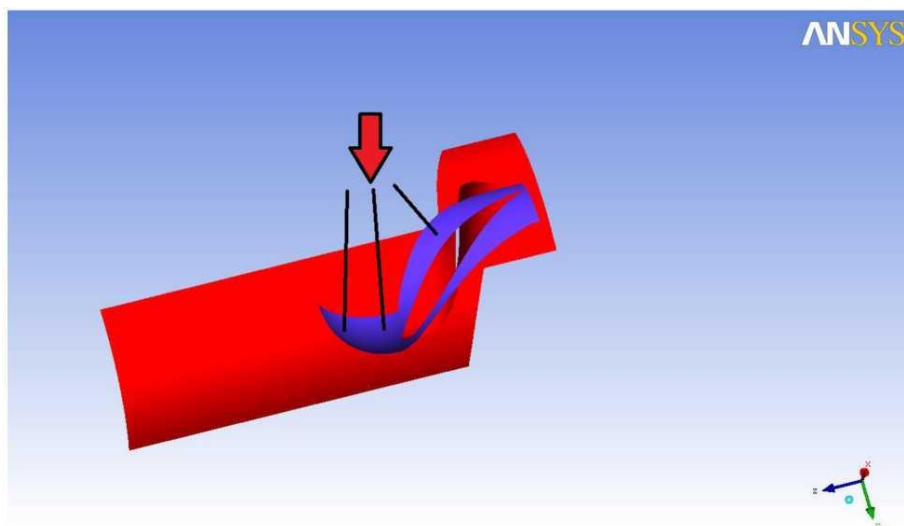


Рисунок 2.34 – Hub_1

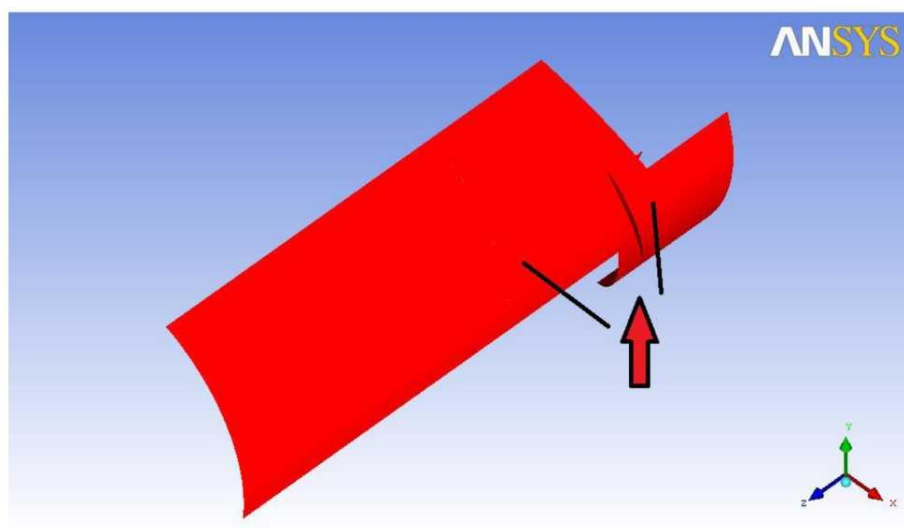


Рисунок 2.35 – Shroud_1

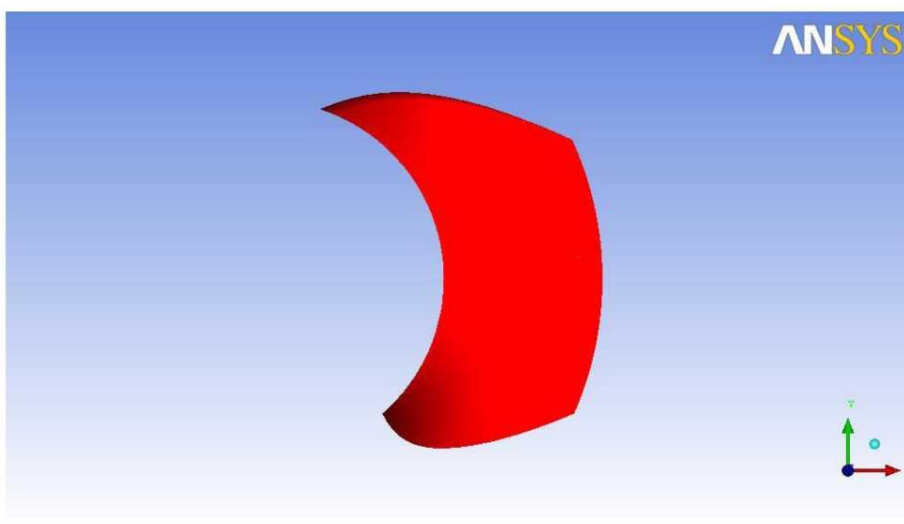


Рисунок 2.36 – Blade_1

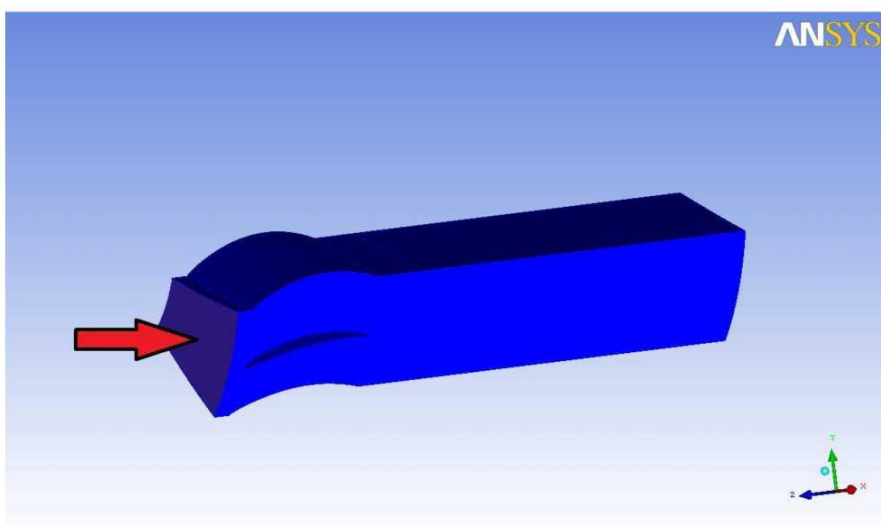


Рисунок 2.37 – Inlet_2

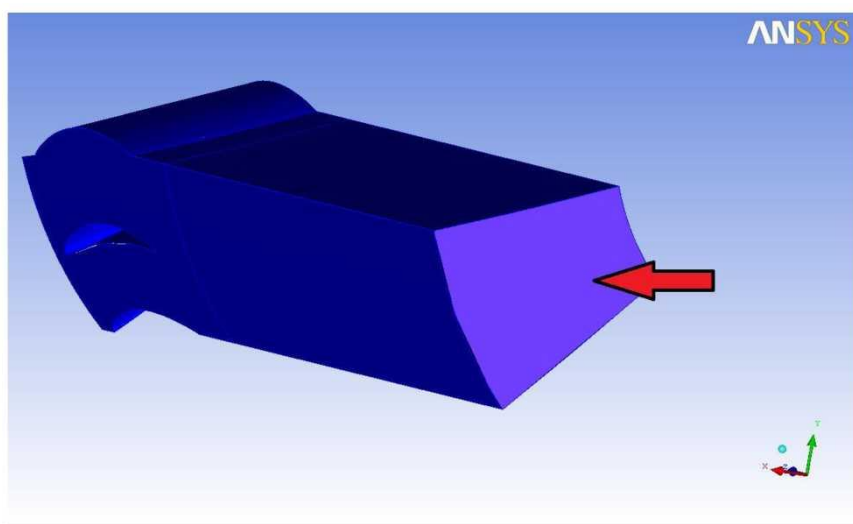


Рисунок 2.38 – Outlet_2

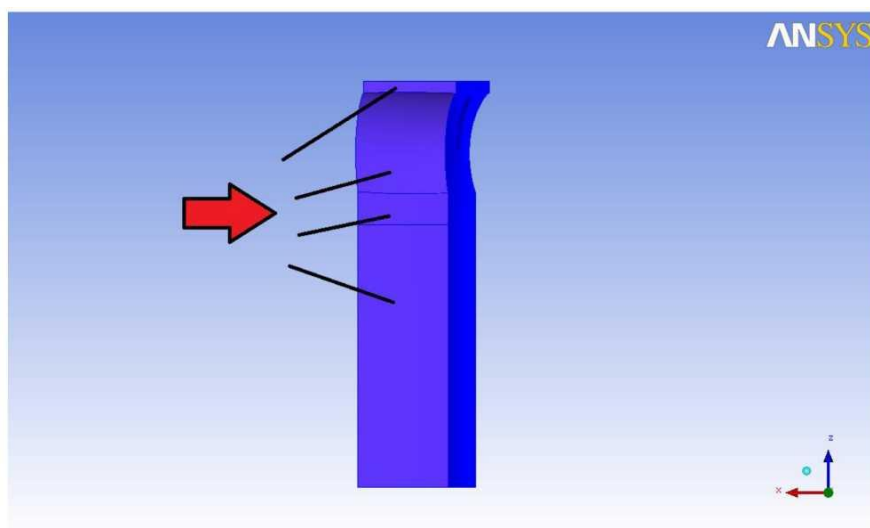


Рисунок 2.39 – Periodic_1_2

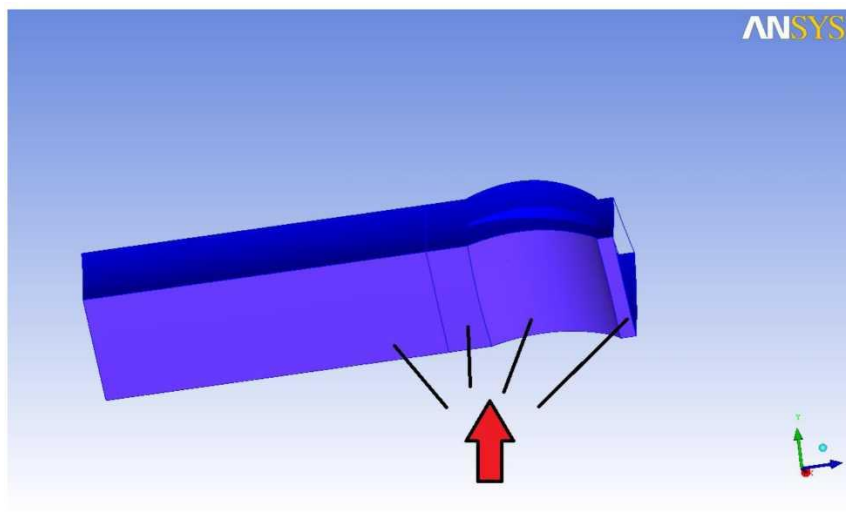


Рисунок 2.40

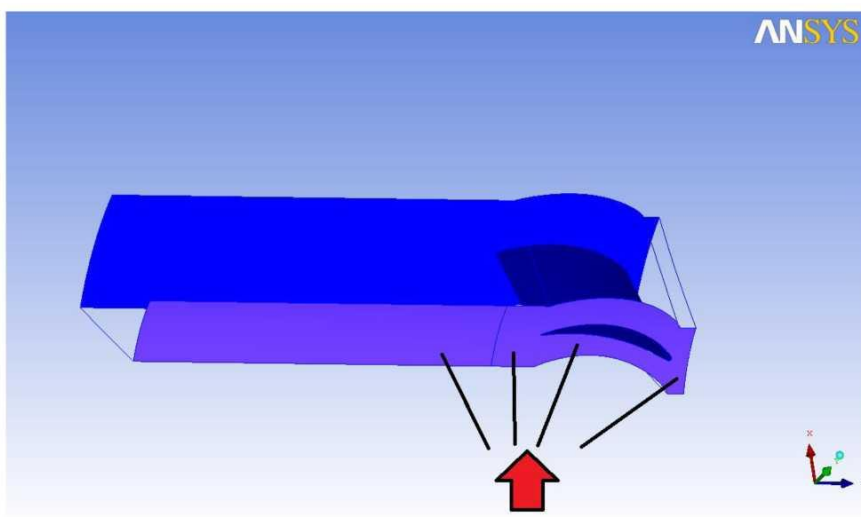


Рисунок 2.41 – Shroud_2

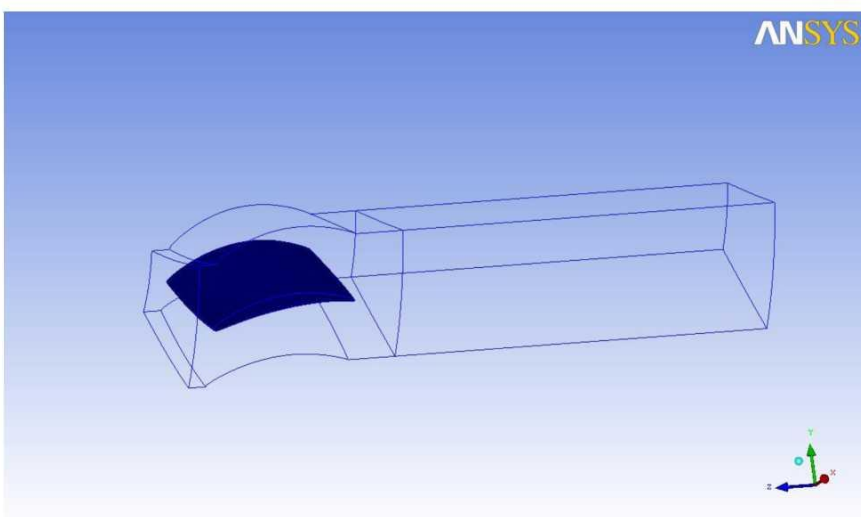


Рисунок 2.42 – Blade_2

2.8 Встановлення параметрів розрахункової сітки

Складність проточної форми зобов'язала використовувати неструктуровану розрахункову сітку, характер розташування вузлів якої є випадковим.

У переважній більшості випадків ЛГМ мають турбулентну течію. ТТ складається з ядра потоку з нев'язкою течією та області ПС з нестійкою в'язкою течією (див. рис. 2.43).

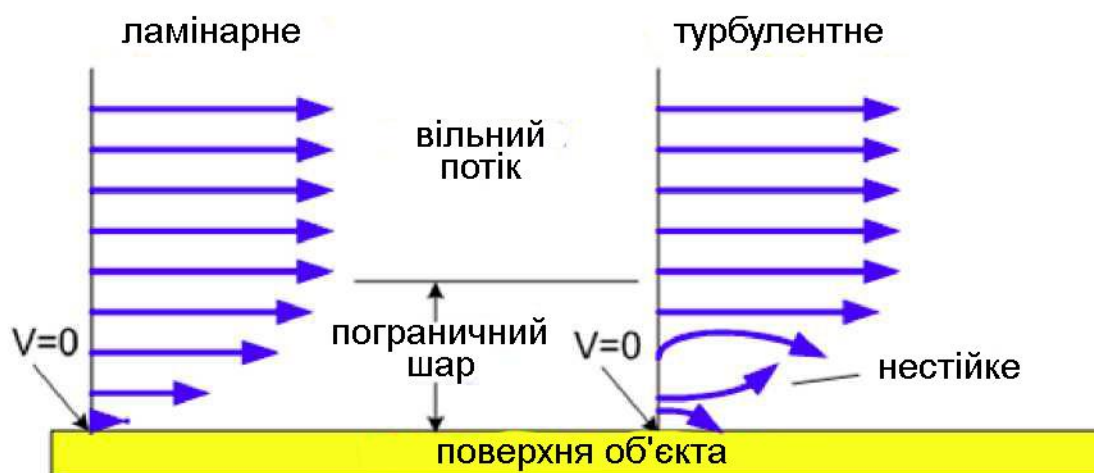


Рисунок 2.43 – Режимы течий

Виходячи з вище написаних фактів, було прийнято рішення використовувати сітку з тетраедральними осередками. Глобальний розмір елементів сітки визначається, як:

$$\Delta = 0,01D \quad (2.20)$$

де D – діаметр РК

Зважаючи на динамічні зміни швидкості в ПС до розрахункової сітки висуваються вимоги до правильності вибору розміру першого призматичного шару, наявності потрібної кількості призматичних шарів і плавність зростання їх розміру.

У першому наближенні розрахунок значень провадився за рекомендаціями

На обчислення розміру першого шару та розміру всього ТПС впливає величина числа Рейнольдса, яка визначається виразом:

$$Re = \frac{Vd}{\nu} \quad (2.21)$$

де ν – кінематична в'язкість води при 25 °C

d – еквівалентний діаметр входу в РК, який визначається за формулою:

$$d = \sqrt{(D_2^2 - d_{BT}^2)} \quad (2.22)$$

• V – швидкість потоку при вході в РК, що знаходиться, як:

$$V = \frac{Q}{S} \quad (2.23)$$

Розмір першого призматичного шару:

$$\Delta y = dy + \sqrt{74} Re^{\frac{13}{14}} \quad (2.24)$$

Результати розрахунків чисел Рейнольдса для різних режимів були занесені до табл. 2.5:

Таблиця 2.5 – Параметри розрахункової сітки

Δy , мм	Re	V, м/с	Q, м3/с	δ ,мм
0,0014863	45488,8	0,3007	0,0035	0,00921
0,0009937	70177,1	0,4639	0,0054	0,00866
0,0007608	93564,42	0,6185	0,0072	0,00831
0,0006315	114349,8	0,7559	0,0088	0,00807
0,0005407	135150,3	0,8934	0,0104	0,00788
0,0002697	285882	1,8898	0,022	0,00708

Після кількох пробних побудов розрахункової сітки через надмірну густоту було вирішено прийняти такі параметри для всіх режимів:

$$\Delta = 2 \text{ мм},$$

$$\delta = 2 \text{ мм},$$

$$\Delta y = 0,015 \text{ мм}.$$

На рис. 2.44 і 2.45 зображені сітки прийнятної густоти:

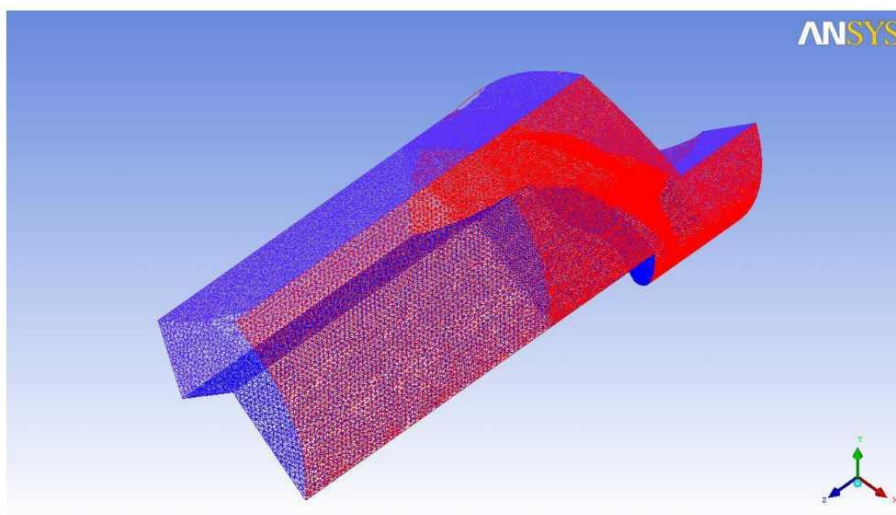


Рисунок 2.44 – Сітка РК

2.9 Розрахунок в'язкої течії

Розрахунок проводився у програмному комплексі для розрахунку гідродинаміки ANSYS CFX. Заданими ГУ були частоти оборотів РК, тиск на вході в РК, величина масової витрати на виході із проточної частини.

Зручність відстеження розрахунку забезпечувалося спеціальними виразами - Expressions, написаними мовою CCL і такими, що виглядають [14]:

$$- \quad \text{Hisp} \quad = \quad (\text{massFlowAveAbs(Pressure)}@S1 \quad \text{Outlet} \quad - \quad \text{massFlowAveAbs(Pressure)}@S1 \quad \text{Inlet})/(\rho \cdot g) + ((\text{massFlow}()@S1 \quad \text{Outlet}/\text{area}()@S1$$

Outlet/ro)A2-(massFlow()@S1 Inlet);

– $KPD = 100 * (ro * g * Hisp * Q) / Nr_k$;

– $Nr_k = ((n * Mr_k) * 1[W]) / ((180/\pi) * 1 [kg \cdot m^2 s^{-1} A^{-3} degree])$;

– $Mr_k = torque_y()@R1 \text{ Hub} + torque_y()@GAPHub$.

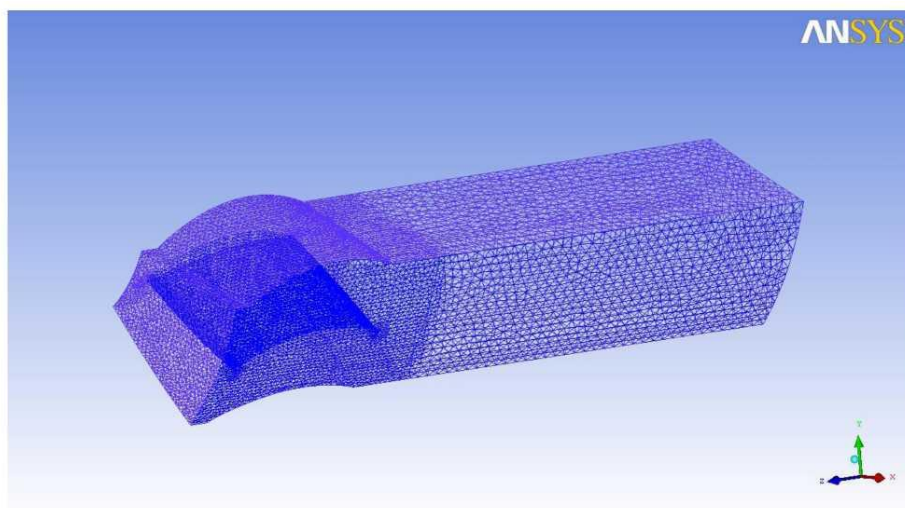


Рисунок 2.45

Це вирази визначення напору, ККД, потужності РК і моменту на РК відповідно.

Результати розрахунку були записані до табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Результати розрахунків перебігу проточної частини

v , км/ГОД	0	1	2	3	4	5	2
Q , м ³ /с	0	0,0037	0,0052	0,0073	0,009	0,0102	0,0173
H_{pk} , м	0	0,0174	0,0697	0,158	0,287	0,439	0,069
$H_{на}^{\wedge}$ м	0	0,0169	0,0691	0,153	0,283	0,436	0,052
MPK , кг/с	0	0,12	0,72	0,98	1,34	1,92	2,12
n , про/хв	0	207	322	428	524	615	1038

Аналізуючи отримані дані, можна зробити висновок, що розраховані значення близькі до значень.

РОЗДІЛ 3

КОНСТРУКЦІЯ, КОМПОНІВКА І ЗОВНІШНІ ОБРИСИ

3.1 Управління ТПА, що розробляється. Проблеми навігації сучасних ТПА

Наявність навігаційної системи є важливою вимогою до будь-якого типу мобільних роботів, особливо до ТПА [17]. Достовірна навігаційна інформація важлива не тільки для безпечної експлуатації апарата, але і для того, щоб зібрані дані мали цінність. Для багатьох типів завдань ТПА, таких як картування морського дна та протидія підводним мінам, якість даних, отриманих транспортним засобом, а отже, і успіх вирішальною мірою залежать від точності навігаційної системи транспортного засобу. Вартість може бути основним чинником розробки навігаційної системи ТПА. Це особливо актуально для додатків, які передбачають скоординовану роботу кількох транспортних засобів.

Відсутність можливості використання GPS під водою робить навігацію ТПА складним завданням. Без зовнішнього зразка у вигляді акустичних маяків у заздалегідь відомих місцях транспортний засіб повинен покладатися на пропріоцептивну інформацію, отриману за допомогою компаса, вимірювача швидкості доплерівського або інерційної навігаційної системи. Незалежно від якості датчиків, що використовуються, похибка в оцінці розташування на основі отриманої інформації зростає без обмежень. Типові помилки навігації становлять 0,5-2% від пройденої відстані для транспортних засобів, що рухаються в межах кількох сотень метрів від морського дна. Помилки, що становлять лише 0,1%, можуть бути отримані з дорогими системами, але для транспортних засобів, що використовують лише компас та оцінку швидкості, коефіцієнт помилок може досягати 10%. Через спливання ТПА може отримувати оновлення розташування через свій GPS, але це неможливо або небажано під час багатьох завдань. Використання статичних маяків у вигляді антени з довгими базами обмежує робочу зону до декількох квадратних кілометрів і вимагає значних зусиль при розгортанні перед експлуатацією, особливо в глибокій воді.

Оскільки підводні транспортні засоби стають дедалі надійнішими та доступнішими, одночасне використання кількох ТПА стало можливим, і очікується, що узгоджене використання кількох апаратів стане звичайним явищем у наступні роки. Це не тільки дозволить здійснювати нові типи операцій, які залежать від комунікації, але також дозволить кожному окремому члену групи користуватися навігаційною інформацією, отриманою від інших учасників. Для оптимальної спільної локалізації можна використовувати кілька спеціально призначених навігаційних допоміжних підводних апаратів, які підтримують точну оцінку розташування через складні датчики, і можуть дозволити набагато більшій групі транспортних засобів з менш складними комплектами датчиків підтримувати точне положення.

Існує п'ять основних технологій, на які проектувальник повинен спиратися під час вибору навігаційної системи:

- сенсорне зондування;
- GPS;
- акустична навігація по ретранслятору;
- навігація картою;
- спільна навігація кількох транспортних засобів.

Пропріоцептивна навігація відноситься до використання вимірювань власного руху транспортного засобу розташування транспортний засіб. За останні два десятиліття вартість і розміри пропріоцептивні навігаційні датчики значно скоротилися, зробивши їх доступними для невеликих і більш дешевих систем.

Незалежно від вартості та якості датчика, проблема полягає в тому, що помилка положення накопичується у міру збільшення відстані, пройденого транспортним засобом. Швидкість збільшення залежатиме від океанських течій, швидкості транспортного засобу та якості зчитування датчиків навігаційного числення. Якщо транспортний засіб може спливати на поверхню, для визначення розташування можна використовувати GPS. На практиці багато ТПА продемонстрували цю можливість.

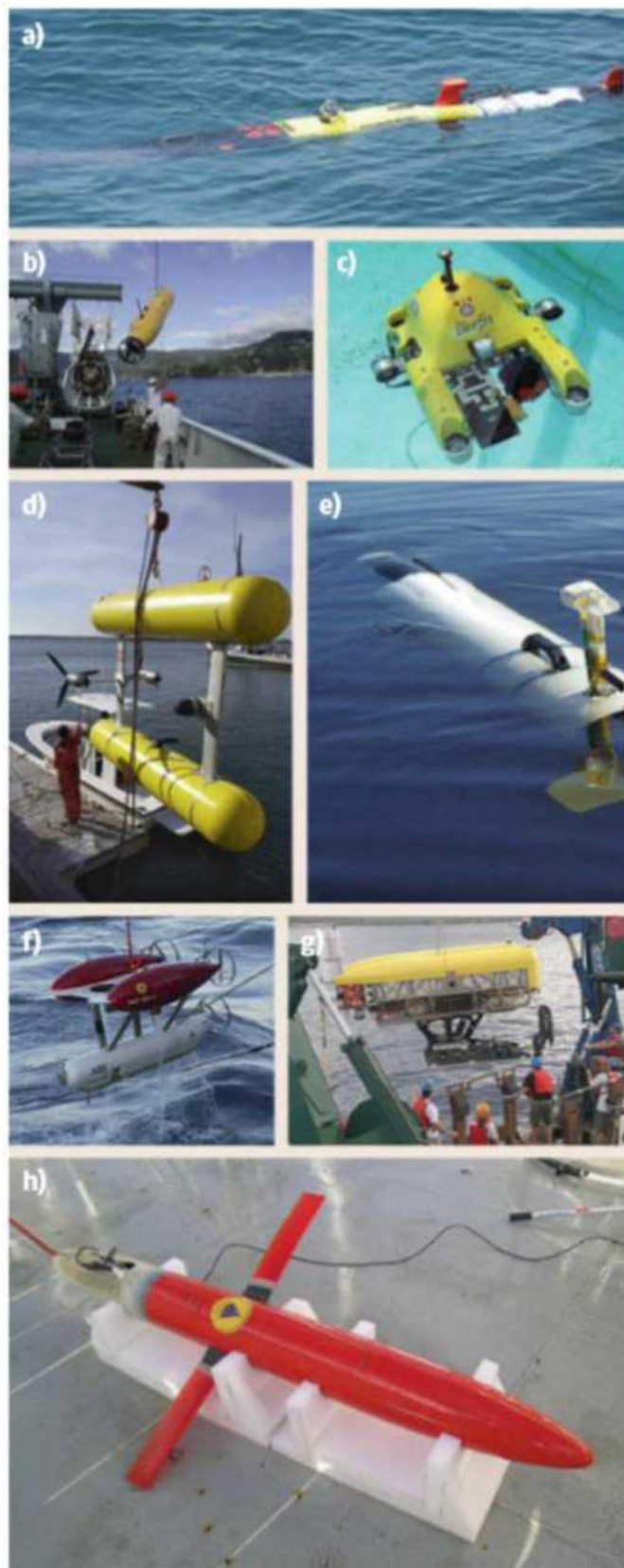


Рисунок 3.1 – Системи ТПА, що використовують різноманітні навігаційні датчики та алгоритми.

ТПА, що розробляється, позбавлений вищеописаної проблеми з навігацією, оскільки управлінням ним здійснюється оператором за допомогою маніпулятора. Радіосигнали з маніпулятора передаються на радіостанцію, яка має можливість розміщення на землі, так і плавання на поверхні води. Апарат пов'язаний зі станцією вантажонесучим кабелем довжиною 50 м, через який на ТПА надходять сигнали дистанційного керування та електроживлення, а назад передаються сигнали датчиків та відеосигнали. Дротовий зв'язок має і недолік – дрон обмежений у вільному плаванні довжиною кабелю.

3.2 Пристрій та зовнішній вигляд

Як було зазначено, ТПА пов'язаний з радіостанцією кабелем, що дозволяє використовувати більш ємний акумулятор без необхідності підвищення маси апарату. Також у разі розрядки або пошкодження дрона та нездатності здійснення його спливання за допомогою рушіїв завжди буде можливість підняти його на поверхню.

На рис. 3.2 представлена зроблена в Solidworks збірна модель ТПА. У цій моделі стіни корпусу та рушіїв спеціально були зроблені прозорими для можливості наочно показати основні вузли апарату та пояснити принцип дії.

Герметичний корпус 1 порожнистий і складається з двох роз'ємних частин, що дозволяє розмістити всередині нього ряд необхідних датчиків, а також мікроконтролер, який керуватиме горизонтальними рушіями та вертикальними, задаючи їх двигунам необхідний режим обертів. Горизонтальний рушій складається з проточної частини 2, ВА 3 і РК 4. Проточна частина вертикального рушія 5 також має ВА 6 і РК 7 і захищена решіткою, що перешкоджає попаданню дрібного сміття в проточну частину. Двигуни знаходяться в порожнинах втулок ВА 3 і 6 і захищені кожухами від вологи, а також пов'язані з мікроконтролером електропроводами з вологостійкою обмоткою. ВА жорстко закріплені у проточних частинах і становлять із нею єдині деталі. РК закріплені на валах та вільно обертаються. Захисний екран 8 із прозорого пластику оберігає від

попадання води порожнину, в яку може бути встановлена екшн-камера, наприклад моделі GoPro, що зв'язується з мікроконтролером за допомогою USB.

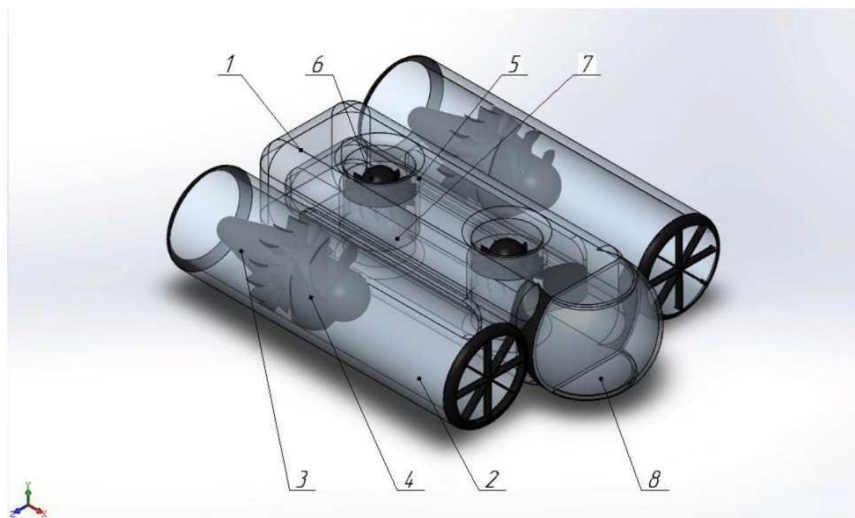


Рисунок 3.2 – Пристрій ТПА

На рис. 3.3 представлений креслення загального виду ТПА, але в рис. 3.4 3D-модель ТПА у кольорі.

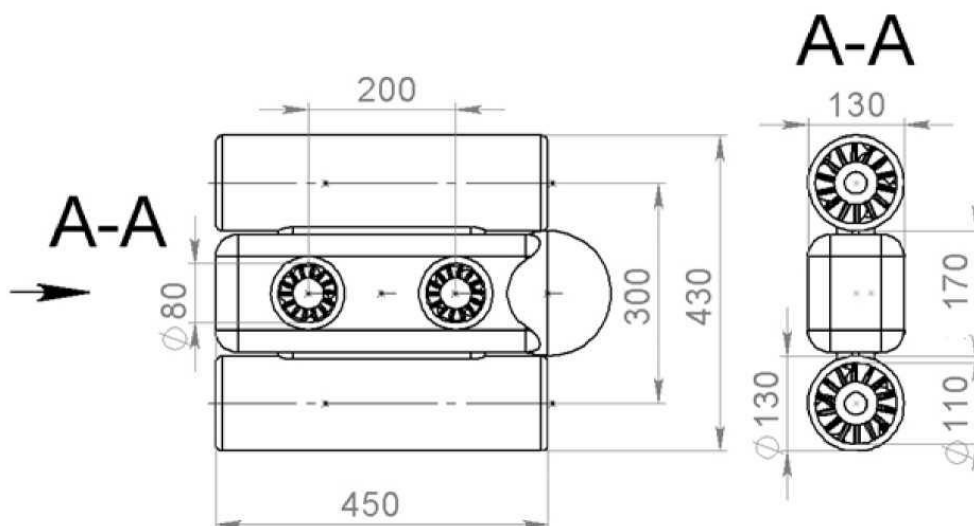


Рисунок 3.3 – ТПА вид зверху та проекційний вид ззаду

3.3 Вибір пластику

Планується, що більшість деталей пропонованого ТПА буде надруковано

на BD-принтері.

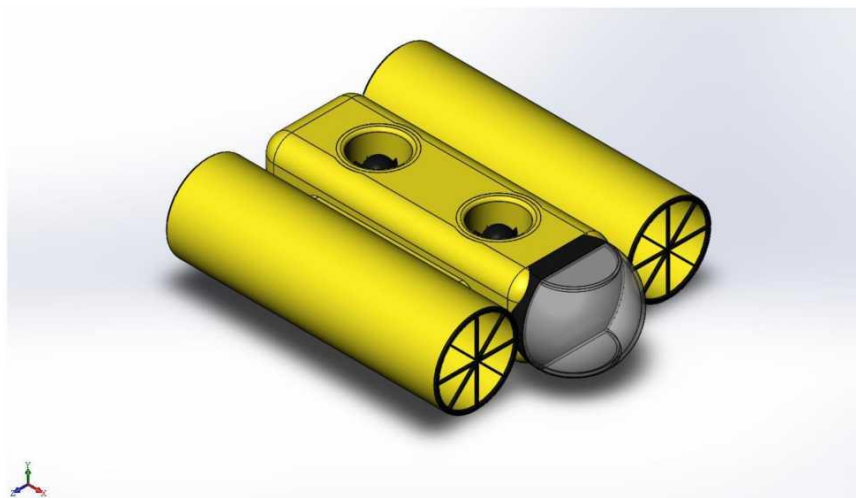


Рисунок 3.4 – 3D-модель ТПА

Останнім часом спостерігається підвищена тенденція використання BD-друку та активна її інтеграція у виробництво та повсякденне життя, причому друк здійснюється як металами та пластиками, так і живими клітинами, так званий BD-біопринтинг, що відіграє велику роль у медицині.

У виробництві прототипів та експериментальних моделей BD-друк має явну перевагу перед литтям, дозволяючи друкувати скільки завгодно складні та різноманітні геометрії моделей, зважаючи на відсутність необхідності форми.

Як матеріал для виробництва деталей дрону був обраний SBS-пластик. Його основні характеристики представлені в табл. 3.1:

Таблиця 3.1 – Характеристики SBS-пластику

Щільність	1.01 г/смВ
Вологопоглинання	0.07%
Модуль пружності при розтягуванні	1В50 МПа
Модуль пружності при згинанні	1450 МПа
Міцність на розрив	24 МПа
Відносне подовження при розриві	250%
Міцність на вигин	36 МПа

3.4 Приблизний розрахунок вартості апарату

Сумарна маса пластику, необхідна для створення ТПА – 3,4 кг. З цього випливає, що нам необхідно 4 мотки пластику по 1 кг. Таким чином, враховуючи ціну 1 кг SBS, у середньому рівню 1500 грн., На необхідну кількість пластику потрібно витратити 6000 грн.

Далі в табл. 3.2 наведена приблизна на сьогоднішній день вартість компонентів ТПА.

Таблиця 3.2 – Приблизна вартість компонентів ТПА

Компоненти	Вартість
SBS-пластик	6000 грн.
2 електродвигуни (70 Вт)	2000 грн.
2 електродвигуни (40 Вт)	1000 грн.
Електропровід (50 м)	2000 грн.
Мікроконтролер	500 грн.
Гіроскопічний датчик положення	500 грн.
Екшн-камера (бюджетний варіант)	4000 грн.
Маніпулятор типу GamePad	2000 грн.
Акумулятор	2000 грн.
Разом	18000 грн.

Порівнюючи підсумкову вартість компонентів з ціною екземплярів апаратів можна побачити десятикратну, а часом і стократну різницю. Це пов'язано насамперед із тим, що у таблиці 9 не враховано такі чинники:

- вартість роботи фахівців (у тому числі програмістів, на плечі яких лягає половина, а то й більшість роботи у створенні апарату);
- вартість обладнання, його експлуатації та обслуговування;
- податкове навантаження;
- витрати маркетинг.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Вступ

Метою управління охороною праці є забезпечення безпеки, збереження здоров'я та працездатності людини в процесі праці. Ця мета досягається виконанням відповідних функцій управління, тобто комплексом взаємопов'язаних видів, що здійснюються суб'єктом управління цілеспрямовано на об'єкт управління.

Об'єктом управління в системі управління охороною праці є діяльність функціональних служб і структурних підрозділів конкретних керівників та інженерно-технічних робітників підприємств із метою забезпечення безпечних, нешкідливих та сприятливих умов праці на робочих місцях, виробничих ланках, У цехах і на підприємстві в цілому.

Мета впровадження системи управління охороною праці (СУОП) — це всебічне сприяння виконанню вимог, які повністю ліквідують, нейтралізують або знижують до допустимих норм вплив на працюючих небезпечних та шкідливих факторів виробничого середовища, забезпечують усунення джерел небезпеки, ізолювання від них персоналу, використання засобів, що усувають небезпечні ситуації та підвищують технічну безпеку, створюють надійні санітарно-гігієнічні та ергономічні умови. СУОП передбачає встановлення конкретних кількісних показників діяльності виробничих підрозділів, підтримування котрих в заданих межах забезпечує досягнення основної мети щодо організації безпечних та нешкідливих умов праці.

Проблема створення безпечних і нешкідливих умов праці в Україні існувала завжди, про що свідчить статистика нещасних випадків: ще 10 років тому на виробництві щорічно травмувалося 125 000 працівників, з них гинуло майже 3000. Проте, справжній стан охорони праці та рівень виробничого травматизму на той час замовчувались. З цих причин багато важливих

невідкладних наукових і виробничих завдань з питань умов праці зовсім не вирішувалось.

Наслідками такого становища стали:

- відставання від світових досягнень на 15-20 років вітчизняної науки з питань охорони праці;
- зростання в 5-8 разів рівня виробничого травматизму порівняно з такими ж показниками в інших промислово-розвинених країнах;
- перевищення майже в 2 рази в розрахунку на одного працюючого виплат на пільги і компенсації за роботу в шкідливих умовах над витратами на профілактику нещасних випадків і професійних захворювань.

В 1992 р. Україна прийняла Закон “Про охорону праці”.

Цей закон визначив пріоритетні напрямки реалізації конституційного права громадян на охорону їхнього життя і здоров’я в процесі трудової діяльності, проголосив основні принципи державної політики в галузі охорони праці.

За роки, що минули з часу прийняття Закону, зроблено для реалізації цих принципів:

- створено Національну раду з питань безпечної життєдіяльності населення при Кабінеті Міністрів України. Вона розробляє та здійснює заходи щодо створення цілісної системи державного управління охороною життя людей на виробництві, організовує контроль за виконанням відповідних законодавчих актів і рішень Уряду України, координує діяльність центральних і місцевих органів виконавчої влади з цих проблем;
- створено Державний комітет по нагляду за охороною праці, якому передано від профспілок державний нагляд за дотриманням законодавства про охорону життя і здоров’я працівників в усьому народному господарстві, доручено комплексне управління охороною праці на державному рівні.
- у 1994-1995 рр. в Україні були розроблені і, в основному, виконані перші галузеві, регіональні і виробничі програми поліпшення стану умов, безпеки праці і виробничого середовища.

У теперішній час йде реалізація національної, галузевих та інших програм з охорони праці, розроблених до 2000 року.

Фінансування програм здійснювалось із спеціально створених відповідних фондів охорони праці. Такі фонди були запроваджені Законом “Про охорону праці” вперше. Зазначені фонди певною мірою стали економічною основою для поліпшення стану безпеки і гігієни праці.

Створено Національний науково-інформаційний навчальний центр охорони праці, виходить щомісячний науково-виробничий журнал “Охорона праці”. Завершується створення єдиної автоматизованої інформаційної системи охорони праці, яка спрямована на підвищення ефективності управління охороною праці в масштабі всієї країни.

Створюється національне законодавство про охорону праці. Здійснюється заходи щодо використання в ньому конвенцій і рекомендацій МОП, директив Європейського Союзу, налагоджується більш тісні контакти з питань нормотворчої діяльності з Росією, Німеччиною, Великобританією, іншими країнами.

Незадовільний стан охорони праці важким тягарем лягає на економіку підприємств, організацій, всієї держави. Щорічно майже 17 000 осіб стають інвалідами внаслідок травм і профзахворювань. Чисельність пенсіонерів по трудовому каліцтву торік перевищила 150 000, а пенсіонерів у зв’язку з втратою годувальника внаслідок нещасного випадку — 50 000 осіб. Загальна сума витрат на фінансування пільгових професійних пенсій і пенсії по трудовому каліцтву, відшкодування шкоди потерпілим на виробництві та інших витрат, пов’язання з цим, сьогодні становить від 10-15 відсотків фонду оплати праці в промисловості, а в окремих галузях і регіонах — від 15-30 відсотків. Особливо гостро ці проблеми відчуються на підприємствах галузей з високим рівнем професійного ризику.

Викликає занепокоєння стан охорони праці та забезпечення соціальних гарантій на підприємствах недержавного сектору економіки, який все збільшується. Тут порушення правил безпеки носять масовий характер,

допускається приховання нещасних випадків, свавілля роботодавців в додержанні тривалості робочого часу, відпочинку, ухилення від виплат і компенсацій за заподіяну шкоду від нещасних випадків.

4.2 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів, що впливають на людину

В приміщенні, в якому передбачається розробка, виготовлення та випробування системи, можливе виникнення наступних небезпечних і шкідливих факторів:

- підвищена небезпека поразки електричним струмом;
- підвищена пожежна небезпека;
- шкідливе електромагнітне випромінювання;
- недостатнє освітлення.

Одним з найбільш розповсюджених небезпечних виробничих факторів є електричний струм. Дія електричного струму на живу тканину має різнобічний і своєрідний характер. Проходячи через організм людини, електрострум здійснює термічний, електролітичний, механічний і біологічний вплив.

Термічна дія струму проявляється опіками окремих ділянок тіла, нагріванням до високої температури органів, розташованих на шляху струму, викликаючи в них значні функціональні розлади. Електролітична дія виражається в розкладанні органічної рідини, у тому числі крові, у порушенні її фізико-хімічного складу. Механічна дія струму приводить до розшарування, розриву тканин організму в результаті електродинамічного ефекту, а також миттєвого вибухоподібного утворення пари з рідини. Біологічна дія струму виявляється подразненням і порушенням живих тканин організму, а також порушенням внутрішніх біологічних процесів.

Допустимим вважається струм, при якому людина може самотійно звільнитися від електричного ланцюга. Його величина залежить від швидкості проходження струму через тіло людини: при тривалості дії більш 10 с – 2 мА, при 1 с менш – 6 мА. Струм, при якому потерпілий не може самотійно

відірватися від струмоведучих частин називається струмом, що не відпускає, і складає 10...20 мА. Змінний струм небезпечніше постійного, при високій напрузі не безпечнішим є постійний струм.

Пожежі на обжитих людиною територіях, на підприємствах виникають у більшості випадків у зв'язку з порушенням технологічного режиму. Це, на жаль, часте явище і державою передбачені спеціальні документи, що описують основи протипожежного захисту.

Важливим фактором, що впливає на продуктивність праці, є освітленість робочого місця. Організація раціонального освітлення робочого місця – одне з основних питань охорони праці. При незадовільному освітленні різко знижується продуктивність праці, можливі нещасні випадки, поява короткозорості, швидка стомленість.

Освітлення виробничих приміщень – один з основних факторів зовнішнього виробничого середовища, що впливають на людину в її процесі праці. Безпечною і високопродуктивною праця може бути лише за умови гарного освітлення робочих місць.

Недостатнє і нерівномірне освітлення робочих місць призводить до перенапруги зору, перевтоми організму, до виникнення надмірної нервової дратівливості, ослаблення уваги. Доведено, що в половини працюючих у таких умовах спостерігаються дефекти зору – короткозорість, зниження гостроти зору й інше, а в 3,8% чоловіків виникає частковий дальтонізм.

Негативно впливає на зір не тільки недостатня освітленість, а й занадто яскраве освітлення. Перевищення норм яскравості веде до зниження функцій зору, викликає роздратування і різь в очах, головні болі.

Низькі рівні освітленості, нерівномірність освітлення, світлові промені, що б'ють в очі, відблиски від блискучих поверхонь можуть бути причиною нещасних випадків, браку продукції і низької продуктивності праці.

Використовується як природне, так і штучне освітлення виробничих приміщень. Природне освітлення характерне для світлого часу доби і при роботі в

приміщеннях, де є прорізи в стінах і даху будинку. При штучному освітленні застосовуються відповідні освітлювальні установки штучного світла.

Система освітлення повинна забезпечити:

- достатню освітленість і рівномірний розподіл світлового потоку на робочій поверхні;
- сталість величини освітлення;
- виключення глибоких тіней;
- відсутність різкої різниці в яскравості робочих поверхонь і навколишнього фону (стін, стелі);
- відсутність сліпучої дії джерела світла великої яскравості.

Основним документом, який визначає необхідні норми освітленості робочих поверхонь, є діючі будівельні норми і правила ДБН В 2.5-28-2006.

4.3 Природне освітлення

Природне освітлення – це освітлення приміщень світлом неба (прямим чи відбитим), що проникає крізь світлові прорізи в зовнішніх огорожувальних конструкціях.

Усі виробничі приміщення повинні мати світлові прорізи, що дають достатнє природне освітлення. Без природного освітлення допускається проектувати конференц-зали, виставочні зали, кіно сховища й архіви, підприємства побутового обслуговування населення, комори, коридори тощо.

Залежно від напрямку проникання світла в приміщення природне освітлення буває бокове – крізь світлові прорізи, верхнє — крізь спеціальні ліхтарі і світлові прорізи в стелі і комбіноване — крізь світлові прорізи і ліхтарі на стелі.

Бокове освітлення буває одностороннім (світлові прорізи в одній із зовнішніх стін приміщень) і двостороннім (світлові прорізи в двох протилежних зовнішніх стінах приміщення).

Природне освітлення характеризується тим, що утворювальна освітленість постійно змінюється і залежить від часу дня, року. Як нормовану величину для природного освітлення прийнято відносну величину – коефіцієнт природної освітленості (КПО).

4.4 Штучне освітлення

Штучне освітлення – освітлення приміщень штучним світлом за допомогою електричних ламп – газорозрядних чи розжарювання.

За конструктивним виконанням штучне освітлення може бути трьох систем – загальне, місцеве і комбіноване.

Загальне – освітлення, при якому світильники розміщуються у передній зоні приміщення рівномірно (загальне рівномірне освітлення), або стосовно до розташування устаткування (загальне локалізоване освітлення).

Місьцеве – освітлення, додаткове до загального, створюване світильниками, що концентрують світловий потік безпосередньо на робочих місцях. Місьцеве освітлення приймається лише разом із загальним освітленням.

Комбіноване – освітлення, при якому до загального освітлення додається місцеве.

За функціональним призначенням штучне освітлення ділиться на робоче, аварійне, охоронне і чергове.

Робоче освітлення призначене для забезпечення нормальних зорових умов при виконанні робіт, проході людей і руху транспорту. Воно забезпечує нормовані характеристики (освітленість, яскравість освітлення) у приміщеннях і місцях провадження робіт поза будинками. Для приміщень, що мають зони з різними умовами природного освітлення і зони різних режимів роботи влаштовується роздільне керування освітленням таких зон.

Аварійне освітлення поділяється на освітлення безпеки, застосовуване для продовження роботи, і евакуаційне — для евакуації з приміщення при аварійному відключенні робочого освітлення. Світильники систем аварійного

освітлення підключаються до мережі, незалежно від робочого освітлення, починаючи від щита підстанції.

Чергове освітлення призначене для приміщень, а охоронне — для освітлення площадок підприємства, що охороняються в неробочий час, який збігається з темним часом доби. Для чергового освітлення виділяють частину світильників робочого чи аварійного освітлення, які забезпечують мінімальну освітленість для несення чергувань і охорони.

Джерела штучного світла:

- лампа розжарювання ЛР — лампа загального призначення;
- газорозрядні лампи високого і низького тиску;
- люмінесцентні (ЛЛ) — ГЛ низького тиску використовують для освітлення приміщень з опаленням;
- дугова ртутна люмінесцентна лампа (ДРЛ) — газорозрядна лампа високого тиску, застосовують для освітлення територій підприємств, населених пунктів виробничі приміщення великої висоти $H > 12\text{м}$;
- металево-галогенові лампи (МГЛ). Використовують для освітлення територій, а також внутрішніх приміщень з роботами, пов'язаними з великим освітленням(зборка радіоапаратури);
- натрієві лампи високого тиску(НЛВТ)застосовують для освітлення приміщень, де виконуються роботи грубіш 5-го розряду зорової напруги;
- світлодіодні лампи.

Методи розрахунку штучного освітлення:

- метод коефіцієнта використання світлового потоку. Призначений для розрахунку загального рівномірного освітлення горизонтальних поверхонь при відсутності затіняючі предметів з урахуванням світла, відбитим стінами та стелею;
- точений метод;
- метод питомої потужності (при приблизних розрахунках).

Робоче освітлення призначене для забезпечення нормальних зорових умов при виконанні робіт, проході людей і руху транспорту. Воно забезпечує

нормовані характеристики (освітленість, яскравість освітлення) у приміщеннях і місцях провадження робіт поза будинками.

4.5 Розрахунок штучного освітлення

У приміщенні необхідно організувати змішане освітлення, тобто сполучення природного і штучного освітлення. Природне освітлення створюється бічним освітленням через вікно. Штучне освітлення використовується при недостатньому природному освітленні. У даному приміщенні використовується загальне штучне освітлення.

Розрахунок його здійснюється по методу світлового потоку з урахування потоку, відбитого від стін і стелі.

Потрібно зробити розрахунок загального освітлення приміщення для виготовлення та випробування системи. Довжина $A = 18$ м, ширина $B = 12$ м, висота $H = 3.5$ м. Висота робочої поверхні $h_p = 1$ м. Напруга мережі 220 В.

Загальна схема приміщення зображена на рис. 4.1.

H_o – відстань від стелі до робочої поверхні;

H – висота приміщення (відстань від полу до стелі);

H_n – висота світильника над підлогою;

h_p – робоча висота;

h_c – відстань від стелі до світильника;

h – висота від світильника до робочої поверхні.

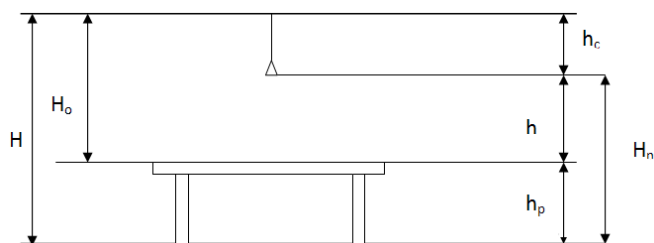


Рисунок 4.1 – Схема розміщення світильника у приміщенні

Знайдемо відстань від стелі до робочої поверхні:

$$H_0 = H - h_p, \quad (4.1)$$

$$H_0 = 3,5 - 1 = 2,5 \text{ м.} \quad (4.2)$$

Знайдемо відстань від підлоги до світильника:

$$h_c = (0,2 \dots 0,25) H_0, \quad (4.3)$$

$$h_c = 0,2 \times 2,5 = 0,5 \text{ м} \quad (4.4)$$

Знайдемо відстань між світильником і робочою поверхнею:

$$h = H_0 - h_c, \quad (4.5)$$

$$h = 2,5 - 0,5 = 2 \text{ м.} \quad (4.6)$$

Знайдемо висоту підвіса світильника над підлогою:

$$H_n = h + h_p, \quad (4.7)$$

$$H_n = 2 + 1 = 3 \text{ м} \quad (4.8)$$

Висота знаходиться в рамках норми.

Для досягнення найбільшої рівномірності освітлення приймаємо відношення:

$$\frac{L}{h} = 1,5 \quad (4.9)$$

де L – відстань між центрами світильників.

Тоді:

$$L = 1,5h, \quad (4.10)$$

$$L = 1,5 \times 2 = 3\text{м}. \quad (4.11)$$

Необхідна кількість світильників N :

$$N = \frac{S}{L^2}, \quad (4.12)$$

$$S = A \cdot B, \quad (4.13)$$

$$N = (18 \cdot 12) / 3^2 \text{ св.} \quad (4.14)$$

Розташування світильників зображено на рис. 4.2.

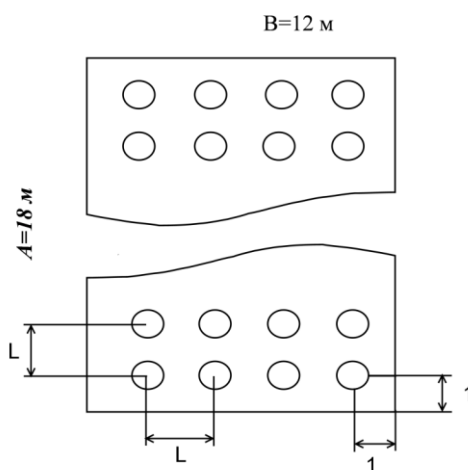


Рисунок 4.2 – Розташування світильників в приміщенні

Визначимо необхідну кількість рядів:

$$n_p = \frac{B}{L} \quad (4.15)$$

$$n_p = \frac{12}{3} = 4. \quad (4.16)$$

Визначимо кількість світильників в 1 ряду:

$$\frac{N}{n_p} = \frac{24}{4} = 6. \quad (4.17)$$

Приймаємо 6 світильників і робимо перевірку:

$$5L = 5 \cdot 3 = 15 < A = 18 \text{ м}, \quad (4.18)$$

$$4 \cdot 6 = 24 \text{ св.} \quad (4.20)$$

Приймаємо 24 світильника в 4 ряди по 6 світильників в ряду.

Знайдемо відстань від центру світильника до стіни.

При розміщенні робочої зони уздовж стіни:

$$l = (0,4...0,5) L, \quad (4.21)$$

$$l = 0,5 \times 3 = 1,5 \text{ м.} \quad (4.22)$$

При віддаленні робочих місць від стіни:

Перевірка:

$$\frac{12-9}{2} = 1,5 \text{ м та } \frac{18-15}{2} = 1,5 \text{ м.} \quad (4.23)$$

Знаходимо індекс приміщення:

$$i = \frac{AB}{h(A+B)}, \quad (4.24)$$

$$i = \frac{12 \times 18}{2(12+18)} = 3,6 \quad (4.25)$$

По таблиці знаходимо коефіцієнти відбиття стелі, стін та робочої поверхні при $i=3,6$:

$$\rho_n = 70\%; \quad (4.26)$$

$$\rho_c = 50\%; \quad (4.27)$$

$$\rho_p = 30\%. \quad (4.28)$$

Для світильника типу «Астра» знаходимо коефіцієнт використання світлового потоку $\eta=0.75$.

Світловий потік 1-ї лампи:

$$\Phi = \frac{E_{\min} SK_z Z}{N\eta}, \quad (4.29)$$

$$\Phi = \frac{200 \cdot 216 \cdot 1.5 \cdot 1.15}{24 \cdot 0.75} = 4140 \text{ Їл} , \quad (4.30)$$

де $E_{\min} = 200 \text{ лк}$ – нормоване освітлення; $k_c = (1,5 \dots 2) = 1,5$ – коефіцієнт запасу, який враховує різницю по відношенню із запланованими внаслідок забруднення стелі, стін, світильників і ламп, а також зменшення світлового потоку ламп в процесі експлуатації;

$Z = 1,15$ – коефіцієнт мінімального освітлення для лампи розжарювання, враховує нерівномірність освітлення і залежить від відношення відстані між світильниками і їх типу;

N – кількість світильників.

По знайденому світловому потоку вибираємо металогалогенну лампу OSRAM HCL-E/P 50/830 WDL PB потужністю 50 Вт, яка має світловий потік 4000 лм – найбільш близький до розрахункового.

Фактична освітленість:

$$E_f = E_n \frac{\Phi_l}{\Phi_p} = 200 \frac{4000}{4140} = 193,24 \text{ лк}. \quad (4.31)$$

E_f не відрізняється від E_n (-10%)-(+20%).

Загальна потужність установки освітлення:

$$P_3 = P_l \times N \times n = 50 \times 24 \times 1 = 1200 \text{ Вт} = 1,2 \text{ кВт}. \quad (4.32)$$

4.6 Заходи щодо техніки безпеки

4.6.1 Забезпечення електробезпеки. Електробезпека забезпечується відповідною конструкцією електроустаткування, застосуванням технічних засобів захисту, організаційними і технічними заходами.

Конструкція електроустаткування повинна відповідати умовам його експлуатації, забезпечувати захист персоналу від зіткнення зі струмоведучими частинами й устаткуванням – від влучення усередину сторонніх предметів і води.

Організаційні і технічні заходи щодо забезпечення електробезпечності полягають в основному у відповідному навчанні, інструктажі і допуску до роботи людей, що пройшли медичний огляд, виконанні ряду технічних заходів при проведенні робіт з електроустаткуванням, дотриманні особливих вимог при роботі з частинами, що знаходяться під напругою.

4.6.2 Заходи щодо пожежної безпеки

Заходи щодо пожежної профілактики розділяються на організаційні, технічні, режимні й експлуатаційні.

Організаційні заходи передбачають правильну експлуатацію машин і внутрішньозаводського транспорту, правильний зміст будинків, території, протипожежний інструктаж робітників та службовців, організацію добровільних пожежних дружин, пожежно-технічних комісій, видання наказів по питаннях посилення пожежної безпеки та ін.

До технічних заходів відносяться дотримання протипожежних правил, норм при проектуванні будинків, встановленні електропроводів і устаткування, опалення, вентиляції, освітлення, правил розміщення устаткування.

Заходи режимного характеру – це заборона паління в невстановлених місцях, проведення зварювальних і інших вогневих робіт у пожежно небезпечних приміщеннях та ін.

Експлуатаційними заходами є своєчасні профілактичні огляди, ремонти й випробування технологічного устаткування.

4.6.3 Заходи щодо техніки безпеки при роботі на ПЕОМ

Рекомендації при роботі на ПК:

- необхідно дотримуватися часових обмежень щодо роботи з ПК для людей, які страждають захворюваннями опорно-рухового апарату, очей, шкіри, а також вагітних жінок;
- надавати перевагу використанню дисплеїв з високою роздільною здатністю та раціональним розміром екрана (15 дюймів і більше);
- краще вибирати відеоадаптери з високим дозволом і частотою оновлення екранного зображення (регенерація) не менше 72 Гц, а краще – 85 Гц і вище;

- обов'язково ставити на незахищений дисплей екранні поляризаційні фільтри, які зменшують шкідливе електромагнітне та ультрафіолетове випромінювання, роблять мерехтіння менш помітним;
- сидіти не ближче 70 см від дисплея;
- при розміщенні робочого місця поряд із вікном кут між екраном дисплея і площиною вікна повинен становити не менше 90 градусів (для виключення блимаць), ближню частину вікна бажано зашторити;
- не слід розміщувати дисплей безпосередньо під джерелом освітлення чи поряд із ним;
- освітленість робочого місця не повинна перевищувати $\frac{2}{3}$ нормальної освітленості приміщення;
- при розміщенні в кімнаті декількох ПК відстань між ними повинна складати не менше 1.2;
- робоче місце повинно бути обладнано так, щоб виключити незручні пози і довгочасні статичні напруження тіла;
- загальний час роботи з ПК не повинен перевищувати 50% усього робочого часу, тобто не більше 4 годин на день для дорослих і 2 години для дітей;
- при роботі з ПК необхідно робити 15-хвилинні перерви через кожних 2 години, а при інтенсивній роботі – через 1 годину і навідь півгодини;
- під час роботи на ПК необхідно слідкувати, щоб лінія руки в області зап'ястя залишалась прямою, зап'ястя були розслаблені, а пальці трохи зігнуті; не напружуйте руки, зігніть їх у ліктях приблизно під прямим кутом; слідкуйте, щоб удари по клавішах були не занадто сильними;
- підлокітники робочого місця повинні бути опорою для рук як при роботі з клавіатурою, так і користуванні;
- при виникненні напруження або спазмів у м'язах слід припинити роботу і зробити декілька вправ для розслаблення;

- необхідно відрегулюйте висоту стільця так, щоб стегна розміщувалися паралельно підлозі, а ноги – твердо стояли на ній;
- під час роботи слід сидіти прямо чи нахилити корпус вперед, намагаючись зберегти природній згин тіла в поясниці; не сутультесь і не зводьте плечі; щоб не втомлювалась шия, не нахиляйте голову; верхній край монітора при цьому повинен знаходитися на рівні очей;
- необхідно регулярно робити вправи для очей;
- поверхня стола, клавіатури і корпуси ПК повинні бути одного кольору;
- якщо можливо, з дисплеєм необхідно працювати в режимі „темні символи на світлому фоні”;
- у приміщенні, де встановлено ПК, необхідно підтримувати відносну вологість повітря не нижче 40% з метою зменшення шкідливого впливу електростатичного поля;
- рекомендується відсунути все обладнання ПК на 60-90 см від робочого місця;

4.7 Висновки до розділу 4

В результаті виконання цієї частини дипломного проекту було спроектовано систему освітлення приміщення та надані рекомендації щодо захисту від шкідливих наслідків при розробці системи, забезпечення електробезпеки та безпеки від електромагнітного випромінювання.

При проектуванні освітлення була обрана система загального освітлення. В процесі розрахунку була розрахована освітленість на робочих місцях та обрана система освітлення із лампами OSRAM HCI-E/P 50/830 WDL PB, їх необхідно встановити в 4 ряди по 6 світильників в ряду. Загальна потужність усіх світильників складає 1,2 кВт.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

5.1 Вступ

Екологія — наука про закономірності взаємозв'язків і взаємодію організмів і їхніх систем із середовищем перебування. Займається дослідженням основ структури й функціонування природних і антропогенних екологічних систем і біосфери в цілому.

Забруднення навколишнього середовища (ЗНС) – надходження в природне середовище будь-яких твердих, газоподібних речовин, мікроорганізмів або енергій (у вигляді звуків, шумів, електромагнітного й радіоактивного випромінювання) у кількостях, що викликають зміну складу й властивостей компонентів природи й (або) здійснюючих шкідливий вплив на людину, флору й фауну.

В епоху науково-технічного прогресу екологія стала науковою основою природокористування й охорони природи, сприяючи, таким чином, оптимізації взаємодії суспільства й природи. Учені вважають, що це одна з найважливіших наук майбутнього, що екологічні принципи поступово будуть пронизувати усе більше широке коло проблем науки й виробництва.

Однією з гострих проблем сучасної електроніки є зовсім не пошук нових рішень або розробка нових пристроїв, а способи рятування від тонн електронних відходів, які скопилися на поверхні Землі.

5.2 Забруднення навколишнього середовища від електронної промисловості

Екологічні проблеми електроніки різноманітні. Вони починаються зі складностей видобутку ряду рідких елементів, що є необхідними компонентами багатьох електронних пристроїв. Розробки ведуться без обліку екологічних норм,

перевищуються норми токсичності, люди, задіяні у видобутку сировини, піддаються шкідливому впливу.

Наступною проблемою є виробнича небезпека. Справа в тому, що багато використовуваних в електроніці металів та з'єднань небезпечні для людей і навколишнього середовища. [10] Характер такого впливу визначається специфікою виробництва, особливостями коштів, що направляються в нього, і використовуваних технологій. Прикладом негативного впливу промислового виробництва на навколишнє середовище є виділення шкідливих виробничих речовин. Ці речовини по своєму походженню можуть бути або об'єктами переробки, або проміжними або кінцевими продуктами технологічного процесу. Незважаючи на те, що виробництво радіоелектронної апаратури по обсягах викидів, звичайно, значно уступає іншим областям промисловості, наприклад, металургії, енергетиці, деяким добувним галузям та ін., не враховувати його шкідливий вплив на навколишню природу, здоров'я людини було б нерозумно. При аналізі екологічної небезпеки підприємств радіоелектронної промисловості й приладобудування необхідно пам'ятати з одного боку, що останні, як правило, розташовуються в межах міської житлової зони й, крім того, доводиться враховувати специфічний состав речовин, що виділяються, які часто можуть бути досить токсичними.[11]

І нарешті, сама складна проблема - це шляхи утилізації електронних відходів. Є кілька варіантів рішення питання, але жоден з них не може влаштувати екологів. Поховання електронних відходів, що, з одного боку, повертає коштовні метали землі, з іншого боку, приводить до забруднення ґрунтів і ґрунтових вод багатьма небезпечними з'єднаннями. [10]

Електроніка включає у свій склад як органічні складові (пластик різних видів, матеріали на основі полівінілхлориду, фенолформальдегіду), так і майже повний набір металів. Всі ці компоненти не є небезпечними в процесі експлуатації виробу. Однак ситуація докорінно міняється, коли виріб попадає на смітник. Такі метали, як свинець, сурма, ртуть, кадмій, миш'як вхідні до складу електронних компонентів переходять під впливом зовнішніх умов в органічні й

розчинні з'єднання й стають найсильнішими отрутами. Утилізація пластиків, що містять ароматичні вуглеводні, органічні хлорпохідні з'єднання є насущною проблемою екології. [11]

Спалювання електронних відходів у спеціальних печах приводить до викидів в атмосферу цілого набору небезпечних елементів. Виходить, що ідеального шляху рішення не існує. Тим часом, щодня на планеті множитья кількість відходів електронної промисловості.

Мільйони пристроїв, що вийшли з ладу або невідповідних моді, просто викидаються на звичайний смітник. При цьому перебувають люди, які намагаються самотужки збирати електронні відходи й одержувати з них коштовні метали, яких там утримуються крупіці. Це сполучено з величезним ризиком для здоров'я, і звичайно, наносить значну втрату навколишньому середовищу.

Для того щоб питання утилізації електронних відходів могли бути вирішені, необхідно тісна взаємодія урядів різних країн і ретельний аналіз всіх можливих наслідків у глобальному масштабі. Держава повинна взяти на себе контроль за даним питанням, інакше в найближчому десятилітті планету заповнять відходи електронної промисловості, і від них постраждають не тільки всі жителі землі, але й сама планета. [10]

Згідно даним ООН щорічний світовий електронний «мотлох» становить 36 млн. тонн. Провідні позиції тут займають - США (3 млн. тонн) і Китай (2,3 млн. тонн).

Якщо найближчим часом Індія, Мексика, Бразилія й інші не будуть надавати цьому питанню належної уваги утилізації електроніки, то вони одержать на своїх територіях значний ріст забруднення й захворювань своїх жителів.

На думку аналітиків і фахівців у цій області, до 2020 року в ПАР і Китаї кількість викинутої комп'ютерної техніки збільшиться на 400%. А в Індії цей показник буде ще вище - 500%. На сьогодні утилізація старої електроніки в Китаї й Індії проходить шляхом спалювання в спеціальних установках. При цьому із

плат витягає золото, палладій, срібло, іридій і інші дорогі метали. Результатом такого процесу утилізації є різні отрутні гази, які без усякого контролю забруднюють атмосферу й навколишнє середовище. Зі стрімким розвитком електроніки пропорційно росте кількість електронного сміття.

Багато індустріально розвинених держав використовують як смітник для своєї старої електроніки інші держави, які, незважаючи на всякі заборони, продовжують у більших кількостях приймати цей мотлох. Якщо не вжити необхідних заходів, наслідки для цих країн можуть бути просто непередбачені.

Фахівці ООН у цій області призивають країни, що розвиваються, правильно організувати технологію утилізації старої електроніки. При розумному підході до цього питання вони можуть одержати додаткові джерела доходу в державний бюджет, одержати так необхідні всім робочі місця. А сам головне, скоротяться шкідливі викиди в атмосферу. Виходить, збільшиться шанс того, що ми зуміємо залишити своїм нащадкам сприятливі умови для їхнього життя на нашій Землі.[12]

5.3 Заходи щодо зниження забруднення навколишнього середовища

Міністерство екології та природних ресурсів України є центральним органом виконавчої влади, що забезпечує проведення у життя державної політики в галузі охорони навколишнього середовища, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки, визначає мету, пріоритетні завдання, механізми їх реалізації та напрями гармонізації екологічної політики України з європейським екологічним процесом.

24 червня 2004 року Верховна Рада України прийняла Закон України “Про екологічну мережу України”. Завданням законодавства про екомережу є регулювання суспільних відносин у сфері формування, збереження та невиснажливого використання екомережі як однієї з найважливіших передумов забезпечення екологічно збалансованого розвитку України.

Захист навколишнього середовища від наслідків промислового росту є полем активних дій як громадськості, так і урядів у міжнародному масштабі. У країнах Євросоюзу (ЄС) прийнята директива RoHS, що обмежує застосування певних шкідливих речовин у продукції, призначеної для євrorинку. Крім того, у ЄС із 1 червня 2007 р. уведений у дію закон «Реєстрація, експертиза, сертифікація й обмеження використання хімічних речовин» (Registration, Evaluation, Authorisation and Restrictions of Chemicals - REACH).

5.3.1 Директива RoHS.

У процес захисту навколишнього середовища й здоров'я під впливом Європейської ініціативи залучені, насамперед, розвинені країни. У США європейська ініціатива RoHS визнана, підтримується, і робляться певні кроки по подальшому її розвитку. Активно в цьому ж напрямку працюють Японія, Південна Корея, Китай і інші країни.

Виконання вимог RoHS - норма не тільки для постачальників продукції й товарів з різних країн миру для європейського ринку, але й додаткова конкурентна перевага на світовому ринку в цілому. У цьому зв'язку важко переоцінити значення інформації про виконання цієї директиви як у Європі, так і у світі.

Директивою RoHS обмежується застосування в електротехнічному й електронному встаткуванні шести речовин. Це:

- свинець;
- ртуть;
- кадмій;
- гексавалентний хром;
- бромидні з'єднання;
- полібромований дифеніл - ефір (PBDE).

Помітимо, що PBB і PBDE застосовуються як засоби, що обмежують горючі властивості матеріалів.

Максимально припустимі концентрації цих речовин становлять 0,1%, за винятком кадмію, припустима концентрація якого обмежена величиною 0,01%

від ваги гомогенного (однорідного) матеріалу. Ці обмеження не ставляться ні до ваги готового виробу, ні до будь-якого компонента, вони ставляться тільки до одного матеріалу, що може бути механічно вичленований - наприклад, оболонка кабелю або олово, що покриває електричні контакти.

Вимогам RoHS повинні відповідати:

- вироби інформаційних технологій і телекомунікаційне встаткування;
- побутова електронна техніка;
- освітлювальне встаткування, включаючи електроосвітлювальні прилади;
- електронні й електричні інструменти;
- іграшки, вироби для розваг і спортивне встаткування;
- медичне встаткування й пристрої для моніторингу й контролю (у цей час виключені із цього списку).

5.3.2 Директива WEEE (Waste from Electrical and Electronic Equipment).

Якщо RoHS обмежує використання небезпечних речовин в електричному й електронному встаткуванні. Директива WEEE ставиться до процесу вторинного використання встаткування й матеріалів після переробки й регламентує принцип розподілу відповідальності за збір, вторинну переробку й рекуперацію відходів між країнами-учасниками, розповсюджувачами й виробниками.

Директива була прийнята з метою стимулювати збір і екологічно відповідальну утилізацію відходів електричного й електронного встаткування (ЕЕУ) силами «виробників». «Виробниками», по термінології Директиви, вважаються компанії:

- виробляючі й що продають ЕЕУ під власною торговельною маркою;
- що продають ЕЕУ інших постачальників під власною торговельною маркою;
- професійно займаються імпортом або експортом ЕЕУ в країнах-членах ЕС.

Ця директива, разом з RoHS, набула чинності закону в країнах ЄС у лютому 2003 р. На сьогоднішній день вона визначає мети по зборі, переробці й утилізації відходів ЕЕО на всій території Євросоюзу.

Директива WEEE зобов'язує «виробників» забезпечити фінансування, переробку, утилізацію й поховання відходів ЕЕУ, джерелом яких є вироби, випущені в продаж не раніше 13 серпня 2005 р. Крім того, якщо внаслідок покупки ЕЕУ викидається старе устаткування (випущене в продаж до 13 серпня 2005 р.) – так звані «історичні» відходи ЕЕУ – «виробник» зобов'язаний забезпечити фінансування, переробку, утилізацію й поховання цих «історичних» відходів. За утилізацію «історичних» відходів ЕЕУ, для яких не купується заміна, відповідає власник устаткування.

Відповідно до Директиви WEEE, всіх 27 держав-членів ЕС повинні впровадити її положення в національне законодавство.

5.3.3 Закон Європейського союзу REACH і захист навколишнього середовища.

Крім RoHS, у ЄС із 1 червня 2007 р. уведений у дію закон «Реєстрація, експертиза, сертифікація й обмеження на використання хімічних речовин» (REACH) з умовним терміном дії - до 2018 р. Метою введення REACH є захист здоров'я людини й навколишнього середовища, а також підвищення конкурентоспроможності європейської хімічної промисловості. Новий закон замінив існуюче до нього європейське законодавство в області хімічного виробництва. Закон накладає підвищену відповідальність на промисловість за властивості хімічних речовин, за керування ризиками, пов'язаними із впливом хімічних речовин на здоров'я людини й навколишнє середовище, за надання достовірної інформації постачальникам і користувачам продукції хімічної індустрії. У законі також рекомендується проводити заміну найнебезпечніших речовин, якщо стають відомими підходящі замінники.

У зону чинності закону REACH попадають сотні тисяч хімічних речовин, багато хто з яких використовуються в ланцюжках поставок матеріалів для виробництва електронного устаткування.

Впровадження в практику законів типу REACH повинне дати й відчутний економічний ефект. Так, якщо завдяки REACH вдасться знизити кількість захворювань, викликаних шкідливими хімічними речовинами тільки на 10%, то, по оцінках ЄС, витрати на охорону здоров'я за 30 років зменшаться на 50 млрд євро.

5.4 Висновки до розділу 5

Виконано огляд основних факторів, що впливають на забруднення навколишнього середовища. Проаналізовано заходи щодо зниження забруднення навколишнього середовища та наведено директиви, які регламентують застосування в електротехнічному й електронному встаткуванні забруднюючих речовин.

ВИСНОВКИ

Результатом виконаної випускної кваліфікаційної роботи магістра є спроектований телекерований підводний апарат. У ході роботи було здійснено розрахунок основних параметрів дрону, адаптовано і чисельно досліджено лопатеву систему його водометного рушія, побудовано тривимірну модель течії в проточній частині водометного рушія, зроблено дискретизацію та подальший розрахунок проточної частини водометного рушія, побудовано тривимірну модель ТПА (розроблено та тривимірну модель ТПА). Габаритні розміри дрону, що вийшов, представлені на рис. 1.57.

Істинність проведеного розрахунку підтвердила результати дослідження в комплексі ANSYS. Параметри близькі до розрахованих. Похибка пояснюється недостатністю густоти сітки, оскільки доводилося робити сітку грубішою, збільшуючи розмір осередків через обмеженість у комп'ютерних ресурсах.

Проблема проектування рушіїв полягає в необхідності для розробника знаходити рішення відразу двом завданням: визначення потужності двигуна необхідної для здійснення бажаної швидкості ходу корпусу, і знаходження можливої швидкості ходу судна при потужності двигуна. Виходячи з цього, рекомендується надалі виготовити дослідний зразок дрону для польових випробувань та порівняти отримані експериментальні дані з даними, отриманими під час розрахунків.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Агєєв М.Д., Касаткін Б.А., Кисельов Л.В. Автоматичні підводні апарати, «Судностроювання», 1981. – 224 с.
2. Басін А.М., Мініович І.Я. Теорія та розрахунок гребних гвинтів. Ленінград, Державне союзне видавництво суднобудівної промисловості, 1963. – 751 с.
3. Боженів Ю.А., Самохідні безлюдні підводні апарати, «Суднобудування», 1986. – 264 с.
4. Бородин В.І., Гідроакустичні навігаційні засоби, «Суднобудування», 1983. – 262 с.
5. Войтов Д.В., Телекеровані безлюдні підводні апарати, «Видавництво АСТ», 2002. – 303 с.
6. Голіков В.А. Розробка та чисельне дослідження лопатевої системи осьового насоса. СПб, Вид-во Політехн. ун-ту, 2016. – 220 с.
7. Дмитрієв А.Н., Проектування підводних апаратів, «Суднобудування», 1978. – 236 с.
8. Єгоров В.І., Підводні буксировані системи, «Суднобудування», 1981. – 304 с.
9. Єрликін І.І., Привалов Е.І., Павленко О.М. Катер із водометним рушієм. Видавництво «Суднобудування», 1989. – 125 с.
10. Ідельчик І.Є. Довідник з гідравлічних опорів, Москва, Видавництво «Машинобудування», 1992. – 672 с.
11. Іконніков І.Б., Самохідні безлюдні підводні апарати, «Суднобудування», 1986. - 264 с.
12. Куликов С.В., Храмкін М.Ф. Водомітні рушії. Теорія та розрахунок. Ленінгра, Видавництво «Суднобудування».
13. Папір О.М. Водомітні рушники малих суден. Л., Суднобудування, 1970. – 254 с.
14. Пугачов П.В. Математичні моделі робочих процесів лопатевих

гідромашин. Розрахунок в'язкої течії в лопатевих гідромашинах з використанням пакета ANSYS CFX. СПб, Вид-во Політехн. ун-ту, 2015. – 110 с.

15. GAO Fu-dong, PAN Cun-yun, XU Xiao-jun, HAN Yan-yan, numerical computation and analysis of high-speed autonomous underwater vehicle (AUV) moving in head sea based on dynamic mesh, 2012. - 3093 з.

16. MSM Aras, FAAzis, MNOthman, SSAbdullah, A Low Cost 4 DOF Remotely Operated Underwater Vehicle Integrated With IMU and Pressure Sensor, 2012. - 23 с.

17. Manhar R. Dhanak, Nikolaos I. Xiros. Springer Handbook of Ocean Engineering, New York, 2016. – 1345 с.

18. Mohd Amin Hakim Ramli. Preliminary Design and Analysis Study of Propeller for Autonomous Underwater Vehicle (AUV), 2018. – 278 с.

19. MyKvadrocopter/[Електронний ресурс]. URL:<https://mykvadrocopter.ru/>.

20. RoboTrends/[Електронний ресурс]. URL:<http://robotrends.ru/robopedia/amulet>.