

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ
СКОРСЬКОГО»

Приладобудівний факультет
Кафедра комп'ютерно-інтегровані технології та системи навігації і
керування

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри

(підпис) (ініціали, прізвище)
“ ____ ” _____ 20__ р.

Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
(«Комп'ютерно-інтегровані технології оптичних та навігаційних систем»)
на тему: «Моделювання складного руху безпілотного підводного
апарату»

Виконав: студент 2 курсу
групи ПГ- 11мп

Суржок В.О.

Керівник: — д.т.н., проф., Бурау Н.І.

Консультант з Розроблення

стартап-проекту: д.е.н., проф.

Бояринова К.О.

Рецензент: д.т.н., проф., Антонюк В.С.

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____
(підпис)

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Приладобудівний факультет

Кафедра комп'ютерно-інтегрованих оптичних та навігаційних систем

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітньо-професійна програма: «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Надія БУРАУ

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Суржку Володимирі Олександровичу

1. Тема дисертації «Моделювання складного руху безпілотного підводного апарату»,
науковий керівник Бурау Надія Іванівна, д.т.н., професор, затверджені наказом по університету від «___» _____ 20__ р. № _____
2. Термін подання студентом дисертації: 5 грудня 2022 року
3. Об'єкт дослідження: рух безпілотного підводного апарату за складною траєкторією
4. Предмет дослідження: методи і засоби імітаційного моделювання складного руху безпілотного підводного апарату; гідродинамічні характеристики руху.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити:
 - 5.1 Огляд стану проблеми: огляд безпілотних підводних апаратів (БПА), їх характеристик, моделей та методів дослідження руху.
 - 5.2 Обґрунтування геометричної моделі БПА, обґрунтування траєкторій руху БПА.

5.3 Вибір та обґрунтування програмного середовища для імітаційного моделювання БПА; розробка методики проведення імітаційного моделювання.

5.4 Імітаційне моделювання складного руху БПА для різних траєкторій та швидкості руху, визначення гідродинамічних характеристик БПА.

5.5 Встановлення та аналіз функціональних залежностей гідродинамічних характеристик від параметрів складного руху БПА.

5.6 Розробка рекомендацій щодо забезпечення маневреності БПА.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: презентація

7. Орієнтовний перелік публікацій: стаття у збірнику матеріалів доповідей НТК

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
РОЗДІЛ 1. Огляд стану проблеми та вибір напрямку дослідження			
РОЗДІЛ 2. Моделювання автономного безпілотного апарату			
РОЗДІЛ 3. Проведення імітаційного моделювання та інтерпретація результатів			
РОЗДІЛ 4. Розробка стартап-проекту			

9. Дата видачі завдання «10» жовтня 2022 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Огляд стану проблеми	31.10.2022	
2.	Обґрунтування моделі та траєкторій руху БПА для дослідження	05.11.2022	
3.	Вибір та обґрунтування програмного середовища, розробка методики проведення імітаційного моделювання	10.11.2022	
4.	Проведення імітаційного моделювання	20.11.2022	
5.	Аналіз гідродинамічних характеристик	25.11.2022	

6.	Оформлення рукопису магістерської дисертації	30.11.2022	
7.	Оформлення презентації, підготовка до захисту	05.12.2022	

Студент _____ Володимир СУРЖОК
 Науковий керівник дисертації _____ Надія БУРАУ

РЕФЕРАТ

Актуальність теми. Здатність використання безпілотних підводних апаратів(БПА) поліпшує вирішення значної кількості завдань пов'язаних з проведенням дослідження водного середовища, як для військового так і для цивільного використання. Наразі уже створено велику кількість безпілотних апаратів, які відрізняються системами живлення системами керування, призначенням, масою та габаритними показниками. При проектуванні БПА, всі ці особливості мають бути врахованими.

При виконанні будь яких підводних робіт, БПА має переміщуватись у середовищі з високим рівнем точності . Ефективність руху залежить від якості проектування корпусу апарату, що є одним із найважливіших її складових. Також, слід враховувати потрібність зменшення часу виконання робіт для зниження собівартості його використання. Найпростішим способом для досягнення цілі є збільшення швидкостей руху БПА по заданій траєкторії, без зменшення максимального часу роботи, тому виникає велика потреба у проектуванні якісної моделі на яку, мінімально впливатиме зовнішнє середовище.

Одним із важливих завдань яке потрібно виконати, це створення ефективного способу перевірки якості спроектованої моделі за різних умов, без необхідності експериментально її перевіряти, так як це викликає збільшення часу та матеріальні витрати. Це можливо зробити коли в якості об'єкту для перевірки виступає її цифрова модель. Цей підхід надає змогу зменшити витрати на його проектування майже до нуля. Так як БПА є складним об'єктом, який здатний рухатись у всіх площинках, а саме в водному середовищі на нього, в процесі руху, впливає значна кількість різноманітних збурень, які при зміні траєкторії та збільшені швидкості збільшуються в рази, що може привести до збиття з курсу або повної втрати керованості.

Саме тому якісне моделювання руху безпілотного підводного апарату є дуже актуальним. Над цим працюють величезна кількість дослідників та інженерів, з різних країн.

Мета і завдання досліджень. Метою роботи є проведення моделювання складного руху безпілотного підводного апарату.

Для досягнення поставленої мети вирішуються такі завдання:

1. Огляд стану проблеми: огляд безпілотних підводних апаратів (БПА), їх характеристик, моделей та методів дослідження руху.

2. Обґрунтування геометричної моделі БПА, обґрунтування траєкторій руху БПА.

3. Вибір та обґрунтування програмного середовища для імітаційного моделювання БПА; розробка методики проведення імітаційного моделювання.

4. Імітаційне моделювання складного руху БПА для різних траєкторій та швидкості руху, визначення гідродинамічних характеристик БПА.

5. Встановлення та аналіз функціональних залежностей гідродинамічних характеристик від параметрів складного руху БПА.

6. Розробка рекомендацій щодо забезпечення маневреності БПА

Об'єктом дослідження є безпілотний підводний апарат з врахуванням його різновидів та особливостей.

Предметом дослідження є проведення моделювання складного руху безпілотного підводного апаратів, отримання результатів та подальший аналіз залежностей гідродинамічних характеристик від моделі.

Апробація роботи. Часткові результати роботи висвітлені в наступній статті, що пройшла апробацію та вже опублікована:

Структура та обсяг роботи. Робота складається з вступу, 4 розділів, висновків, 37 рисунків, 26 таблиць, списку використаної літератури із 27 позицій. Загальний обсяг роботи 92 сторінки, з яких основна частина викладена на 79 сторінках.

Ключові слова: безпілотний підводний апарат, автономні апарати, складний рух, моделювання руху, гідродинамічні характеристики.

Abstract

Actuality of theme. The ability to use unmanned underwater vehicles (UUV) improves the solution of a significant number of tasks related to the study of the aquatic environment, both for military and civilian use. Currently, a large number of unmanned aerial vehicles have been created, which differ in power supply systems, control systems, purpose, weight and dimensions. When designing UUV, all these features must be taken into account.

When performing any underwater work, the UUV must move in an environment with a high level of accuracy. The efficiency of the movement depends on the quality of the design of the apparatus body, which is one of its most important components. Also, one should take into account the need to reduce the time of work to reduce the cost of its use. The easiest way to achieve the goal is to increase the speed of the UUV along a given trajectory, without reducing the maximum working time, therefore there is a great need to design a high-quality model that will be minimally affected by the external environment.

One of the important tasks to be performed is the creation of an effective way to check the quality of the designed model under various conditions, without the need to test it experimentally, as this causes an increase in time and material costs. This can be done when its digital model acts as an object for verification. This approach makes it possible to reduce its design costs to almost zero. Since the UUV is a complex object that is able to move in all planes, namely in the water environment, it is affected by a significant number of various disturbances during the movement, which, when changing the trajectory and increasing the speed, increase many times, which can lead to a crash off course or complete loss of control.

That is why high-quality modeling of the movement of an unmanned underwater vehicle is very relevant. A huge number of researchers and engineers from different countries are working on it.

The purpose and tasks of research. The purpose of the work is to simulate the complex movement of an unmanned underwater vehicle.

To achieve the goal, the following tasks are solved:

1. Overview of the state of the problem: an overview of unmanned underwater vehicles (UUV), their characteristics, models and methods of motion research.
2. Justification of the geometric model of the UUV, justification of the trajectories of the UUV movement.
3. Selection and justification of the software environment for simulation modeling of BPA; development of simulation modeling techniques.
4. Simulation modeling of the complex movement of the UUV for different trajectories and speed of movement, determination of the hydrodynamic characteristics of the UUV.
5. Establishing and analyzing the functional dependence of hydrodynamic characteristics on the parameters of the complex motion of the UUV.
6. Development of recommendations for ensuring the maneuverability of UUV.

The object of research is an unmanned underwater vehicle, taking into account its varieties and features.

The subject of research is the modeling of the complex movement of unmanned underwater vehicles, obtaining the results and further analysis of the dependence of the hydrodynamic characteristics on the model.

Approbation of work. Partial results of the work are covered in the following article, that has passed approval and has already been published:

Structure and scope of work. The work consists of an introduction, 4 chapters, conclusions, 37 figures, 26 tables, a list of used literature from 27 positions. The total volume of the work is 92 pages, of which the main part is laid out on 72 pages.

Keywords: unmanned underwater vehicle, autonomous vehicles, complex motion, motion simulation, hydrodynamic characteristics.

ЗМІСТ

Вступ.....	12
РОЗДІЛ 1.....	14
ОГЛЯД СТАНУ ПРОБЛЕМИ ТА ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	14
1.1 Безпілотні підводні апарати.....	14
1.1.1 Класифікація безпілотних підводних апаратів	15
1.1.2 Функціональні можливості безпілотних підводних апаратів	15
1.2 Телекеровані безпілотні підводні апарати	16
1.3 Мініатюрний підводний телекерований апарат ЗХО EcoMapper.....	18
1.4 Ознаки та завдання, які виконують автономні безпілотні підводні апарати	21
1.5 Орієнтація в підводному середовищі	24
1.6 Особливості руху АНПА, здатного працювати у важких умовах	25
1.6.1 Управління рухом у жорсткому рельєфі дна	26
1.6.2 Уникнення складних перешкод	27
1.7 Мета і задачі даних наукових досліджень.	29
РОЗДІЛ 2 МОДЕЛЮВАННЯ АВТОНОМНОГО БЕЗПІЛОТНОГО АПАРАТУ	31
2.1 Вибір моделей та траєкторій їх руху.....	31
2.2 Вибір та обґрунтування програмного середовища.....	34
2.3 Імітаційне моделювання складного руху БПА для різних траєкторій та швидкості руху, визначення гідродинамічних характеристик БПА.	35
2.3.1 Генерація сітки	37
2.3.2 Задання матеріалу середовища	40
2.3.3 Задання траєкторії руху	41
2.3.4 Задання динамічної зміни сітки.....	44
2.3.5 Проведення моделювання та відображення результатів.....	46
Висновки до розділу 2.....	48
РОЗДІЛ 3 ПРОВЕДЕННЯ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТА ІНТЕРПРЕТАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ	49
Рекомендації щодо забезпечення маневреності БПА	62
Покращення методики моделювання.....	63
Висновки до розділу 3.....	64

РОЗДІЛ 4.....	66
РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА АКВАТОРІАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ	66
4.1 Опис ідеї проекту	66
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	69
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту	70
4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту.....	78
4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	81
4.6. Розроблення бізнес-моделі стартап-проекту	84
Висновки до розділу 4.....	86
ВИСНОВКИ	88
Список використаної літератури	88

Перелік умовних скорочень

АБПА – автономний безпілотний підводний апарат;
 БПА — безпілотний підводний апарат;
 ПА — підводний апарат;
 ТБПА — телекерований безпілотний підводний апарат;
 БДІВ – блок датчиків інерціальних вимірювань;
 СЕ – скінчено-елементний;
 СК – система керування;

Вступ

Завдяки використанню безпілотних підводних апаратів (БПА) стає значно легшим вирішення різноманітних завдань пов'язаних з вивченням водного середовища, як для військового так і для цивільного використання. Одним із найважливіших факторів при розробці БПА є її гідродинамічні властивості для максимально ефективного виконання поставлених цілей.

На сьогоднішній день, значну перевагу у використанні віддають автономним безпілотним підводним апаратам, які здатні виконувати поставлені завдання без використання прямих з'єднань з оператором, за рахунок чого збільшується дальність дії та з'являється можливість виконання маневрів не можливих раніше(через наявність кабелю тросу) та інше.

В сфері створення АБПА існує значна кількість компаній, які їх конструюють та виготовляють. А саме в США працює понад 36 компаній, а в Японії майже 250. На разі в Україні не існує ні однієї фірми, щоб займалась виготовленням БПА, але цей напрям стає все більш актуальним для розвитку.

Через те ,що процес покращення та розширення можливостей використання, триває досить великий час, були зроблені значні досягнення у функціоналі БПА, такі як, наприклад, контроль та сканування водних акваторій, пошуково-рятувальні операції, розмінування середовищ, ремонт підводних об'єктів та інші, виникає потреба в розробці та використанні БПА в Україні.

Одним із найважливіших етапів у розробці якісних БПА, є проектування моделі, адже як вже зазначалось, БПА є складним об'єктом, який здатний рухатись у всіх напрямках, мінімізуючи вплив зовнішніх збурень, як підводні течії, рух інших об'єктів та зберігаючи велику маневреність. Через це виникає складність у врахуванні усіх складників які впливають на БПА. Моделювання руху, здатне з легкістю виявити усі проблеми, які з'являються в процесі конструювання, без необхідності у виготовленні. Створення якісного моделі з урахуванням усіх впливів потрібно велику кількість часу та розгляду усіх особливостей.

Об'єктом дослідження буде автономний безпілотний апарат, його особливості, як об'єкту моделювання, функціональні можливості, відмінність між різними класами та розгляд завдань, які вони здатні виконувати.

Мета та завдання магістерської дисертації, це проведення моделювання типового складного руху існуючих моделей для покращення її гідродинамічних властивостей з врахуванням особливостей використання в різних надзвичайних умовах.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД СТАНУ ПРОБЛЕМИ ТА ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Безпілотні підводні апарати

Багато країн світу просунулися в галузі морських технологій. Ці країни створюють безпілотні підводні апарати для виконання різноманітних прикладних і наукових завдань, пов'язаних з дослідженням океану. Безпілотні підводні апарати допомагають виконувати складні дослідження акваторій та моніторинг водного середовища. Вони також дають змогу проводити їх значно безпечніше, адже поки БПА виконує складну та небезпечну роботу, оператор залишається в безпеці.

Через велику кількість завдань які здатні виконувати безпілотні підводні апарати вони, зазвичай мають значні конструкційні та геометричні відмінності. Попри різницю між ними при проектуванні кожного з них проводиться складна робота, адже при виконанні будь яких завдань, апарат має виконувати їх достатньо точно, а враховуючи мінливе середовище в якому вони працюють, це не проста задача. Також завдяки якісному проектуванню, нерідко вдається досягти значних показників ефективності та часу роботи. Через використання у підводному середовищі зазвичай мають торпедоподібну форму (дивись рис.1.1).

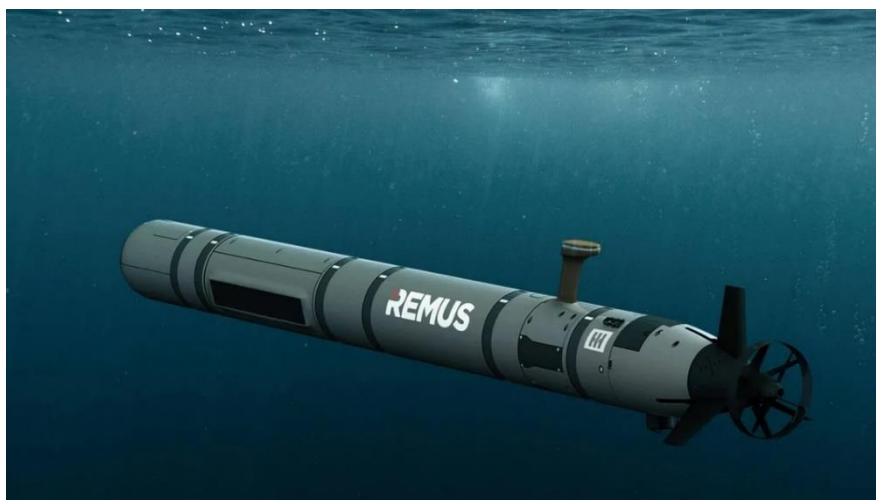


Рис. 1.1 Ілюстрація типового безпілотного апарату

1.1.1 Класифікація безпілотних підводних апаратів

Безпілотний підводний апарат (БПА) відноситься до підводного апарату, яким можна відслідковувати без ручного втручання і яким можна керувати дистанційно або автономно. Це дуже важливо під час підводної розвідки, оскільки ручна розвідка створює низку проблем. Ці транспортні засоби мають вбудовані датчики для відеокамер, двигуни, гідролокатори та інші.

За типом управління поділяється на[1]:

- Дистанційно керований транспортний засіб;
- Автономний підводний апарат;
- Гібридний підводний апарат;

Залежно від застосування можна розділити на[1]:

- Комерційна розвідка;
- Захист;
- Наукове дослідження;
- інші;

За розмірами можна розділити на[1]:

легкі (переносні), маса до 45 кілограм;

малогабаритні - від 46 до 230 кілограм;

середні - від 231 до 1400 кілограм;

великі - від 1400 до 10000 кілограм;

1.1.2 Функціональні можливості безпілотних підводних апаратів

В залежності від класу БПА та його призначення, вони можуть виконувати такі задачі [2]:

- Гідрографічна розвідка;
- Операції зі знешкодження мін;
- Операції по забезпеченню безпеки в гаванях;
- Пошуково-рятувальні операції;
- Підтримка водолазних спусків і забезпечення безпеки виконання водолазних робіт відповідно до міжнародних норм, проведення

пошуково-обстежуючих і оглядових завдань на глибинах, недоступних водолазам;

- Охорона об'єктів і суден на акваторії, огляд без ризику для життя водолазів гідротехнічних споруд, водоводів, внутрішніх приміщень затонулих об'єктів [2].

В даний час телекерований безпілотний підводний апарат (ТБПА) використовується все рідше, такі пристрої підключаються до корабля-носія спеціальним кабелем, який використовується для живлення пристрою, передачі сигналів управління та отримання різної інформації від датчиків ТБПА. Але такі пристрої мають серйозні недоліки. Перш за все - сам трос, він обмежує глибину занурення і дальність дії. В основному вони використовуються для проведення аварійно-рятувальних робіт, коли необхідний оперативний контроль за підводною обстановкою. Тому для вирішення різноманітних завдань все частіше використовуються автономні безпілотні підводні апарати (АБПА), здатні автоматично виконувати поставлені перед ними завдання. Звичайно, функція дистанційного керування завжди присутня в пристроях такого класу [2].

1.2 Телекеровані безпілотні підводні апарати

ТБПА керують люди-пілоти, які зазвичай знаходяться на землі або в надводному судні. Трос або пуповина забезпечує високосмуговий зв'язок із ТБПА, дозволяючи пілоту бачити високоякісний відеосигнал у реальному часі. Трос також подає сигнали керування та може забезпечити живлення, хоча багато ТБПА несуть своє живлення на борту у вигляді батареї [3].

Розміри ТБПА варіюються від чогось досить крихітного, як модель автомобіля з дистанційним керуванням (10 см завдовжки або навіть менше), до транспортних засобів розміром з автомобіль, як-от позашляховик[3].

Троси можуть бути досить довгими, в межах кількох кілометрів, хоча для довгих кабелів потрібне велике та потужне обладнання для намотування[3].

У більшості ТБПА використовується відкрита прямокутна рама, що полегшує збірку, а також полегшує кріплення додаткових інструментів та обладнання. Інші форми іноді використовуються для зменшення опору, покращення зовнішнього вигляду або виконання спеціальної місії (дивись рис. 1.2) [4].



Рис. 1.2 ТБПА незвичної форми для роботи в підводній печері

Більшість ТБПА використовують електричні двигуни, хоча можна використовувати гідравлічні двигуни. Для БПА, потрібно принаймні шість двигунів необхідно, щоб забезпечити всі шість ступенів свободи руху.

ТБПА можуть занурюватися досить глибоко (тисячі метрів), залежно від використовуваних матеріалів і конструктивних параметрів, які дозволили б блоку витримувати глибокий тиск води, а також довжини тросу. Більшість ТБПА середнього та малого розміру зазвичай працюють на максимальній глибині від 50 до 300 метрів [4].

Якщо ТБПА працює від батареї, він може мати ті ж обмеження, що й АБПА, щодо того, як довго він може працювати, перш ніж потребуватиме підзарядки. Однак, оскільки існує трос, якщо конструкція ТБПА дозволяє кабелю подавати живлення, то це обмеження тривалості роботи знімається.

Завдяки прив'язці ТБПА підтримує постійний зв'язок із пілотом. ТБПА передає високоякісне відео в реальному часі пілоту, який використовує це для керування підводним апаратом.

Ліхтарі та відеокамера необхідні для навігації, тому вони завжди є частиною ТБПА. Сонячне світло не проникає дуже глибоко у воду – рідко буває значне світло глибше 200 метрів.

Управління ТБПА зазвичай здійснюється за допомогою чогось на кшталт джойстика. Деякі станції керування, особливо для більших ТБПА, досить великі та складні, з кількома моніторами та станціями для кількох операторів [5].

З людиною-оператором зі з'єднанням ТБПА можуть виконувати складні маневри. Глибоководна промисловість використовує ТБПА для проведення інспекцій підводного обладнання та картографування дна океану. Наукові та академічні дослідники використовують ТБПА, щоб дізнатися більше про підводні форми життя та їх середовище. Операції з порятунку використовують ТБПА для дослідження уламків кораблів [5].

1.3 Мініатюрний підводний телекерований апарат ZHO EcoMapper

ZHO EcoMapper (дивись рис. 1.3) - це наступне покоління автономних підводних апаратів (ПА) для визначення якості води. Компанія YSI Integrated Systems & Services в партнерстві з Ocean Server Technology об'єднала автономний підводний апарат Iver3 і систему якості води YSI EXO для створення АБПА ізХО. Це унікальний ПА - поєднання БПА з найновішою системою для визначення якості води в одній надійній платформі моніторингу - розроблений спеціально для картографування якості води, водотоків і батиметрії [6].



Рис. 1.3 i3XO EcoMapper

ПА i3XO генерує високоякісні мапи параметрів якості води, водотоків, батиметрії і сонарних зображень і забезпечує даними про якість води з високою роздільною здатністю, сонаРНу візуалізації підводної обстановки, профілювання потоку і батиметричну зйомку. Система використовується урядовими установами, військовими, університетами, підрядчиками і приватними організаціями, а універсальність i3XO ідеально підходить для всіх вимог до моніторингу [6].

Ключові особливості [6]:

- Здатність використання однією людиною;
- Просте інтуїтивне планування місії «Вкажи і клікни» (користувацькі або попередньо визначені шаблони);
- Глибина до 100 метрів;
- 8 - 14 годин роботи на швидкостях 1-4 вузла;
- Надійний автономний ПА з DVL (доплерівський лаг швидкості) Explorer компанії Teledyne RDI для навігації;
- Інтегровані в носовий блок ПА система контролю якості води EXO
- сонар компанії Imagenex;
- Одночастотний гідролокатор бокового огляду StarFish компанії Tritech (450 кГц);
- Вбудовані датчики вологості;
- Картографування дна і профілювання водяного стовпа;

- До 8 параметрів якості води (4 сенсорних порта);
- Гнучкі опції для визначення параметрів якості води, картографування дна, профілювання водного стовпа і бокового огляду;
- Дані з географічною прив'язкою;
- Дані реєструються безперервно, коли ПА рухається через товщу води.
- Літій-іонний акумуляторний блок, 800 Втг, запасна хвостова частина з додатковим акумулятором;
- Вбудований Wi-Fi..

Управління ПА здійснюється за допомогою компактної ручної панелі управління. Пульт дистанційного керування має корпус із високоміцного пластику. Пульт управління складається з джойстика для керування рухом підводного апарату, кнопок для регулювання кута нахилу платформи з камерою, регулятора потужності освітлення, кнопок для керування режимом роботи додаткового обладнання, для введення з клавіатури відеозображення для текстові повідомлення та інші необхідні елементи керування.

Базовий моніторинг [6]:

- Детальні дані по горизонтальній і вертикальній площинам місії;
- Зменшення числа персоналу на воді;
- Скорочення затрат на запуск програми моніторинга;
- Одночасна батиметрична зйомка, картографування течій і якості води, сонарна візуалізація;

Картографування водних джерел [6]:

- Покращення знань про якість сирої води;
- Раннє попередження про цвітіння водорослей і низькому рівні розчиненого у воді кисню;
- Картографування рівня донних відкладень для визначення об'єму водосховища;
- Скорочення експлуатаційних витрат на очистку води.

Дослідження узбережжя і океану[6]:

- Дослідження турбулентності в зоні прибою;
- Дослідження бентичного пограничного шару;
- Екологія коралових рифів;
- Дослідження приливів і відливів;
- Дослідження в області рибальства;
- Фізико-біологічна взаємодія.

Датчики для картографування дна [6]:

- Датчик глибини і стандартний акустичний ехолот;
- Одночастотний гідролокатор бокового огляду, 450 кГц (опція);
- Необхідна глибина води

Картографування точкових і неточкових джерел забруднення [6]:

- Створення мапи з високою роздільною здатністю забруднених течій;
- Відслідковування руху точкового джерела;
- Карта неточкових джерел впливу на оточуюче середовище;
- Моніторинг впливу по галузі або підприємству.

1.4 Ознаки та завдання, які виконують автономні безпілотні підводні апарати

Автономні безпілотні підводні апарати класифікуються за двома ознаками: за масою і за формою [7].

За масою АБПА розділяються на мікро-, міні-, малі, середні та великі. До мікро-АБПА відносяться апарати масою менше 20 кг. Дана категорія становить 20- 25% від загального числа відомих проектів АБПА [7].

Типові технічні характеристики цієї категорії апаратів: дальність плавання не більше 1-2 морських миль, гранична робоча глибина менше 150 м; швидкість ходу - 1,5-2 вузла [7].

До категорії міні-АБПА належать апарати масою в межах 20-100 кг (15-20% від загального числа проектів АНПА). Діапазон дальності плавання міні-

АБПА досить широкий - від 0,5 до 4000 морських миль. Малі АБПА - це АБПА масою 100- 500 кг. Середні АБПА мають масу від 500 до 2000 кг [7].

За формою корпусу АБПА (по вигляду конструкції) сформувалися такі типи [7]:

- з класичними гідродинамічними формами (циліндричної, торпедної, краплеподібної, плоскою і комбінованої);
- планерної форми з системою руху, заснованою на зміні власної (залишкової) плавучості апарату;
- з плоскою верхньою частиною корпусу (сонячні АБПА - апарати з фотоелектронними перетворювачами для підзарядки акумуляторних батарей);
- з біонічними формами (плаваючого і повзучого типу) або створені з використанням біонічних принципів (наприклад, апарати з плавниковими рушіями).

Автономні безпілотні підводні апарати (АБПА) з різним ступенем автоматизації, призначені для пошуку і обстеження підводних об'єктів, проведення гідрологічних і океанологічних досліджень, використання у військових цілях [7].

Автономні безпілотні апарати вирішують велике коло завдань, які з часом поповнюється. Ось основні з них [1]:

Гідрографічна розвідка;

- Операції зі знешкодження мін;
- Операції по забезпеченню безпеки в гаванях;
- Контроль стану навколишнього середовища; • Картографування районів катастроф;
- Пошуково-рятувальні операції;

Основна частина робіт проводиться на глибинах до 1000 м. Лише близько 30% АБПА мають робочу глибину занурення більше 1000 м, решта - робочу глибину менше 1000 м; глибоководні АБПА (з робочою глибиною 6000 м і більше) - од.

Основними перевагами АБПА перед апаратами інших типів є [2]:

- відсутність кабель-тросового зв'язку з судном-носієм і відповідно визначених нею недоліків;
- здатність функціонувати в місцях, недоступних для інших типів ПА;
- скритність функціонування;
- висока мобільність;
- простота експлуатації та висока продуктивність.

Залежно від ємності джерел енергії апарат може працювати до декількох десятків годин. Модульна конструкція дозволяє оперативно встановлювати і змінювати комплекс бортової апаратури [8].

АБПА 21 століття представляються закордонними фахівцями як апарати, які володіють [8]:

- великою автономністю (до 200 год);
- розвиненою системою маніпуляторів;
- високоорганізованою «інтелектуальною» системою керування (СК), що реалізує такі функції, як розпізнавання образів, прийняття рішень в умовах часткової і повної невизначеності, адаптація до зовнішніх впливів.

В області створення АБПА взаємодіє велика кількість різних фірм, тільки в США задіяні понад 36, об'єднаних під егідою МО через ВМС і управління DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency), а в Японії - понад 250 фірм. До числа досягнень з відпрацювання технологій створення перспективних АБПА можна віднести ПА UUV, XP-21 Sea Squirt (США), DOLPHIN, DOGGIE (Великобританія), RTV-KAM (Японія), ARUS (Європейський консорціум) [8].

Зазвичай, АБПА працює по закладеній програмі - рухається, виконує завдання і повертається до судна або берегової бази. Апарати такого типу приймають команди і передають інформацію за допомогою гідроакустичної системи зв'язку. Навігаційні системи теж гідроакустичні, доповнені

інтегральною бортовою навігаційною системою, що дозволяє відстежувати траєкторію руху апарата в реальному часі [8].

З урахуванням того, що на сьогоднішній день підводні апарати можуть істотно підвищувати ефективність військового і цивільного флоту, виконуючи різні цільові завдання з високим ступенем надійності і точності відпрацювання, існує актуальне завдання розробки і розвитку систем керування АБПА, які б відповідали зростаючим вимогам до якості функціонування АБПА.

1.5 Орієнтація в підводному середовищі

Технології орієнтації безпілотних підводних апаратів в основному базуються на одному з трьох фундаментальних фізичних принципів: акустичному, електромагнітному, інерціальному [9].

Інерціальна навігація — це процес визначення положення та швидкості транспортного засобу за результатами вимірювань кутової швидкості та лінійного прискорення відповідно до законів класичної механіки [10]. Для вимірювання лінійного прискорення та кутової швидкості використовується інерціальний вимірювальний прилад, який зазвичай складається з трьох ортогонально встановлених акселерометрів і трьох ортогонально встановлених гіроскопів [11]. Маючи можливість виміряти прискорення тіла, можна обчислити зміни швидкості шляхом інтегрування прискорення за часом, а зміни положення можна визначити шляхом другого інтегрування за часом.

Щоб мати можливість орієнтуватися в 3D-просторі, необхідно стежити за показниками, які вказують акселерометри. Гіроскопи вимірюють швидкість обертання, інтегруючи їх показання щодо часу, можна реєструвати зміни напрямку. Можна визначити швидкості та переміщення в глобальній системі, обертаючи вимірювання прискорення у фіксованій глобальній системі відліку до інтегрування. Інерціальні навігаційні системи відстежують зміни положення, тому положення об'єкта можна визначити лише відносно відомої початкового положення та швидкості;

Однією з ключових переваг інерціальної навігації є той факт, що на точність оцінки положення в основному не впливають зовнішні фактори, такі як рівень освітлення або акустичні відбиття. Оскільки блок датчиків інерціальних систем (БДІВ) виконує вимірювання в інерціальній системі, яка не пов'язана з навколишнім середовищем, на нього не впливають збурення, наприклад течії води.

1.6 Особливості руху АНПА, здатного працювати у важких умовах

Використання АНПА для виконання різноманітних операцій в умовах складної інформаційно невизначеної або екстремальної обстановки потребує розробленого комплексу систем позиціонування, керування та комп'ютерного зору на борту апарата. У загальній структурі системи управління можна виділити такі основні системи, що забезпечують функціонування АНПА як носія обладнання та інформаційно-пошукові функції.[12]

Основою системи управління є локальна мережа, що складається з кількох комп'ютерів. Програма забезпечує керування рухом, екстрені та пошукові функції. Для організації локальної мережі АНПА використовуються високошвидкісні канали (Ethernet) і досить повільні послідовні канали обміну. Для формування контролю використовуються дані навігації та датчиків. Аварійні датчики використовуються для безпеки АНПА. Дистанційна зміна завдання АНПА може здійснюватися за допомогою акустичного зв'язку. Важливу роль відіграє система позиціонування. Точність позиціонування забезпечується використанням бортової автономної навігаційної системи, що включає інерціальну систему позиціонування, прилади вимірювання кута та положення, а також акустичний доплерівський каротаж[12].

Пошукові системи, об'єднані в системи комп'ютерного зору, відрізняються фізичними принципами і методами збору даних. Акустичні системи включають високочастотні та низькочастотні ехолоти бічного та секторного сканування, а також профайлер піддону. Об'єкти, що проводять струм, можна знайти за допомогою електромагнітного локатора (ЕМЛ).

Відеосистема здійснює візуалізацію та розпізнавання об'єктів. До відеосистеми входять фото- та відеокамери[12].

Інформація від датчиків і вимірювальних систем зазвичай зберігається для подальшого картографування досліджуваної території (екологічної, геофізичної тощо). При необхідності ця інформація може бути використана в режимі реального часу, наприклад, для контурування ділянок з аномальними характеристиками вимірюваних полів.[12].

Архітектура системи програмного управління має ієрархічну трирівневу організацію (стратегічний, тактичний і виконавчий рівні). Програма-завдання (завдання) апарату програмується на найвищому рівні і в загальному вигляді містить опис бажаної траєкторії руху та режимів роботи бортового обладнання. Тактичний рівень містить набір моделей поведінки апарату (бібліотека функцій) і планувальник, який координує їх роботу. Нижчий рівень виконує тактичні команди. Для цього він містить набір сервоконтролерів. Алгоритми управління, що забезпечують «рефлекторне» пересування серед перешкод, працюють на найнижчому рівні[12].

Рухова система використовується для просторового руху, позиціонування та уникнення перешкод. Забезпечує режими вільного руху (рух у широкому діапазоні швидкості, зависання, вільний тримінг). Є кормові і носові рушії. Керуючі сили і моменти створюються за допомогою чотирьох кормових маршевих і кількох кормових і носових бічних рушійних установок. Для відпрацювання відповідних засобів керування та виявлення перешкод використовується багатопроменева система ехорангування з радіусом дії до 75 метрів. Сонари БПА орієнтовані попереду під різними кутами до передньої та задньої осі (вперед, вниз, убік, угору)[12].

1.6.1 Управління рухом у жорсткому рельєфі дна

Використання АНПА для зйомки шару морського дна пов'язане з організацією еквідистантного руху (рух на однаковій відстані від морського дна) і обходом або огинанням перешкод. Управління еквідистантним рухом

передбачає формування еквідистантної моделі на основі даних ехорангування та даних відносного руху апарату [13]. У цьому випадку управління може бути організоване як налаштована програма, яка може прогнозувати просторовий еквідистантний шлях і направляти по ньому об'єкт. У плоскому випадку завдання спрощується і полягає в стабілізації позиціонування і кутової похибки, що формується за допомогою декількох датчиків дальності [13].

Розриви та ущелини не є об'єктами огляду, і апарат повинен рухатись вище них. Основна проблема полягає в тому, щоб розпізнати цю форму землі.

Необхідно вибирати найбільш енергетично ефективні режими руху. Тому більш переважними є режими з абсолютним мінімальним опором. Це пов'язано із забезпеченням «оптимального» кута атаки, що відповідає заданій поточній швидкості. Не всі з перерахованих вище режимів відповідають цій вимозі. Так, рух біля краю з нульовим кроком не можна вважати доцільним в якості базового режиму, оскільки в цьому випадку можуть бути великі кути атаки, а енерговитрати можуть бути зменшені тільки за рахунок зниження швидкості. Так само складно забезпечити енергоефективний режим при складному маневруванні біля перешкоди, оскільки безпека апарату стоїть на першому місці. Як наслідок, з'являються додаткові витрати енергії на виконання руху.[14]

1.6.2 Уникнення складних перешкод

Схил з градієнтом 90 градусів і більше вважається «піковою» або «печерною» перешкодою. Стабілізована відстань до перешкоди збільшується до 30-40 м. Це призводить до заднього ходу під «піком», або до того, що апарат не заходить в «печеру». На зображенні (дивись рис. 1.3) наведено приклад руху апарату в зоні такої перешкоди. Розмір перешкоди такий, щоб вона була повністю в полі зору датчиків. На основі цих даних апарат рухається, не заходячи в «печеру». [15]

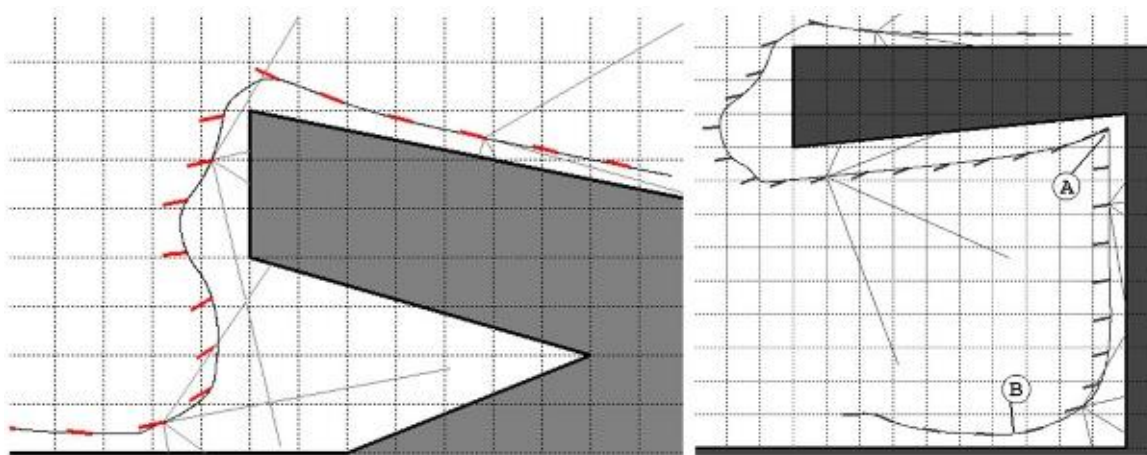


Рис 1.3 Печерна перегорода [15]

Огинання перешкод такого типу характеризується використанням режимів уповільнення і зворотного руху. Кут руху може варіюватися до 180 градусів. Такий алгоритм руху дозволяє уникнути потрапляння в «ущелини», якщо їх ширину порівняти з повороту апарату [15].

Приклад висхідного руху АНПА по схилу з досить порізаним рельєфом зображено на рис. 1.4 .

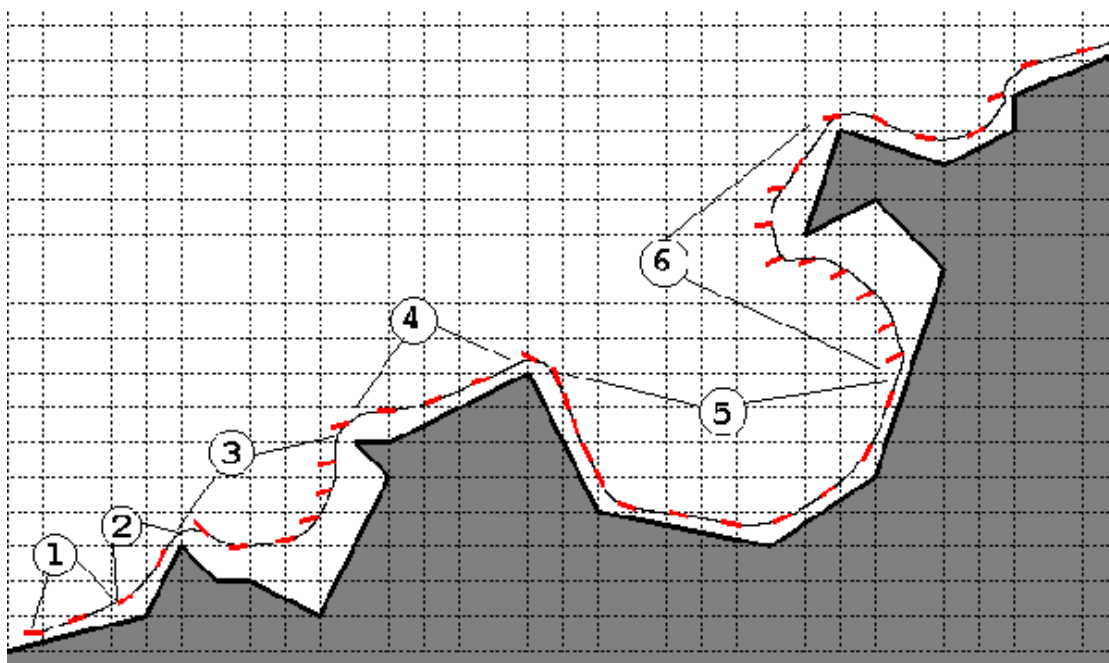


Рис 1.4 Рух по рельєфному дну [15]

Весь шлях руху складається з кількох ділянок. Кожна зона має свій режим руху. Задана висота руху АНПА над дном становить 3 м. Области 1,2,4,5 представлені як режими руху вздовж схилу, який має як позитивну, так і негативну крутизну від 70 до -65 . У зоні 3 транспортний засіб виконує

«піковий» вигин. Рух на великій відстані від схилу на цій ділянці пояснюється тим, що «пік» у напрямку руху, що був знайдений заздалегідь. На ділянці 6 транспортний засіб здійснює виїзд з-під «піка» більшого розміру так само, як було описано раніше.[15]

1.7 Мета і задачі даних наукових досліджень.

Глибоководні дослідження іноді потребують безпілотного підводного апарату, який плаває поблизу морського дна. Було встановлено, що підводний апарат, який пропливає близько до морського дна, може ефективніше досліджувати морське дно. Внаслідок граничного ефекту морського дна в навколишньому районі БПА та морському дні виникають різного роду зчеплені потоки, які мають значний вплив на гідродинаміку. Зв'язані потоки можуть впливати на безпеку та стабільність роботи, тому дослідження гідродинамічних характеристик БПА, що переміщуються поблизу морського дна, видається особливо необхідним.

В даний час існує в основному три методи розрахунку гідродинамічних параметрів, включаючи емпіричну формулу, випробування моделі та чисельне моделювання. Метод емпіричних формул простий і швидкий, але він не може відобразити різницю між різними моделями, тому його точність розрахунку не висока. Тест моделі коштує занадто дорого та має довгий цикл, тому зазвичай обмежений бюджетом і графіком. Метод чисельного моделювання є доцільним, зокрема, розробка деяких великих комерційних програм для моделювання робить метод обчислювальної гідродинаміки все більш і більш широко використовуваним. Метод чисельного моделювання потребує менше часу та нижчу вартість нового дизайну порівняно з експериментальним дослідженням. Це вигідно для оптимізованого дизайну і має такі переваги, як простота керування та хороша повторюваність. У багатьох випадках чисельне моделювання може досягати такої ж точності, як і тестування моделі.

Метою даних досліджень є встановлення, шляхом імітаційного моделювання поведінки АБПА, функціональних залежностей між

гідродинамічними характеристиками АБПА та параметрами об'єкта і його руху при русі за складною траєкторією. Для досягнення поставленої мети в кваліфікаційній роботі виконуються такі завдання:

1. Огляд стану проблеми: огляд безпілотних підводних апаратів (БПА), їх характеристик, моделей та методів дослідження руху.
2. Обґрунтування геометричної моделі БПА, обґрунтування траєкторій руху БПА.
3. Вибір та обґрунтування програмного середовища для імітаційного моделювання БПА; розробка методики проведення імітаційного моделювання.
4. Імітаційне моделювання складного руху БПА для різних траєкторій та швидкості руху, визначення гідродинамічних характеристик БПА.
5. Встановлення та аналіз функціональних залежностей гідродинамічних характеристик від параметрів складного руху БПА.
6. Розробка рекомендацій щодо забезпечення маневреності БПА.

РОЗДІЛ 2

МОДЕЛЮВАННЯ АВТОНОМНОГО БЕЗПІЛОТНОГО АПАРАТУ

2.1 Вибір моделей та траєкторій їх руху

Автономні безпілотні апарати виконують різну кількість маневрів у своїй роботі, такі як обхід перешкод та дослідження території. Через свою форму та особливості побудови вони у своєму русі можуть змінювати рух зазвичай лише дугоподібно. Тому щоб навіть змінити напрям на протилежний, автономний безпілотний апарат має пройти пів кола. В залежності від форми та можливостей рульового крила цей радіус або збільшується, або зменшується.

Тому для дослідження було обрано три траєкторії руху і було обрано два базових рухи при максимальному куті повороту рульового крила:

1) Траєкторія №1 – це рух по замкнутій траєкторії кола, імітуючи два повних розвороти або патрулювання на траєкторії (рис. 2.1);

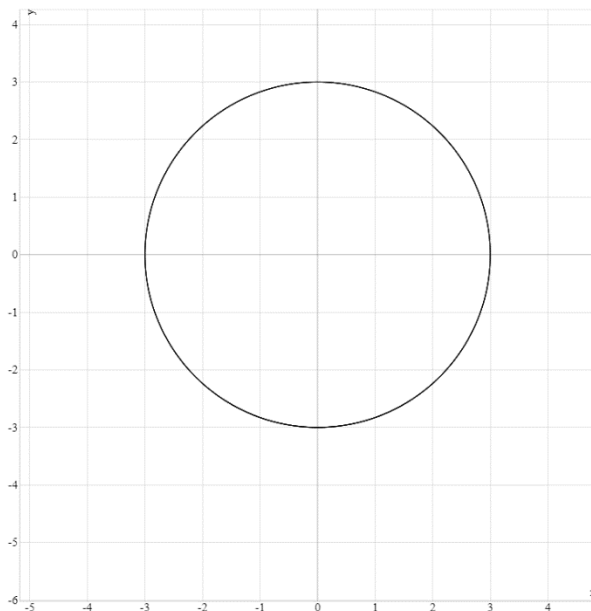


Рис. 2.1 Траєкторія №1

2) Траєкторія №2 - рух по синусоїдній траєкторії, імітуючи обходження перешкод та моделюванню взаємодії при різких крайніх положень рульового крила (рис. 2.2);

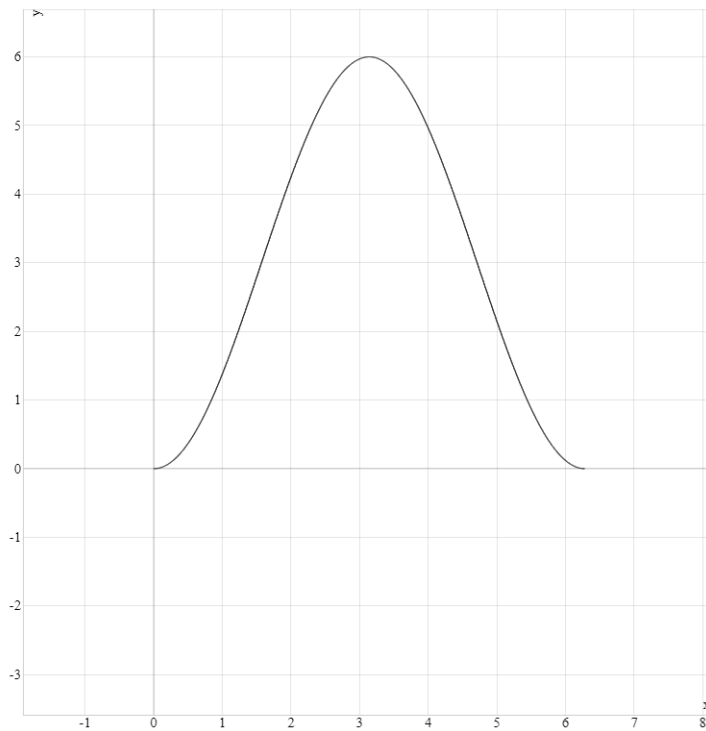


Рис. 2.2 Траєкторія №2

3) Траєкторія №3 - прямий рух з розворотом , імітуючи розворот для зміни напрямку руху на протилежний (рис. 2.3);

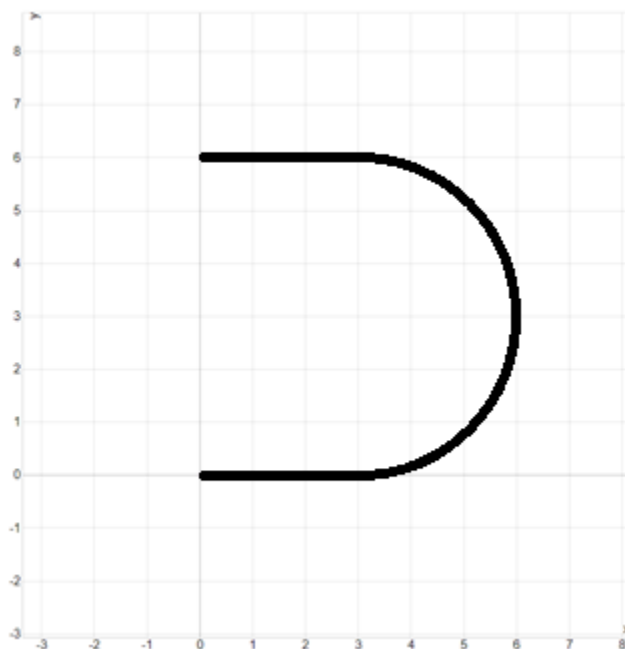


Рис. 2.3 Траєкторія №3

Для моделювання також обрано дві моделі які відрізняються своїми габаритами та формою. Ці моделі розроблено в [16], де вони досліджувались

для випадку простого руху, а саме прямолінійного та рівномірного. Це такі моделі:

1) Видовжена з «косим крилом» та гострим носом (рис. 2.3), яка добре себе показує при прямолінійному русі, але може бути не такою ефективною при поворотах та обходження перешкод;

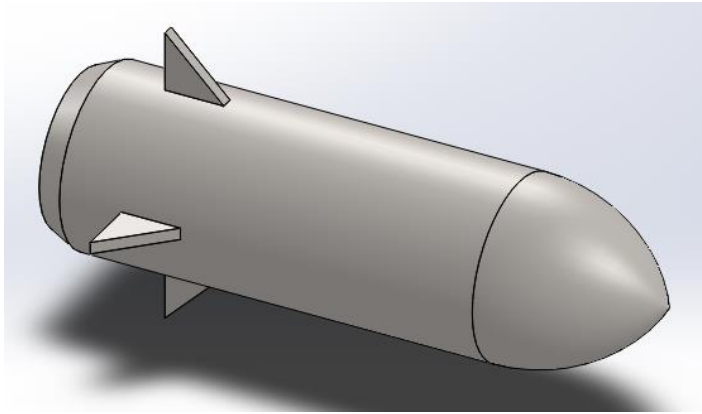


Рис. 2.3 3D-модель №1

2) Коротка з «прямим крилом» та округленим носом (рис. 2.4), яка навпаки може бути більш оптимальною для маневрів та руху в обмеженому просторі, але не такою ефективною при довгому та прямолінійному русі.

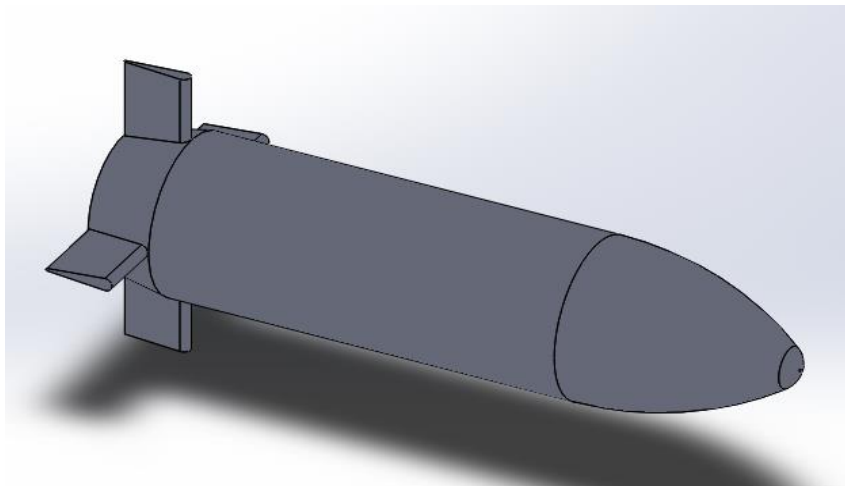


Рис. 2.4 3D-модель №2

Для ефективного дослідження їх показникам малогабаритних БПА з масовими характеристиками до 230 кг; діаметром корпусу від 230 мм до 324 мм. Геометричні характеристики моделей наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 Основні розміри моделей

	Модель №1	Модель №2
Довжина	1000 мм	1000 мм
Діаметр	300 мм	240 мм
Радіус скруглення	291.7 мм	500 мм
Довжина крила	100 мм	100 мм

2.2 Вибір та обґрунтування програмного середовища

Для проведення моделювань гідродинаміки руху об'єкту існує велика кількість програмних забезпечень. Більшість з яких працює зі статичними об'єктами та рухає лише навколишнє середовище, через це вони не підходять для проведення потрібного нам дослідження. [17-19]

Після дослідження багатьох з них вибір зупинився на системі програмних забезпечень для різноманітних досліджень, де серед них є і гідродинамічні моделювання, ANSYS.

ANSYS — універсальна програмна система скінчено-елементного (СЕ) аналізу, яка існує і розвивається протягом останніх 30 років, є досить популярною серед фахівців у сфері автоматичних інженерних розрахунків (CAE, Computer-Aided Engineering) і СЕ рішень лінійних і нелінійних, стаціонарних і нестаціонарних. просторових задач механіки деформованого твердого тіла та механіки конструкцій (включаючи нестаціонарні геометричні та фізичні нелінійні задачі контактної взаємодії елементів конструкцій), задач механіки рідини та газу, теплопередачі та теплообміну, електродинаміки, акустики. [20]

Моделювання та аналіз в деяких галузях промисловості дозволяє уникнути складних і тривалих циклів розробки типу «проектування — виготовлення — випробування». Система працює на основі геометричного ядра Parasolid. [20]

Програмна система аналізу ANSYS розробляється американською компанією Ansys Inc. Компанія також випустила інші системи моделювання СЕ, в тому числі DesignSpace, AI Solutions (NASTRAN, ICEM CFD); призначені для використання в більш специфічних галузях виробництва.[20]

ANSYS має велику кількість модулів для дослідження гідродинаміки ANSYS Fluid Flow, з усіх них найбільше наші потреби задовольняє Fluent.

ANSYS Fluid Flow (Fluent) - є передовим програмним продуктом для моделювання гідродинамічних процесів і включає перевірені часом інструменти, які забезпечують швидкі і точні результати для широкого спектра завдань як в галузі гідродинаміки, так і міждисциплінарного аналізу [21].

2.3 Імітаційне моделювання складного руху БПА для різних траєкторій та швидкості руху, визначення гідродинамічних характеристик БПА.

Будь яке моделювання та проведення дослідження в ANSYS розпочинається зі створення проекту. На рис. 2.5 вікно створення та редагування проекту. Завдяки зрозумілому для користувача інтерфейсу користування ним не викликає труднощів.

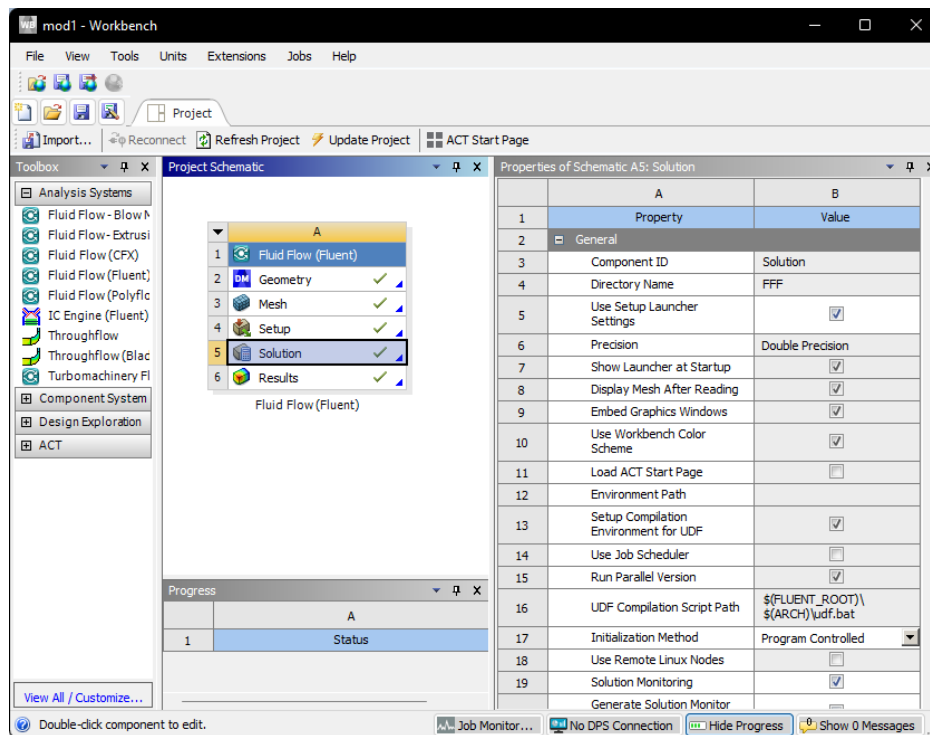


Рис 2.5 Приклад роботи з проектом

Програмне середовище самостійно послідовно розділяє моделювання на етапи, які ставатимуть доступні по завершенню попередніх:

1. Geometry – створення або імпортування моделі об’єкту дослідження. ANSYS повністю підтримує майже всі провідні САП моделі тому її можна легко імпортувати у різноманітних форматах без втрати їх якості.
2. Meshing – створення сітки, розбиття моделі на скінченну кількість елементів, все моделювання ґрунтується на їх взаємодії. Також на цьому етапі відбувається не менш важливе визначення складових моделі.
3. Setup – задання не менш основних параметрів для моделювання, такі як середовище, взаємодія між складовими моделі, траєкторія руху об’єкту, налаштування часу моделювання.
4. Solution – етап, поєднаний спільно з Setup, де безпосередньо відбувається запуск розрахунку.
5. Result – перегляд даних отриманих під час моделювання, створення графічних відображень результату.

2.3.1 Генерація сітки

Наступним кроком для моделювання гідродинамічного руху є генерація сітки – розбиття геометрії на скінченні елементи.

Meshing також відомий як створення сітки, — це процес генерування двовимірної та тривимірної сітки; це поділ складної геометрії на елементи, які можна використовувати для дискретизації області. Можливості Ansys Mesh часто називають золотим стандартом для моделювання та імітації робочих процесів для створення сітки складних частин [22].

Цей процес зазвичай займає значну частину часу на отримання результатів моделювання. У результаті компанія Ansys створила розширені автоматизовані інструменти створення сіток, які можуть забезпечити швидші та точніші рішення для CFD (рідин) і FEA Meshing [22].

Для цього в дереві проекту потрібно перейти до «Meshing», після подвійного натискання на який відкриється окрема програма по побудові та налаштувань сіток. Дане вікно вміщає в собі 3 основні складові, у верхній частині панель інструментів для модифікування та налаштування сітки, в лівій частині дерево проекту складових, а все інше це робоча область, де можна переглянути результат розбиття.

За замовченням сітку можна згенерувати просто натиснувши клавішу «Generate».

На рис. 2.5 наведено приклад згенерованої для моделі №1 сітки.

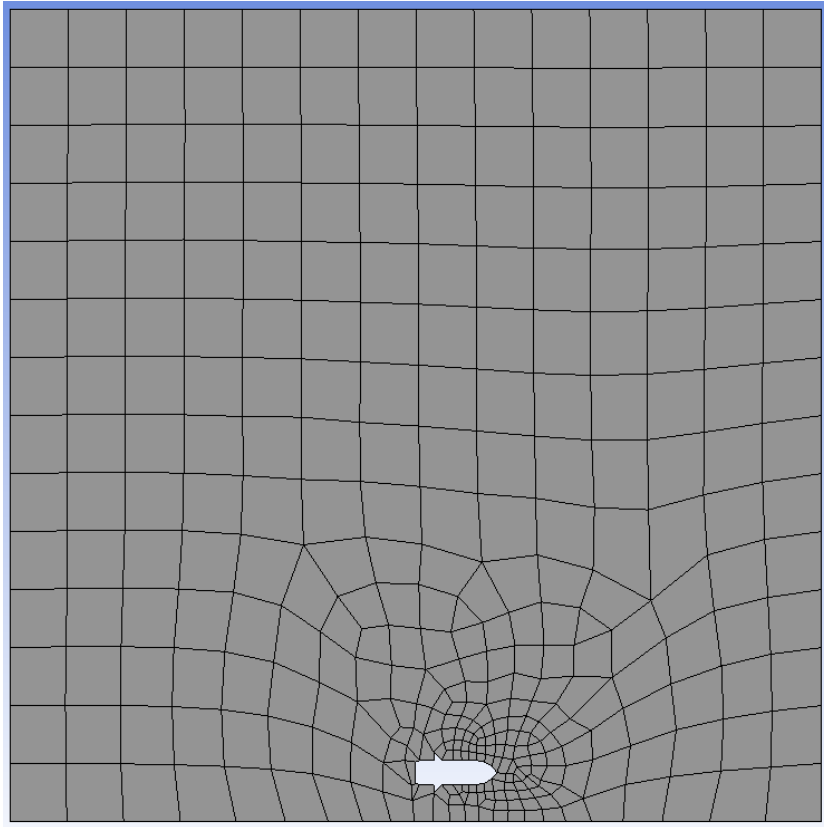


Рис. 2.5 Автоматично згенерована сітка для моделі №1

Для нашої задачі вона буде надто простою, через що може дуже втратитись точність.

Тому для виправлення цього створюємо «Method», натисканням правою кнопкою по Mesh в дереві проекту. Налаштовуємо його параметри, а саме міняємо метод з автоматичного на трикутникові елементи. Наша модель має маленькі елементи заокруглення і, щоб вони не загубились через великі розміри скінчених елементів, їм потрібно задати задовольняючі нас розміри елементів, для цього потрібно аналогічно створення методу генерування, створити «Sizing» для елементу.

Там, в свою чергу, необхідно вказати в полі «Element Size» потрібний розмір елементів, щоб не втратилась геометрія моделі. Повторюємо процедуру для всієї площини, просто для поліпшення якості. Для того щоб щільність елементів на площині мінялась біля об'єкту потрібним чином, аналогічно «Method» та «Sizing» створюємо «Inflation», де в його параметрах вказуємо площину та об'єкт, після цього вказуємо параметри розподілу. По завершенню налаштувань повторно натискаємо кнопку «Generate» для

створення нової сітки (дивись рис 2.6).

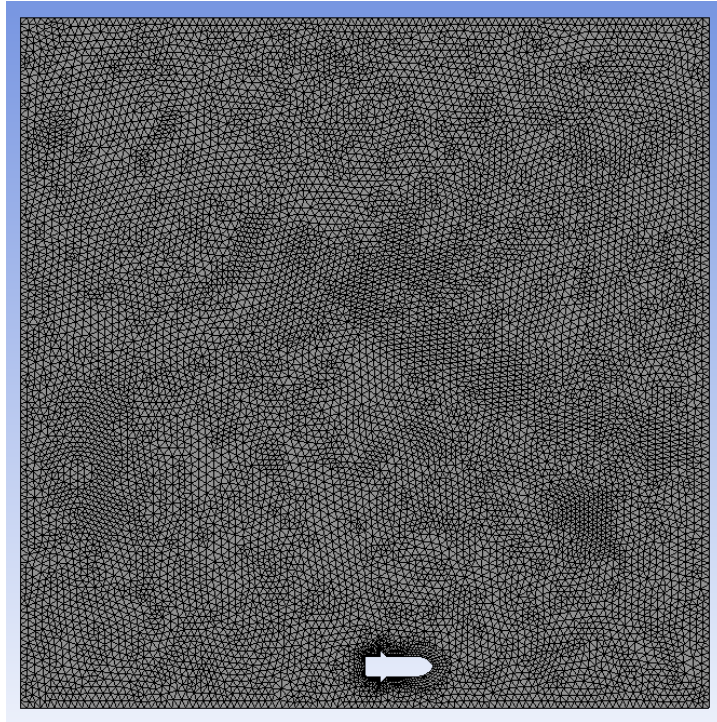


Рис. 2.6 Згенерована сітка з налаштованими параметрами для моделі №1

По завершенню створення сітки визначаємо на сітці елементи, які ми будемо моделювати, а саме позначимо границі площини та сам об'єкт, це можна зробити за допомогою виділення граней в робочій області та натискання правої кнопки миші та обрання «Named Selection».

Ознайомитись з інформацією, яка назва відповідає грані геометрії, можна на рис.2.7.

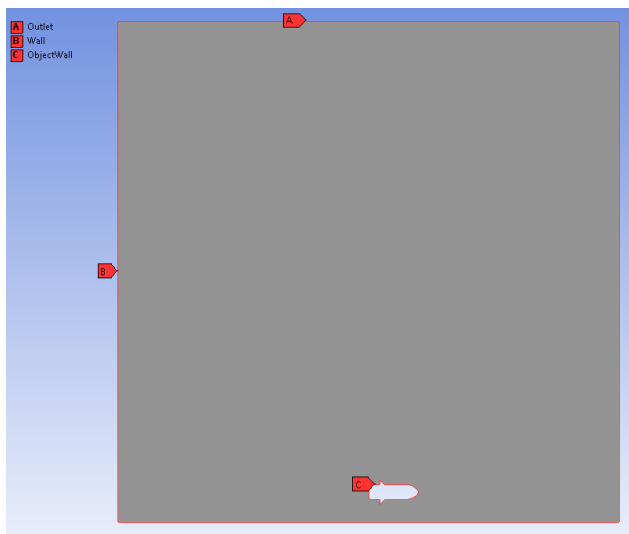


Рис. 2.7 Назви граней на прикладі моделі №1

Було використано такі типи границь:

- **Outlet** – принцип базових налаштувань залишається аналогічним тому, що був розглянутий раніше. У вкладці «Boundary Details» так само можна обрати з випадаючого списку: Normal Speed, Cart.Vel. Components, Cyl. Vel. Components, Mass Flow Rate, Static Pressure. Зникає лише вибір Total Pressure (stable), однак з'являється інший варіант: Average Static Pressure (середній статичний тиск), даний варіант і було використано в налаштуваннях моделей із зазначенням дискретної величини 0 Pa [23].
- **Wall** – (був використаний для Name Selection - model) присутні три варіанти задання граничних умов на стінку: *No Slip Wall* (Без ковзання стінки), один з найпоширеніших типів виконання граничних умов стінки. Рідина безпосередньо біля стінки приймає швидкість стінки, яка за замовчуванням дорівнює нулю. Ненульові швидкості стінок створюються двома способами: явним встановленням швидкості стінки та/або активацією деформації сітки [24]; *Free Slip Wall* (Вільне ковзання стінки), Вільне ковзання, де напруга зсуву на стінці дорівнює нулю, а швидкість рідини біля стінки не уповільнюється ефектами тертя стінки [24]; *Finite Slip Wall* (Кінцеве ковзання стінки), доступна лише для ламінарних потоків. Типовим використанням варіанту кінцевої ковзаючої стінки є імітація потоку неньютонівської рідини [24].

2.3.2 Задання матеріалу середовища

Щоб додати матеріал у праву частину вікна, необхідно відкрити меню налаштувань і натиснути вкладку Матеріали. Далі клацнути правою кнопкою миші на цій вкладці та вибати «Add» -> «Material». Програма запропонує назвати файл. Після того, як натиснемо ОК, до проекту буде додано новий матеріал. Якщо у цьому вікні відображаються дві вкладки, одна з них має назву Матеріали та містить кілька спадних меню. Ці меню дозволяють вибрати групу та тип матеріалу, а також його фізичні властивості, такі як щільність, питома теплоємність, температура, тиск тощо. Після натискання кнопки ОК,

щойно доданий матеріал буде збережено для подальшого використання у проєкті. Щоб обрати потрібний матеріал потрібно двійним натисканням миші по «Materials» —> «Fluid 1» та обрати потрібне середовище. (рис. 2.8). Після натискання клавіші «OK» матеріал буде збережено та доступний для подальшого використання в проєкті.

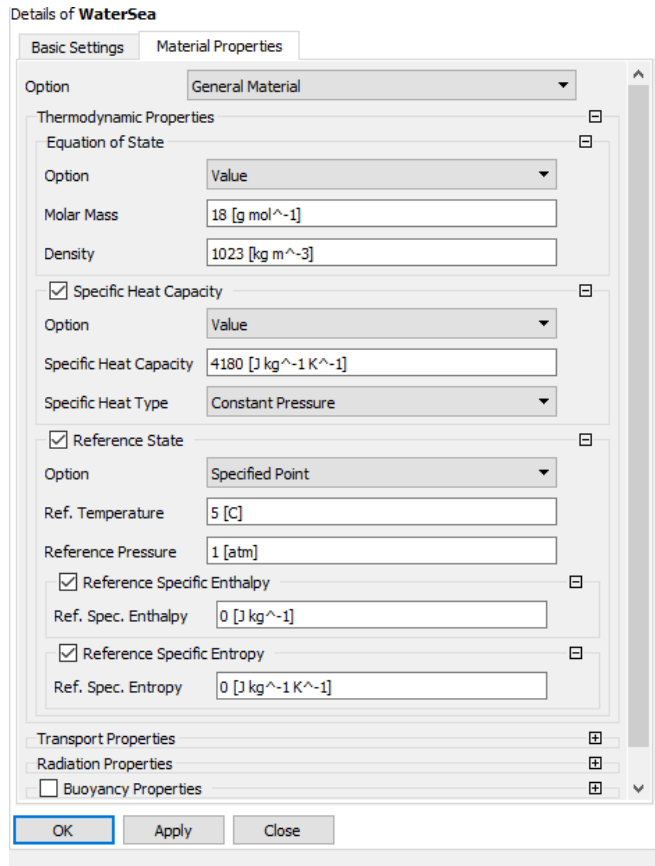


Рис. 2.8 Введення характеристик для морської води

Для задання граничних умов необхідно обрати інструмент «Boundary» назвавши тип границі, назви будуть аналогічними тим, що були задані в модулі Meshing. Кожну границю необхідно створювати окремо, оскільки необхідно буде обрати локації границі та тип.

2.3.3 Задання траєкторії руху

Після виставлення матеріалу та ініціалізації складових можна перейти до формування руху об'єкту. У системі ANSYS Fluent для руху об'єкту завжди використовуються UDF (User-Defined Function).

UDF (User-Defined Function) - це функція, яку можна програмувати і динамічно завантажувати за допомогою компілятора ANSYS FLUENT для покращення стандартних функцій коду.[25]

Суть її роботи полягає в визначенні алгоритму зміни сітки, яку ми визначали раніше. Перш за все, для визначення потрібно написати на мові C/C++ програму з використанням вбудованих в ANSYS Fluent бібліотек `udf.h`, це можна зробити в будь-якому програмному середовищі.

Задання параметрів руху є максимально простим, це по своїй суті задання параметрів, які змінюються за часом, такі як кут повороту (курс), швидкість руху по повздовжній осі та по поперечній осі. Ознайомитись з кодом та рівняннями швидкості рух по осям можна рис 2.9-2.11 .

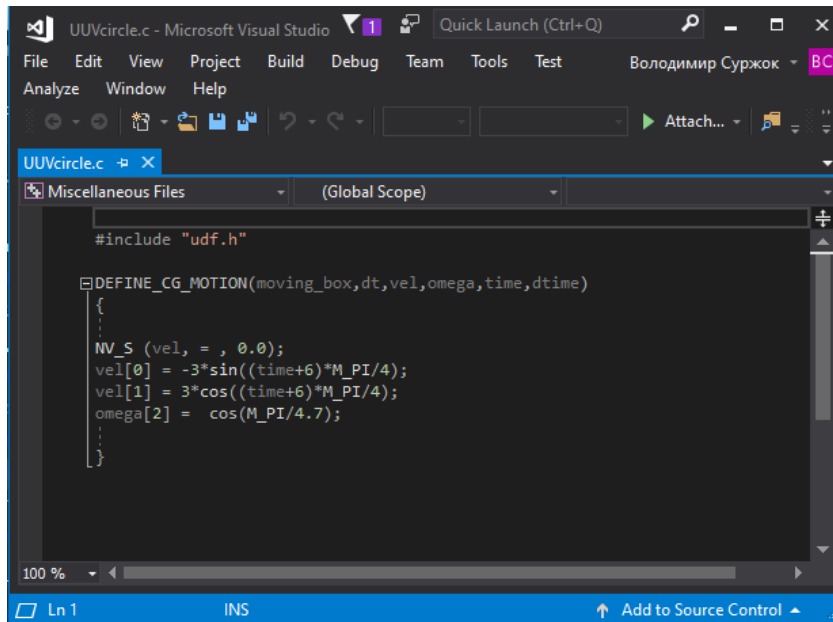
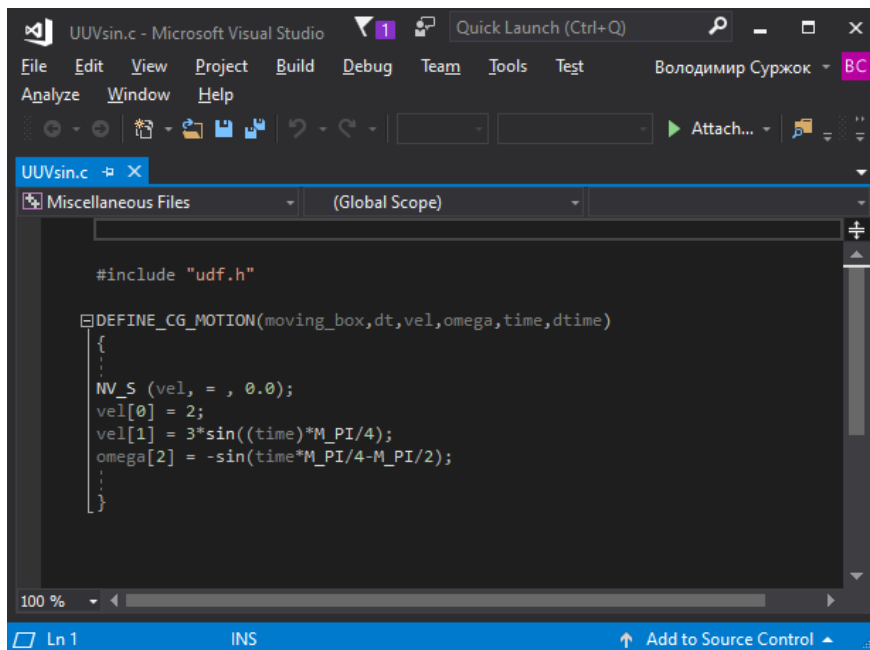
The image is a screenshot of the Microsoft Visual Studio IDE. The title bar shows 'UUVcircle.c - Microsoft Visual Studio'. The menu bar includes File, Edit, View, Project, Build, Debug, Team, Tools, Test, and Help. The toolbar has icons for opening files, saving, and running. The main editor window displays the code for 'UUVcircle.c'. The code includes a preprocessor directive '#include "udf.h"', followed by a function definition 'DEFINE_CG_MOTION(moving_box,dt,vel,omega,time,dtime)'. Inside the function, there are several lines of code: 'NV_S (vel, = , 0.0);', 'vel[0] = -3*sin((time+6)*M_PI/4);', 'vel[1] = 3*cos((time+6)*M_PI/4);', and 'omega[2] = cos(M_PI/4.7);'. The status bar at the bottom shows 'Ln 1' and 'INS'.

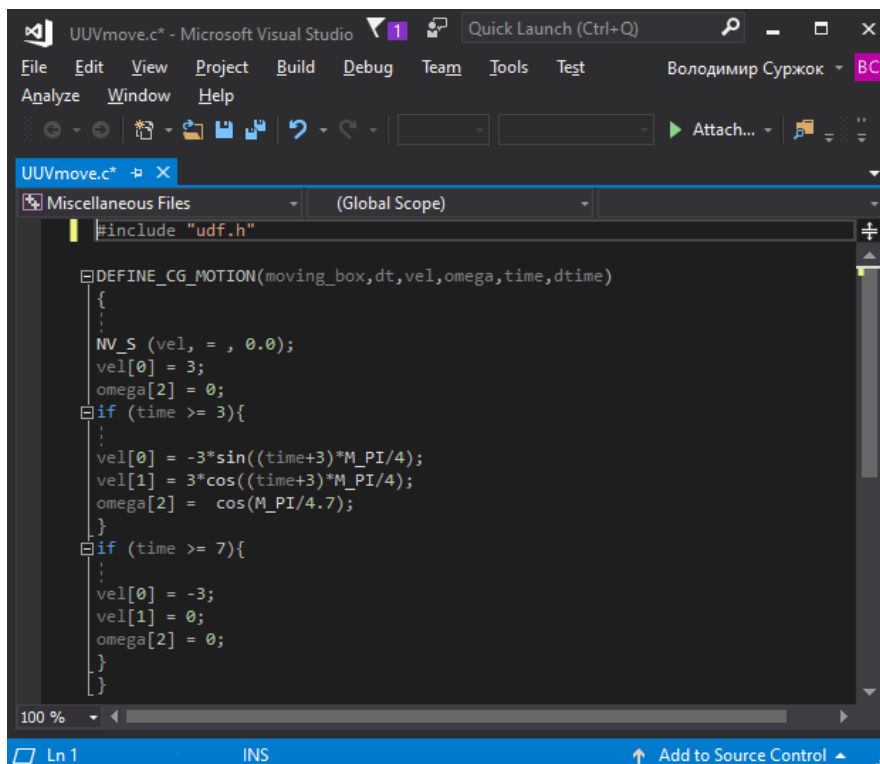
Рис. 2.9 Програмний код для задання руху по колу



```
#include "udf.h"

DEFINE_CG_MOTION(moving_box,dt,vel,omega,time,dtime)
{
    NV_S (vel, = , 0.0);
    vel[0] = 2;
    vel[1] = 3*sin((time)*M_PI/4);
    omega[2] = -sin(time*M_PI/4-M_PI/2);
}
```

Рис. 2.10 Програмний код для задання синусоїдного руху



```
#include "udf.h"

DEFINE_CG_MOTION(moving_box,dt,vel,omega,time,dtime)
{
    NV_S (vel, = , 0.0);
    vel[0] = 3;
    omega[2] = 0;
    if (time >= 3){
        vel[0] = -3*sin((time+3)*M_PI/4);
        vel[1] = 3*cos((time+3)*M_PI/4);
        omega[2] = cos(M_PI/4.7);
    }
    if (time >= 7){
        vel[0] = -3;
        vel[1] = 0;
        omega[2] = 0;
    }
}
```

Рис. 2.10 Програмний код для задання розвороту

Після написання коду та збереження його у форматі *.c/*.cpp, він потребує компіляції. Компіляція відбувається безпосередньо в ANSYS Fluent. Для цього потрібно в списку налаштувань моделювання розгорнути вкладний список «Параметри та компоненти», натиснути правою кнопкою миші на UDF, обрати пункт «Compiled..». Відкриється нове вікно, яке є інтуїтивно зрозуміле

для користувача, для компіляції коду потрібно обрати його місцезнаходження за допомогою кнопки «Add», після натиснути «Build». По закінченню завантаження в консолі з'явиться текст що UDF скомпільована і створена бібліотека, в тому ж вікні її можна відразу завантажити у проект.

2.3.4 Задання динамічної зміни сітки

Модель динамічної сітки може моделювати потоки, де форма домену змінюється з часом через рух на межах домену. У поєднанні з компілятором шести ступенів свободи (6 DOF) динамічна сітка дозволяє визначати траєкторію рухомого об'єкта аеро- чи гідродинамічними силами, що виникають у навколишньому полі потоку. В ANSYS Fluent можливість динамічної сітки використовується для моделювання проблем із граничним рухом, таких як зворотні клапани та відділення магазинів. Будівельними блоками для можливостей динамічної сітки в ANSYS FLUENT є три схеми динамічної сітки: згладжування, шарування та повторне зведення. Поєднання цих трьох схем використовується для вирішення найскладніших проблем динамічної сітки.[26] Фактично, у задачах, де конкретна область рідини та її межі були зміщені під час моделювання, рухома сітка повинна використовуватися для трансформації та миттєвого переміщення клітин у сітці. Технології згладжування сітки та відновлення сітки забезпечують миттєву деформацію сітки. Перетворення сітки використовується, коли сітка більш чутлива до змін сітки, що можна використовувати для ручного визначення діапазонів максимальної та мінімальної шкали довжини для змін сітки. Загалом, техніка динамічної сітки імітує моделі, які потребують рухомої області сітки. Ця модель дає можливість просторової варіації визначених областей для потоку рідини та дозволяє сітку регіону в той же час, коли просторове розташування точок і меж регіону змінює сумісність із місцем у поточний момент. Техніка динамічної сітки складається з трьох етапів: визначення методів динамічної сітки, визначення конкретних режимів із параметрами динамічної сітки та визначення зони динамічної сітки.

Після завантаження бібліотеки, потрібно налаштувати динамічну сітку, шляхом обрання потрібних параметрів та вмиканням потрібних функцій. По завершенню налаштувань стане доступне створення елементів, які ми хочемо щоб рухались. Ознайомитись з вікном можна на рис. 2.11.

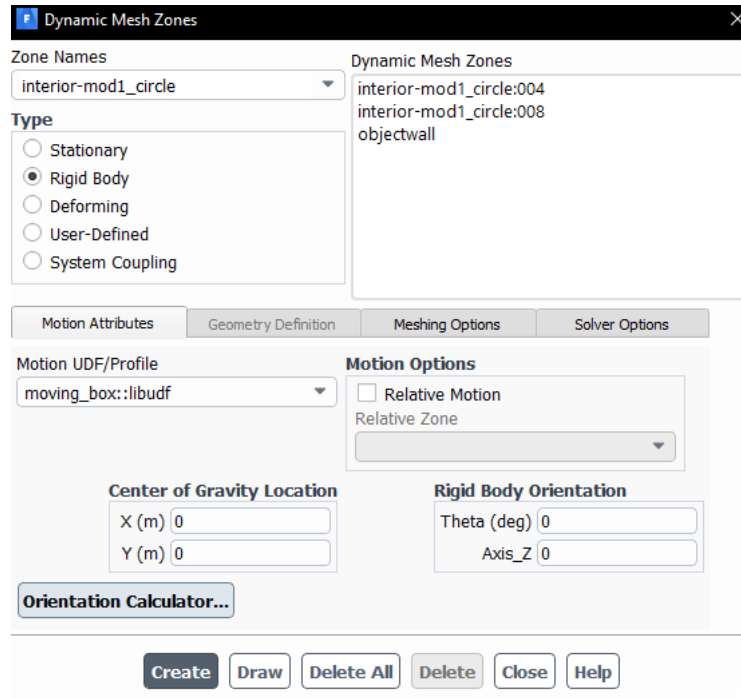


Рис 2.11 Вікно створення об'єктів з динамічною сіткою

Коли ми маємо створеними всі елементи, які будуть рухатись, можна перевірити їх траєкторію руху, шляхом перегляду руху сітки при моделюванні. Для цього у вкладці з динамічною сіткою потрібно обрати цю функцію. Перегляд відбувається лише шляхом візуального відображення без збереження даних чи графіків, у меню налаштування можна обрати кількість ітерацій, час за одну ітерацію, час початку.

Результат руху сітки можна переглянути на рис 2.12 .

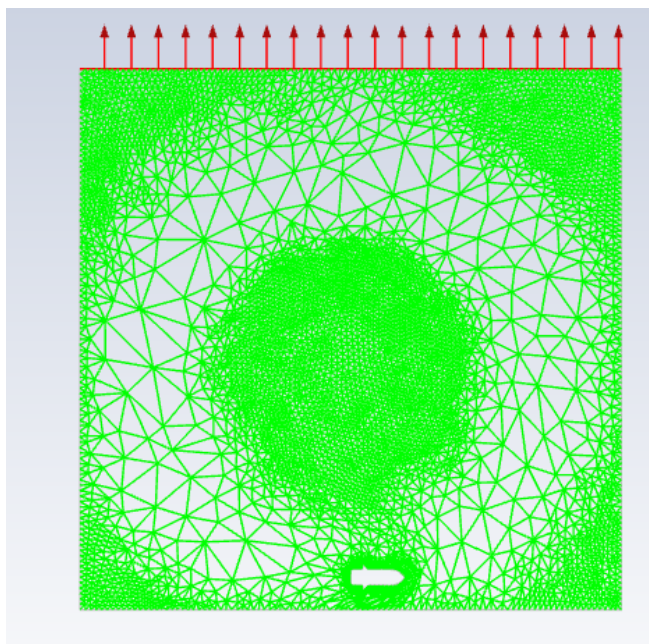


Рис. 2.12 Результат повного проходження траєкторії яку спостерігає користувач

2.3.5 Проведення моделювання та відображення результатів

На цьому етапі зроблено всі налаштування і можна проводити обчислення, для цього необхідно запустити CFD-Solver Manager, який запускається автоматично після вибору блоку вкладок «Рішення». Після початку потрібно прийняти всю інформацію, і розрахунки відбудуться на основі вбудованих алгоритмів Ansys. Цей процес дуже повільний і може тривати кілька годин.

Інструменти, вбудовані у FLUENT, мають ту перевагу, що дозволяють швидко переглядати виконані моделювання. Оскільки всі дані все ще зберігаються в пам'яті компілятора, то можна легко зупинити симуляцію, перевірити результати, а потім змінити/продовжити.

Після натискання користувачем кнопки «Calculate», користувачу відображається графік з основними показниками, які розраховуються в реальному часі. А в консолі можна переглядати чисельні значення. Ознайомитись з вікном під час симуляції руху моделі №1 при русі по колу можна на рис. 2.13 .

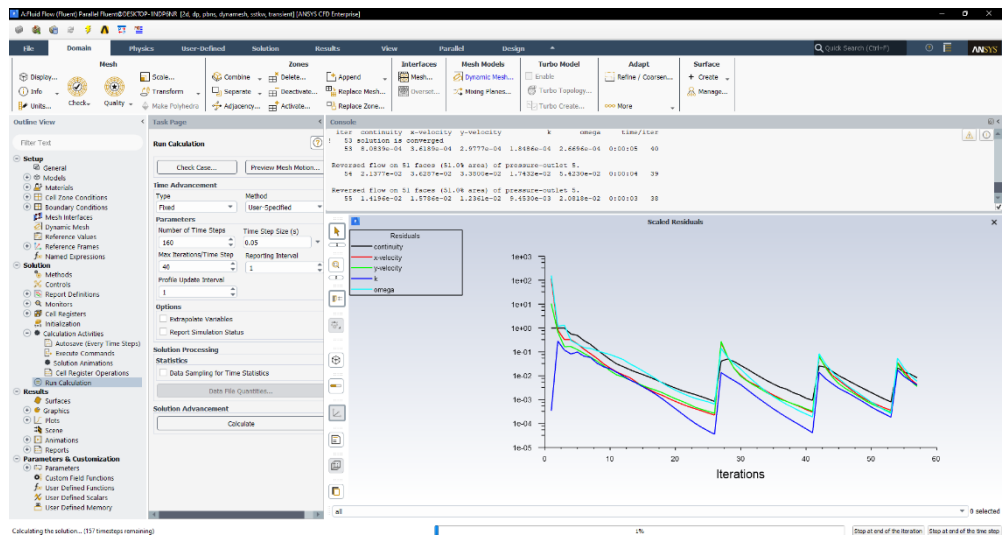


Рис 2.13 Вигляд вікна під час процесу моделювання

Після завершення розрахунку можна переглянути результати в графічній формі. Для цього був запущений модуль «CFD-Post» і обраний інструмент «Контур» у верхній стрічці, вказавши, що його назва буде відображатися в дереві результатів. У деталях інструмента обираємо розташування Symmetry, щоб відобразити результати, і Velocity, Pressure & Turbulence Kinetic Energy зі спадного списку Variable.

З вікном графічних відображень результатів симуляції можна на рис.2.14

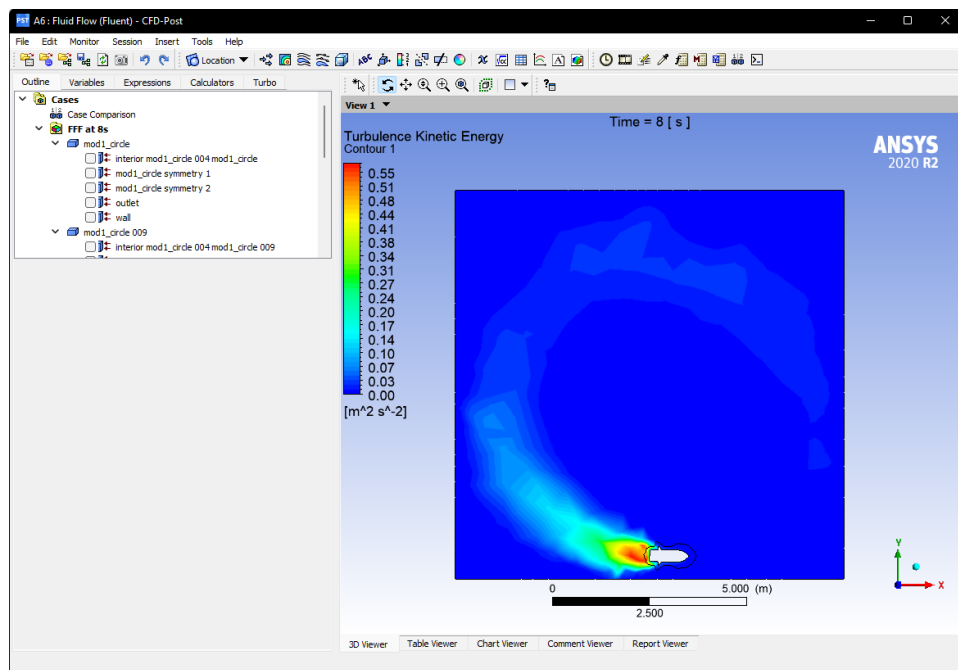


Рис 2.14 Вигляд вікна перегляду результатів моделювання

Окрім графічного відображення результатів, також можна переглянути і статистичні дані які з легкість можна опрацювати або імпортувати.

Висновки до розділу 2

1. В роботі було створено програмне середовище для моделювання складного руху об'єкту у заданому фізичному середовищі, це виконано шляхом створення сітки завантаженої моделі, визначенням її параметрів та програмуванням руху.

2. В результаті отримали можливість проводити моделювання (імітацію) складного руху за різними траєкторіями та з різними характеристиками руху. Результати такого імітаційного моделювання можуть бути використаними для подальшого дослідження поведінки моделей об'єктів в різноманітних фізичних середовищах та при різних параметрах руху.

3. За отриманими результатами можна оцінити динамічні параметри руху, спроможність об'єкта з визначеними масо-габаритними і конструктивними характеристиками виконувати складні маневри у конкретному фізичному середовищі, або ж розробити заходи по оптимізації конструкції об'єкта та характеристик руху для забезпечення виконання об'єктами поставлених завдань.

РОЗДІЛ 3

ПРОВЕДЕННЯ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТА ІНТЕРПРЕТАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

За розробленими в Розділі 2 динамічними моделями було проведено імітаційне моделювання складного руху моделей БПА за визначеними траєкторіям. В результаті ми отримали цифрові результати, за допомогою яких були створені візуальні відображення результатів руху. Окрім відображення візуальних відображень руху, дані використані для статистичних порівнянь. Часовий інтервал для отримання даних був обраний тривалістю 8 секунд, за який моделі проходили повністю всю траєкторію руху, як для руху по колу так і для руху по синусоїді та розворот.

Для прискорення виконання симуляції кроком часу обрано 0.025 секунд. Так як значну роль в точності відображень грає розбиття моделі на скінчену кількість елементів, максимальним розміром елементу є 1 міліметр розміру середовища, також це значення було спеціально зменшеним при приближенні до безпосередньо об'єкту та в найближчій відстані дорівнює розміру в 0.1 міліметр. Результати моделювання будуть відображені для моделей №1 - №2 лише для швидкості 2.5 м/с (це 9 км/год = 5 4 м. вуз). Швидкість для всіх траєкторій є сталою, без зміни протягом всього руху.

Епюри розподілення швидкостей рідини на визначених в Розділі 2 траєкторіях руху наведено на рис. 3.1 – рис.3.6, епюри розподілення тиску – на рис.3.7-рис. 3.12, а епюри розподілення кінетичної енергії турбулентності – на рис. 3.13 – рис. 3. 18.

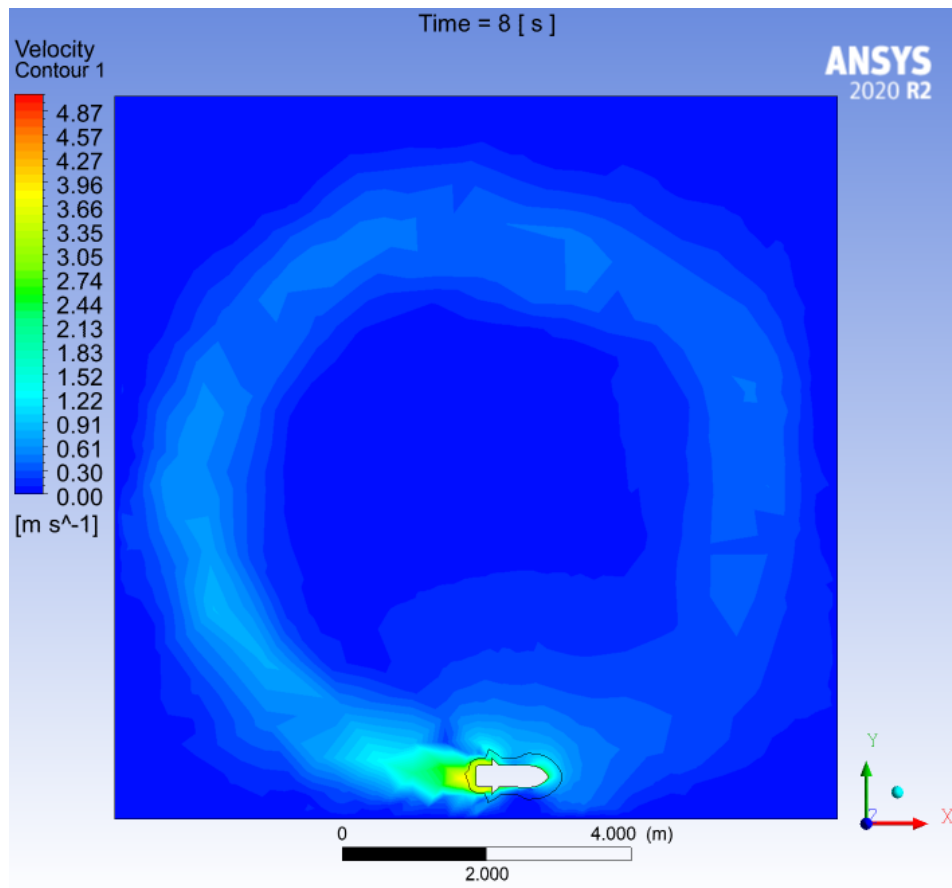


Рис. 3.1 Епюра розподілення швидкості для моделі №1 (коло)

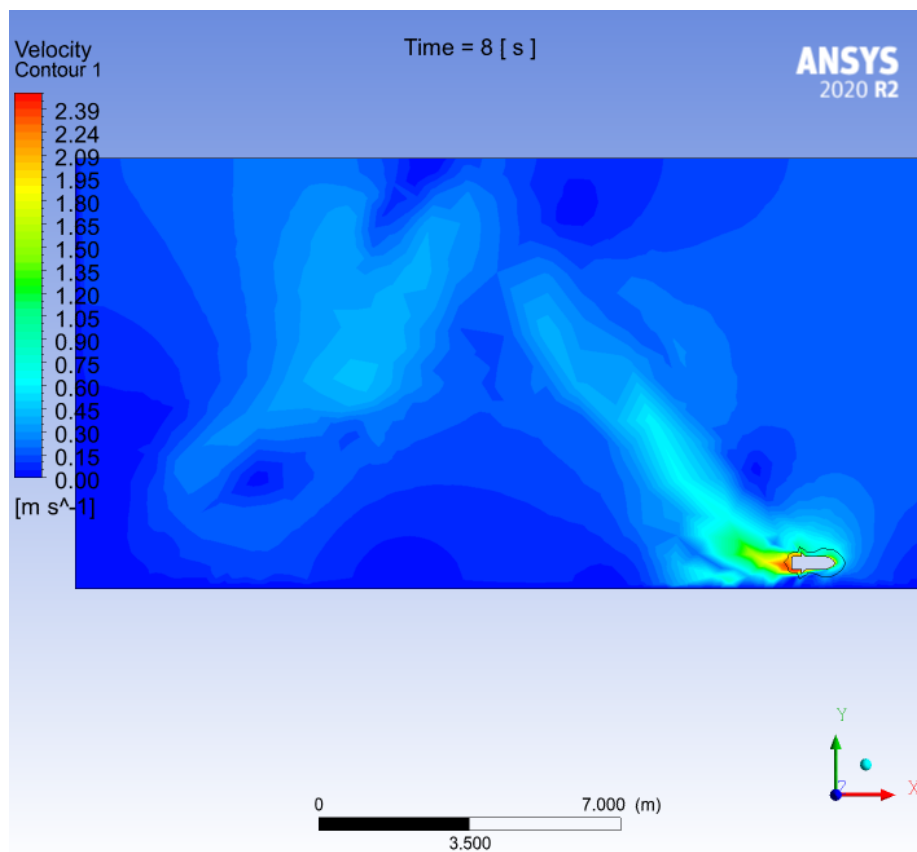


Рис. 3.2 Епюра розподілення швидкості для моделі №1 (синусоїда)

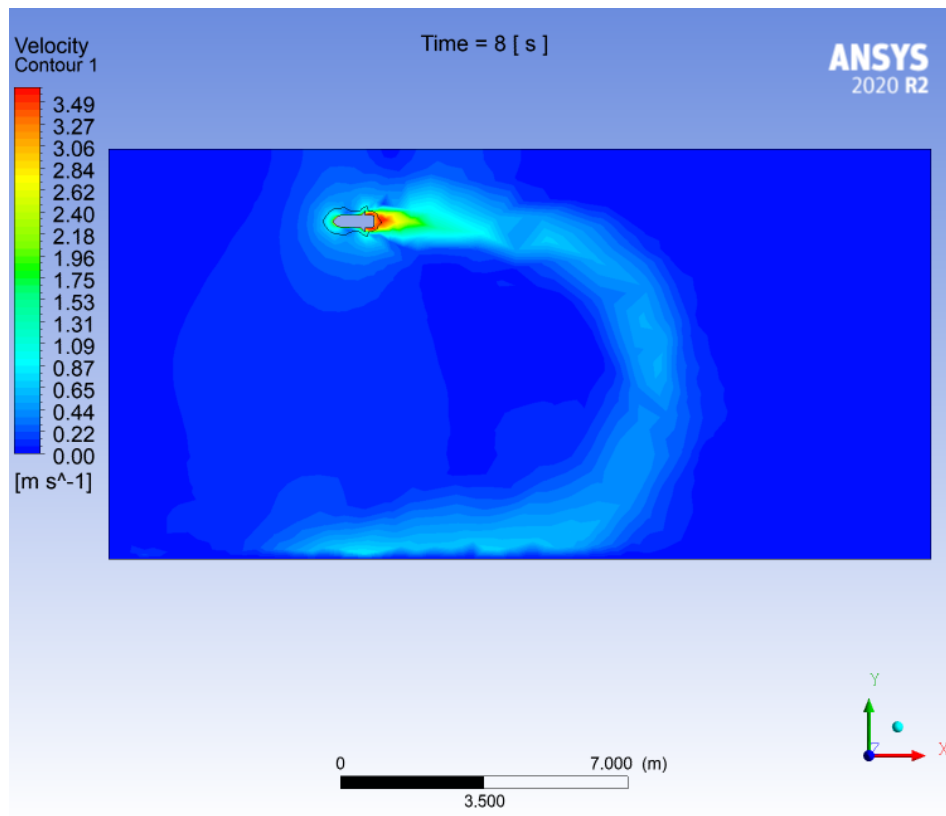


Рис. 3.3 Епюра розподілення швидкості для моделі №1 (розворот)

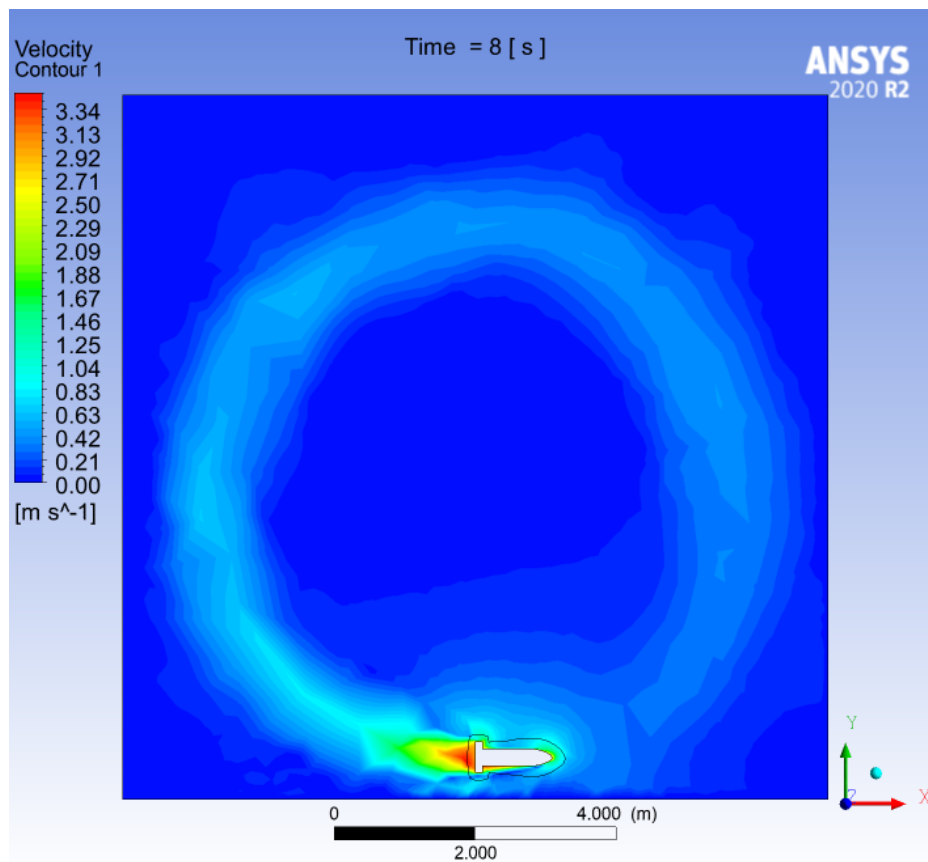


Рис. 3.4 Епюра розподілення швидкості для моделі №2 (коло)

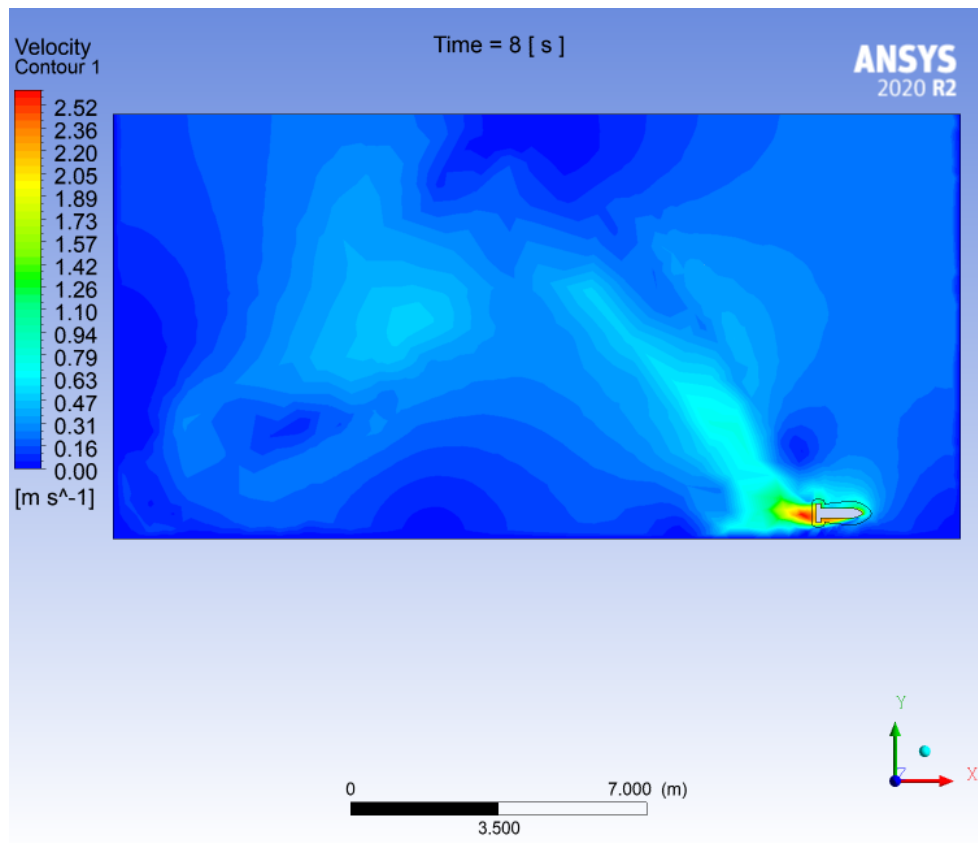


Рис. 3.5 Епюра розподілення швидкості для моделі №2 (синусоїда)

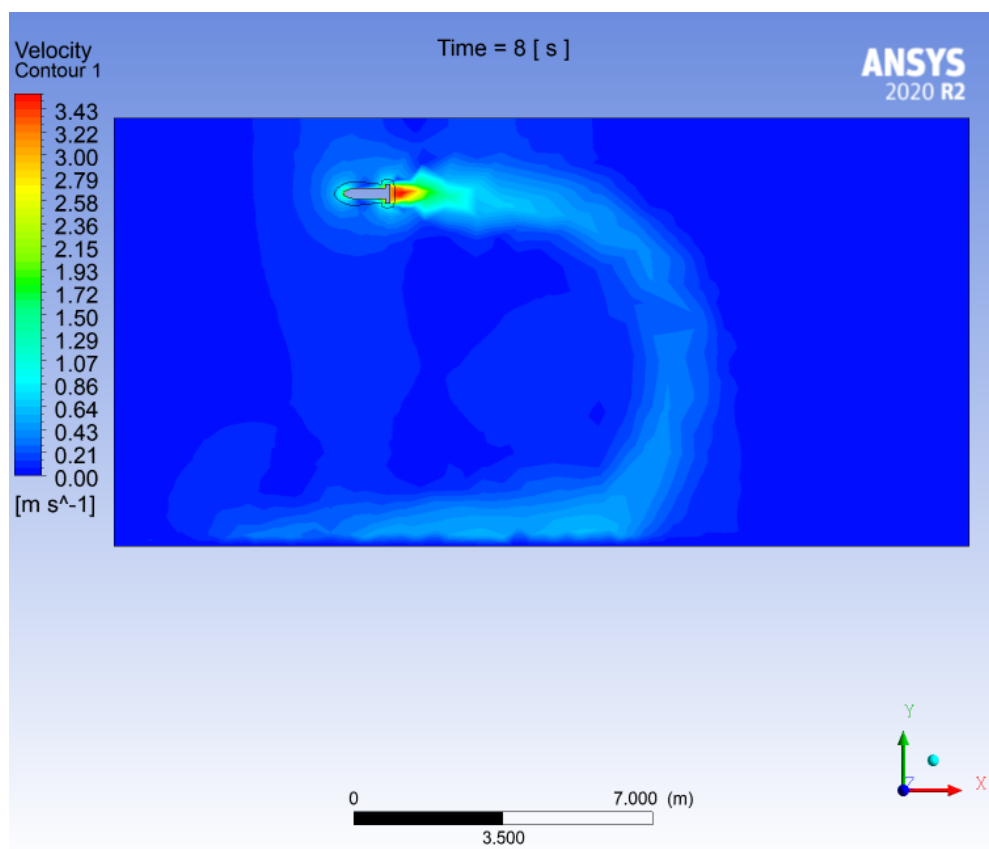


Рис. 3.6 Епюра розподілення швидкості для моделі №2 (розворот)

При візуальному порівнянні епюр розподілу швидкостей чітко прослідковується особливість руху по синусоїді, а саме максимально плавний розподіл швидкостей в середовищі. Це відбувається через зустріч протилежно направлених збурень.

Якщо розглянути результати руху по колу можна помітити, що при повному проходженні траєкторії модель входить повторно в зону де ще рухається вода. Через відцентровий напрям руху вода впливає на подальше переміщення, ускладнюючи його.

Розглядаючи окремо кожену модель можна помітити що в моделі № 2 при будь-якій траєкторії з'являється конусоподібна область з максимально великим розподілом швидкості в той час в моделі № 1 вона майже відсутня.

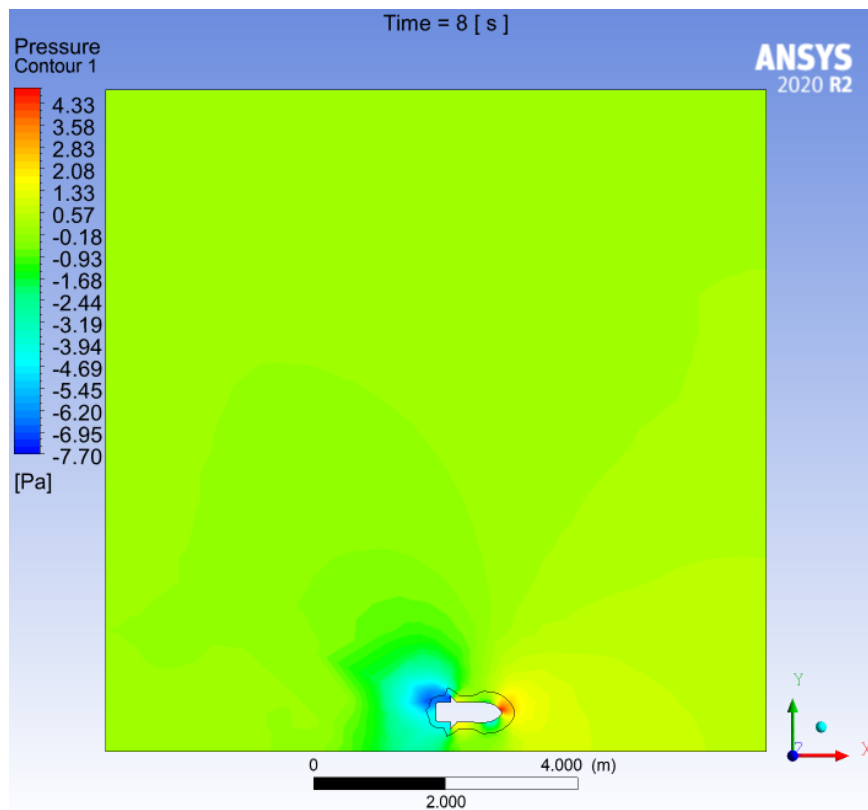


Рис. 3.7 Епюра розподілення тиску для моделі №1 (коло)

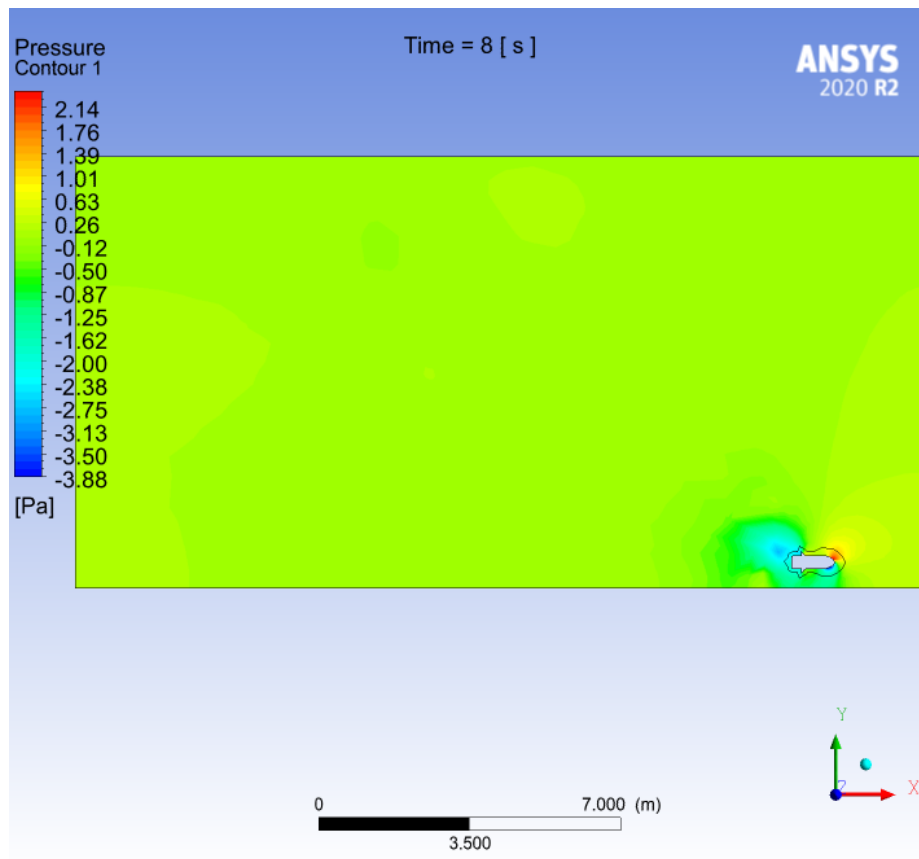


Рис. 3.8 Епюра розподілення тиску для моделі №1 (синусоїда)

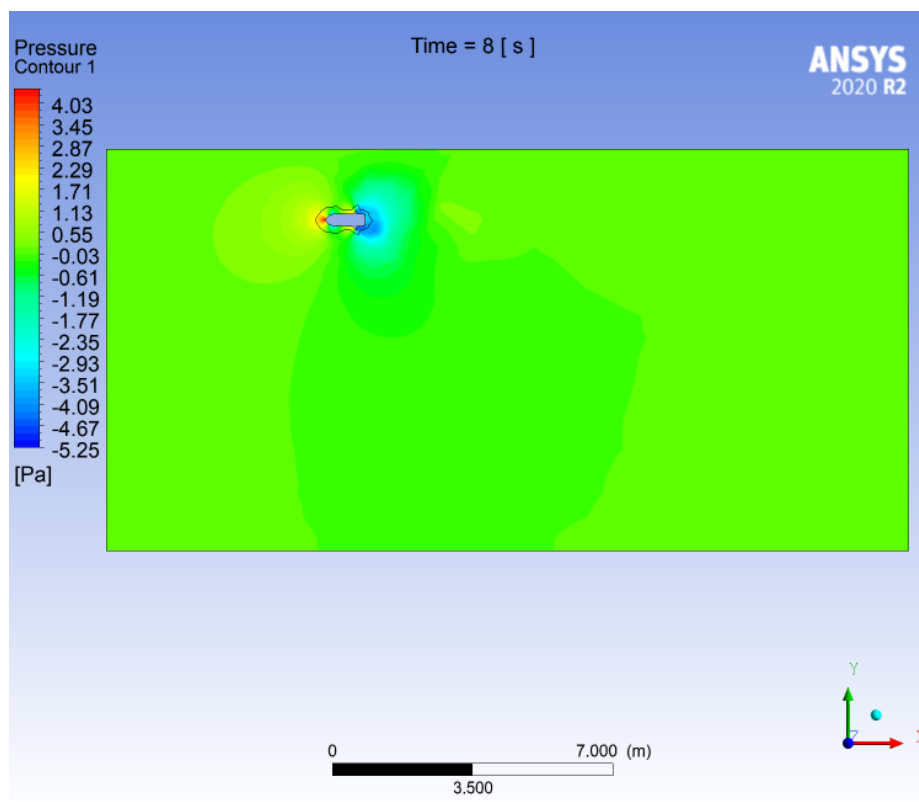


Рис. 3.9 Епюра розподілення тиску для моделі №1 (розворот)

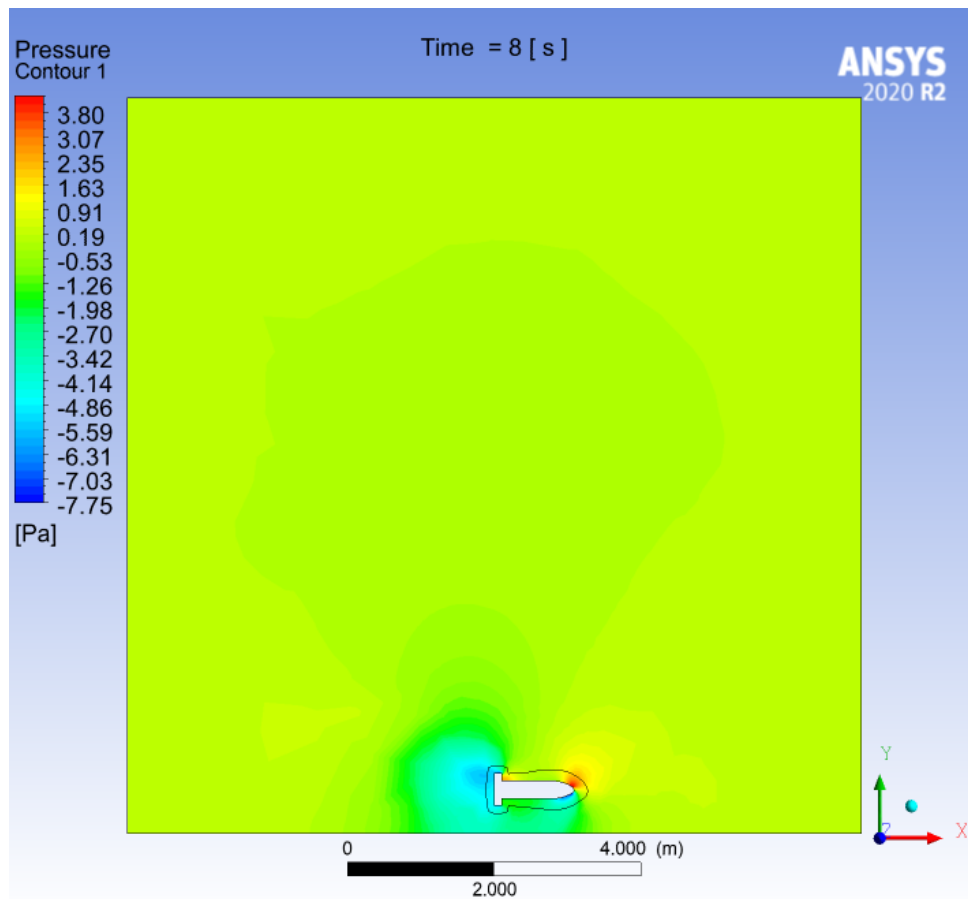


Рис. 3.10 Епюра розподілення тиску для моделі №2 (коло)

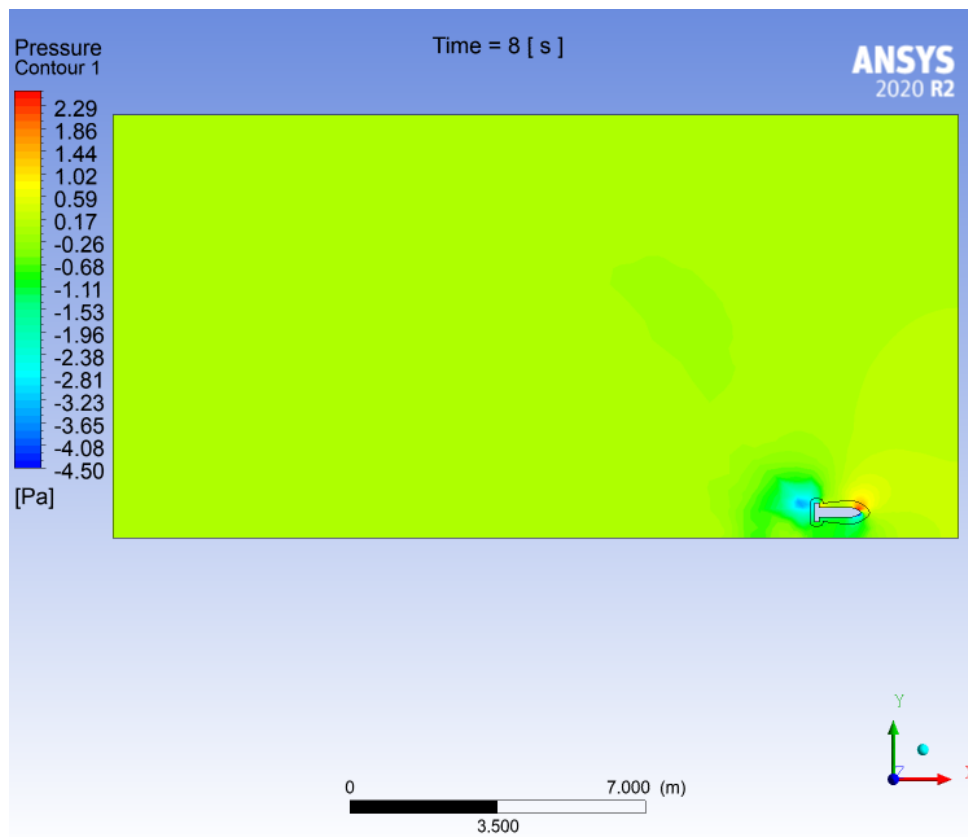


Рис. 3.11 Епюра розподілення тиску для моделі №2 (синусоїда)

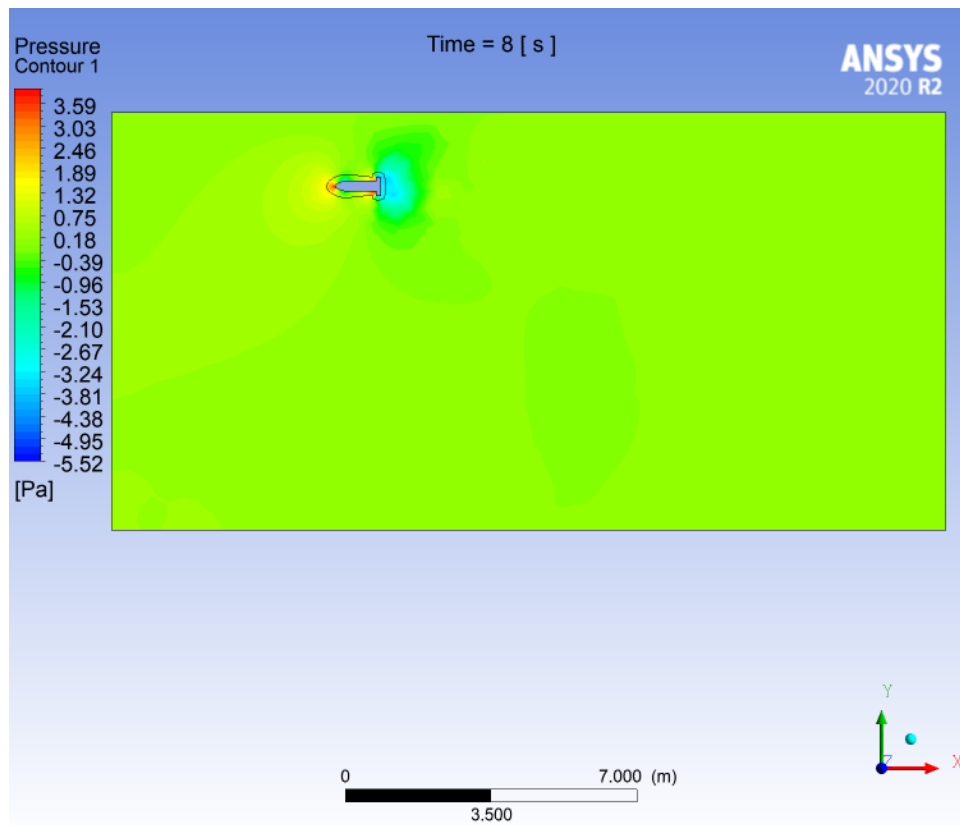


Рис. 3.12 Епюра розподілення тиску для моделі №2 (розворот)

Розглядаючи результати розподілу тиску чітко прослідковуються області моделі які розбивають супротив води. Відповідно ці області є максимально важливими, адже вони в першу чергу будуть пошкоджуватись. Для запобігання цього потрібно ці область укріплювати. Також ефективним способом зменшення тиску на апарат є його більш заокруглення та загострення, щоб апарат «розрізав» середовище.

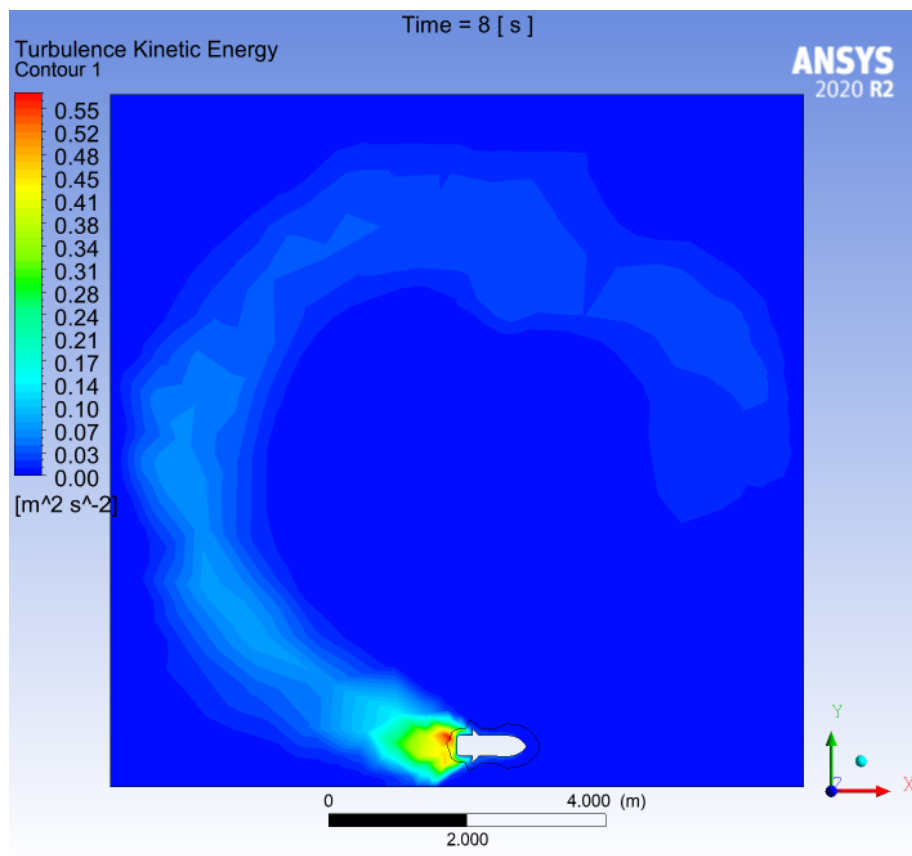


Рис. 3.13 Екюра розподілення кінетичної енергії турбулентності для моделі №1 (коло)

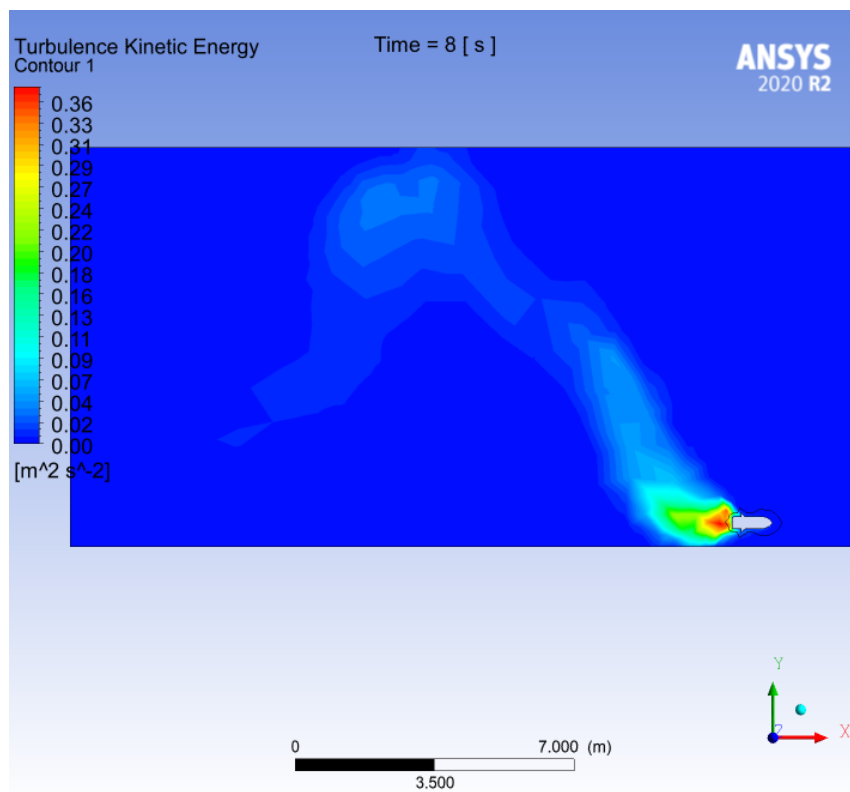


Рис. 3.14 Епюра розподілення кінетичної енергії турбулентності для моделі №1 (синусоїда)

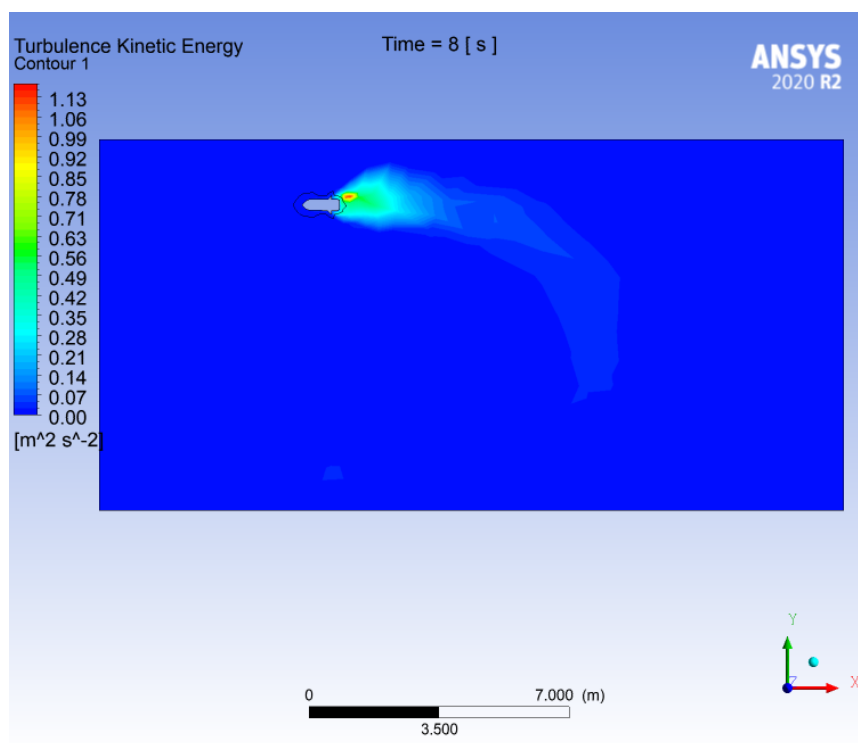


Рис. 3.15 Епюра розподілення кінетичної енергії турбулентності для моделі №1 (розворот)

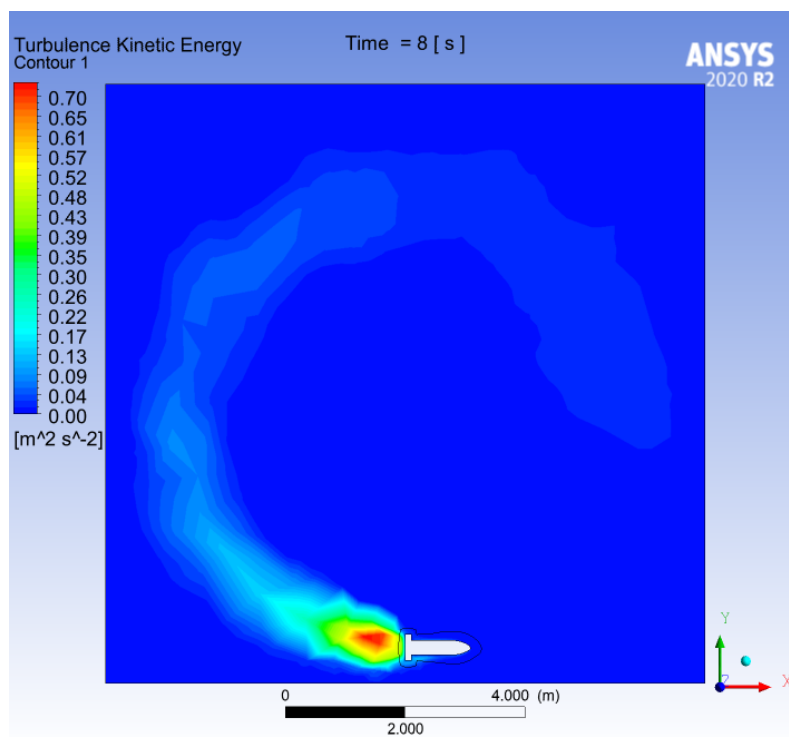


Рис. 3.16 Епюра розподілення кінетичної енергії турбулентності для моделі №2 (коло)

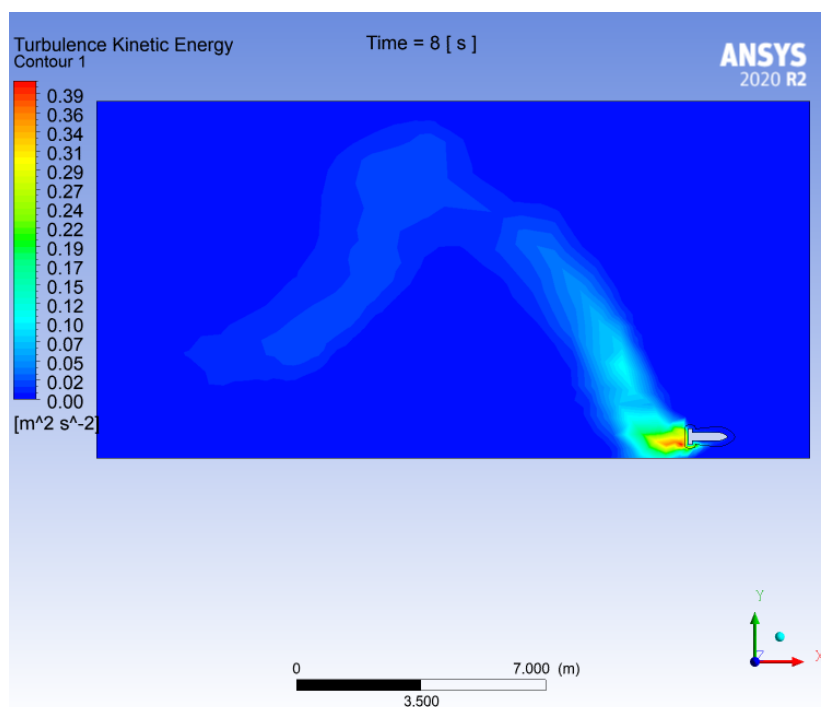


Рис. 3.17 Епюра розподілення кінетичної енергії турбулентності для моделі №2 (синусоїда)

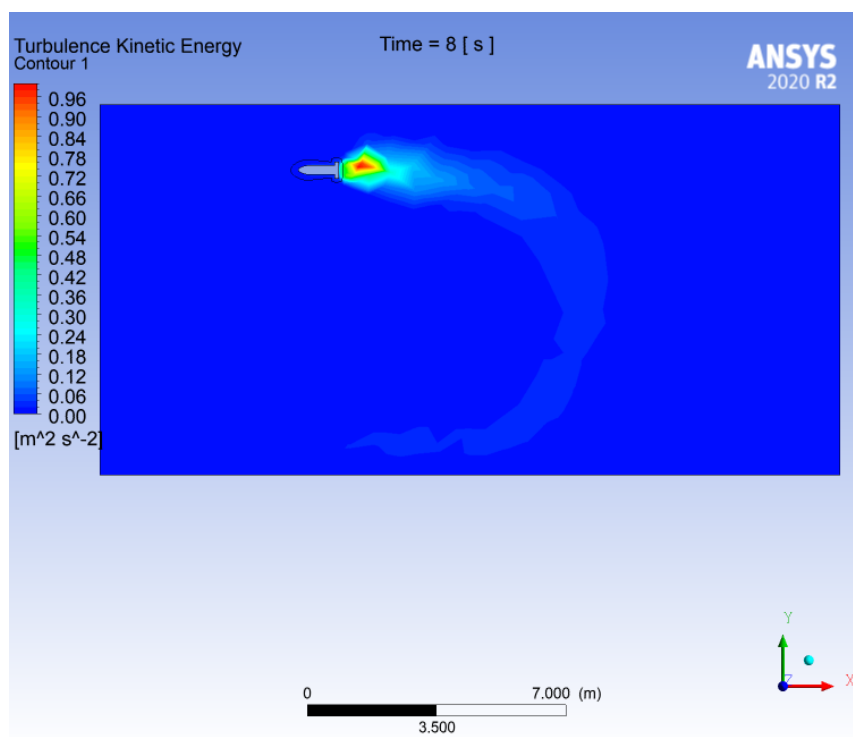


Рис. 3.18 Епюра розподілення кінетичної енергії турбулентності для моделі №2 (розворот)

Занесемо всю отриману інформацію до табл. 3.1 та табл. 3.2, де будуть відображені максимальні та мінімальні значення отриманих вище характеристик:

Таблиця 3.1 Результати аналізу для моделі №1

Тип		Розподілення швидкості, м/с	Тиск, Па	Кінетична енергія турбулентності, $\text{м}^2/\text{с}^2$
Модель №1(коло)	Min	0,3	-7700	0,03
	Max	4,87	4330	0,55
Модель №1(синусоїда)	Min	0,15	-3880	0,02
	Max	2,39	2140	0,36
Модель №1(розворот)	Min	0,22	-5250	0,07
	Max	3,49	4030	1,13

Порівнюючи дані отримані при моделюванні руху моделі №1 по відмінним траєкторіям чітко прослідковується що рух по колу для БПА вдається складніше, ніж інші види руху. Якщо порівнювати рух по колу та розворот, що являє собою поєднання прямолінійного руху та руху по колу, можна дійти висновку, що для моделі №1 значно простіше рухатись по прямій траєкторії. Якщо розглянути рух по синусоїді то вона вдалась моделі найпростіше, якщо умовно розглянути синусоїдальний рух то можна його охарактеризувати як рух по прямій з поворотом.

Завдяки своїй гладкій формі носу та невеликих стабілізаційних крил та додатковому плавному зменшенню діаметру в задій частині, БПА без значних труднощів рухається прямо, без змін курсу та також явно прослідковується що модель зі значними проблемами виконує маневри.

Таблиця 3.2 Результати аналізу для моделі №2

Тип		Розподілення швидкості, м/с	Тиск, Па	Кінетична енергія турбулентності, $\text{м}^2 / \text{с}^2$
Модель №2(коло)	Min	0,21	-7750	0,04
	Max	3,34	3800	0,7
Модель №2(синусоїда)	Min	0,16	-4500	0,02
	Max	2,52	2290	0,39
Модель №2(розворот)	Min	0,21	-5520	0,06
	Max	3,43	3590	0,96

Розглядаючи дані, отримані при симуляції руху моделі №2 з аналогічними траєкторіями, прослідковується, що БПА має схожі результати з попередньою моделлю за значеннями. Якщо розглянути результати окремо, то можна помітити значну стабільність в результатах, не зважаючи на велику різницю в траєкторіях. Завдяки цьому можна дійти висновку, що конструкція моделі №2 набагато ліпше підходить для поворотів та маневрування ніж модель №1.

Для ліпшого аналізу впливу складного руху на об'єкт потрібно обов'язково порівняти з прямолінійним рухом. Дані отримані при попередніх дослідженнях [16] занесені до табл. 3.3 .

Таблиця 3.3 Результати аналізу для моделі для прямолінійного руху [16]

Тип		Розподілення швидкості м/с	Тиск, Па	Кінетична енергія турбулентності, $\text{м}^2/\text{с}^2$
Модель №1	Min	0.03	-5414	0,007
	Max	3 576	33463	0,53
Модель №2	Min	0.08	-4579	0,0003
	Max	3 345,5	3.456	0,98

Порівнюючи значення для моделі № 1 прослідковується значне збільшення значень розподілу швидкості в середовищі. Що ще раз підтверджує значну гіршу здатність рухатись по складній траєкторії. Це пов'язано з тим, що зона максимальної швидкості була зміщена з кінця крила в напрямку носової частини.

В той час порівнюючи значення для моделі № 2 при складних траєкторіях та прямій різниця є не значною. Це свідчить про якість створеної конструкції, що надає змогу з легкістю маневрувати обходячи перешкоди.

Рекомендації щодо забезпечення маневреності БПА

Насамперед найважливішою складовою для забережння маневреності є правильне проектування корпусу моделі з вірним обранням основних складових. Таким складовими є розташування стабілізаційних крил, їх геометрія, правильне обрання форми заокруглення носу та товщина і довжина апарату.

Після проведення симуляцій складного руху по обраним траєкторіям, найменші значення розподілу швидкості в синусоїдальній траєкторії, порівняно з іншими. Синусоїдальний рух викликає найменші збурення у водному середовищі, що є ефективним при обходженні різноманітних підводних перешкод.

Завдяки своїй ефективності синусоїдальний рух можна використовувати не тільки, як ефективний спосіб обходження перешкод, а ще як і ефективний

спосіб руху для пошуку або сканування підводного середовища, як, наприклад, показано на рис. 3.19. Завдяки постійній зміні курсу, датчики розміщені в передній частині будуть охоплювати територію в значно більшому радіусі.



Рис 3.19 Сканування дна БПА

Також, коли БПА рухається за синусоїдальною траєкторією під час сканування поверхні великої траєкторії, то за рахунок такої траєкторії він за один прохід може охопити більшу площу, ніж коли б рухався по прямій.

Слід зазначити, що такий вид руху значно менше збурює воду за апаратом, за рахунок чого зменшується вірогідність збиття з курсу через створене збурення.

Покращення методики моделювання

Для більш якісного моделювання руху важливою складовою є покращення якості складових моделей. Найпростішим способом є деталізація, а саме, збільшення кількості елементів розбиття моделі, проведення моделювання при більш довгому русі, перевірка симуляції при зміні швидкості впродовж руху. Можливим способом покращення може бути проведення «об'ємного» моделювання, де об'єкт рухатиметься не тільки по повздовжньому напрямку та поперечному, а й вертикально.

Для отримання значно достовірніших даних, потрібно для покращення додати такі складові, як симуляція впливу двигуна та руху керуючих крил, проведення моделювань під впливом течії.

Завдяки покращеній методиці моделювання, можна буде покращувати проектування для розробки.

Висновки до розділу 3

У третьому розділі було проведено моделювання складного руху БПА та аналіз отриманих даних про гідродинамічні характеристики, який показав наступне.

1. Для моделі №1 при русі за складній траєкторією виникають значні збурення. Як показали результати через недоліки в конструкції модель не здатна виконувати складні маневри. Проте досить добре показує себе при русі без зміни курсу.
2. Для моделі №2 під час руху з складною траєкторією виявилась значно кращою ні модель №1. Порівнюючи з рухом по прямій значення розподілу швидкості майже однакові. З чого можна зробити висновок що модель здатна виконувати складні маневри.
3. Порівняльний аналіз проходження кожної траєкторії показав що найліпше кожна з моделей проходить рух по синусоїді. Це зв'язано з постійною зміною курсу на майже протилежну при якій потоки води гасять свій рух і не викликають значних збурень.
4. Порівняльний аналіз максимальних і мінімальних значень показав що рух по колу є найскладнішим для виконання, адже при такому русі об'єкт постійно рухається під кутом, через це площа на яку діє супротив води значно більша і відповідно максимальний та мінімальний тиск на апарат більший.
5. Дослідження дозволило виявити переваги та недоліки використання розроблених моделей БПА для виконання маневрів за розглянутими

траєкторіями та виробити рекомендації з проектування моделі для поліпшення проходження маневрів.

6. За результатами аналізу розроблені рекомендації для більш ефективного руху апарату для сканувальних та пошукових завдань.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА АКВАТОРІАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ

4.1 Опис ідеї проекту

Через розширення доступності використання людьми акваторій навколишнього середовища постає питання у використанні систем для їх контролю. Завдання контролю досить часто постає перед дослідниками та власниками водних середовищ. Спосіб використання систем контролю досить очевидний, це аналіз стану акваторії, на її поверхні та під нею. Такі задачі постають за потреби постійних отримань даних про територію без необхідності постійних впливів на неї, будь то з цілю збереження її стану чи визначення стану; дослідження руху підводних течій; переміщення мешканців акваторії; перевірка екологічного стану; дослідження підводного дна з метою конструювання підводних споруд; попереднє інформування з метою уникнення катастроф; охорона від втручання браконьєрів та інших.

Ця система дозволяє дослідникам, екологам, конструкторам, власникам зрозуміти стан середовища завдяки постійному та довгостроковому аналізу в реальному часі. Крім цього початкові оператори можуть використовувати цю систему для досліджень з метою подальшого аналізу та оцінювання.

У даній главі проаналізовано та подано у вигляді таблиць: зміст ідеї; можливі напрямки застосування; основні вигоди, що може отримати користувач товару та чим відрізняється від існуючих аналогів та замінників.

В таблиці 4.1 наведено цілісне уявлення про зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати потрібні групи потенційних клієнтів.

Таблиця 4.1 Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Використання автоматизованої системи контролю акваторії.	1. Будівництво	Створення якісної карти підводного дна та течій, метою створення якісної конструкції. Висока точність отриманих даних.
	2. Екологія	Збір даних з метою прогнозування екологічного стану середовища. Покращення стану акваторії. Локалізація та знаходження джерел забруднень. Дослідження коралових рифів.
	3. Харчова промисловість	Виявлення руху риби у середовищі та їх скупчень. Запобігання браконьєрства.
	4. Ліквідація наслідків	Пошуково-рятувальна діяльність. Знаходження пошкоджень та їх ремонт.
	5. Військова справа	Виявлення положення противника. Виявлення наслідків його перебування. Знищення ворожої техніки

Продовження таблиці 4.1.

	6. Ресурсозабезпеченість	Дослідження про наявність ресурсів в акваторія, як відновлюваних так і не відновлюваних.
--	--------------------------	--

Висновок: В більшості проблем з пошукових та дослідницьких робіт, задача контролю акваторії є доволі необхідною, оскільки існуючі рішення не дають такого швидкого результату та вимагають великого об'єму виконання робіт. Тому проведення контролю шляхом автоматизованої системи є актуальним на ринку послуг. Головними напрямками застосування є військова справа, будівництво, екологія та ресурсозабезпеченість .

Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів			W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Береговий патруль	Ехолокаційні пристрої			
1	Низькі витрати	16	10	21		+	
2	Точність	висока	низька	висока		+	
3	Швидкість проведення результату	висока	низька	низька			+
4	Гнучкість	+	-	-			+
5	Простота	50%	10%	70%		+	

Висновки: Як видно з таблиці головною перевагою проекту для користувачів являється швидкість та гнучкість, яка дозволяє користувачеві швидко виконати поставлені задачі без використання великої кількості персоналу. Не менш важливим параметром є низькість витрат на користування даною системою в порівнянні з подібними по точності конкурентами.

4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Технологічний аудит – це спосіб перевірки технологічного стану підприємства, рівня організації всіх важливих процесів за допомогою встановлених критеріїв, виявлення сильних і слабких сторін виробництва[1].

У таблиці 4.3 проводиться аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту. Параметри, які були взяті як ідея проекту:

Таблиця 4.3 Технологічна здійсненність ідеї проекту

1	2	3	4	5
№ п/ п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Патрулювання території	Використання веб додатку	Наявна	Доступна
2	Сканування дна	Впровадження алгоритмів розпізнавання сигналу датчиків за різними параметрами	Наявна	Доступна
3	Використання імітаційних програм для навчання операторів	Складання навчального процесу за рахунок використання веб додатку	Наявна	Доступна
4	Розширення існуючих систем	Створення API для обміну та обробки сигналу	Наявна	Доступна
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Створення нових систем з контролю та дослідження підводного середовища				

Висновки: Проаналізувавши таблицю, можна зробити висновок, що даний проект можна використовувати як у реальних наукових проектах так і у бізнес задач, а також впровадження освітнього процесу використовуючу дану платформу.

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту

Для аналізу ринкових можливостей, які можна використати під час аналізу запуску оцінюються по основним параметрам: кількість гравців, загальний обсяг продажу, динаміка ринку, рентабельність та специфічних умов ліцензування. Ці дані описані у Таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

1	2	3
№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	10
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	94000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	зростає
4	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	відсутні
5	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	64%

Висновки: головними перевагами показників стану ринку є те, що динаміка стрімко зростає на попит даного продукту, це призведе до підвищення обсягу продаж. Присутні також фактори загрози для виходу на ринок. Такими факторами є висока кількість конкурентів та рівень знань у спеціалістів, здатних виконувати завдання альтернативними методами. Середня норма рентабельності на ринку є досить високою – 64%, це означає, що проект рентабельний для входження на ринок.

Для отримання більш чіткої картини ситуації на ринку визначимо потенційні групи клієнтів (табл.4.5), їх характеристики, сформуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи.

Таблиця 4.5 Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Дослідження акваторії для якісного проектування	Будівельні компанії	Особливості, викликані зі специфікою проведення дослідів, необхідність модифікування програмно-алгоритмічного забезпечення, інтеграція з існуючими системами	Швидкість роботи Можливість комплексування з іншими системами Висока точність результатів
2	Потреба в постійному визначення екологічного стану	Екологія		
3	Прогнозування поведінки супротивника чи потенційного супротивника	Військова справа		

Висновки: Проаналізувавши таблицю, виділимо дві головні потреби, що формує ринок. Перша це: постійний моніторинг акваторії, друге - навчання молодих операторі.

Проведемо аналіз факторів ринкового середовища що сприяють ринковому впровадженню (табл. 4.6.) проекта, та факторів, що йому перешкоджають (табл. 4.7.). Результати наведено у таблицях 4.6-4.7.

Таблиця 4.6 Фактори можливостей

№ п/ п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Збільшення попиту	Різке збільшення зацікавленості до системи	Збільшення функціоналу застосунка
2	Необхідність до інтеграції	Відкрити API	Дати можливість компаніям користуватись відкритим API
3	Навчання	Навчання молодих спеціалістів первинного дослідженню акваторій	Створення навчального процесу для підвищення кваліфікації спеціалістів
4	Індивідуальне замовлення	Клієнт потребує додання нових специфічних розширень	Валідація ідей клієнтів для додавання нового функціоналу до системи
5	Інтеграції	Давати можливість клієнтам використовувати систем для розширення існуючих	Оцінки можливих ризиків

Висновки: Такі системи використовуються у нових та прогресивних компаніях та стартапах починаючи від навчання персоналу та повноцінної оцінки стану середовища за допомогою графічного інтерфейсу сайта . Це досягається шляхом реклами та введення нових можливостей по використанню.

Таблиця 4.7 Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Конкуренція	Ринок наповнений великими гравцями	Бажання клієнтів використовувати перевірені часом способи контролю
2	Економічний	Не бажання платити за додатковий функціонал	Пошук нової цільової аудиторії
3	Якість	Збої у системі моніторингу середовища	Відмова від продукту
4	Некомпетентність робітників	Неточність інженерних розрахунків	Відмова від продукту

Висновки: Головним фактором загроз є конкуренція, тому що користувач може обрати перевірену часом систему та згоден витратити більше часу на її освоєння. Також конкуренти мають достатню частку ринку для його демпінгування.

Надалі проведемо аналіз пропозиції (табл. 4.8.), де визначимо загальні риси конкуренції на ринку.

Таблиця 4.8 Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Тип конкуренції - чиста конкуренція	Відсутні конкуренти, які мають автоматизовану систему контролю в реальному часі	Поява нових гравців

Продовження таблиці 4.8

2. За рівнем конкурентної боротьби - міжнародний	Відсутні конкуренти, які мають автоматизовану систему контролю в реальному часі	Поява нових гравців
3. За галузевою ознакою - міжгалузева	Використання у різних галузях	Робота менеджменту і реклами по залученню клієнтів
4. Конкуренція за видами товарів: - товарно-видова	Товар, що пропонується є специфічний та цілонапрямний	Клієнтно-орієнтована стратегія розвитку Адаптивність до умов ринку
5. За характером конкурентних переваг - цінова	Вартість залежить від специфічних запитів клієнтів	Пошук великих клієнтів, які потребують впровадження системи контролю.
6. За інтенсивністю - марочна	Розширення місць де можна замовити систему.	Розкрутка бренду, його рекламування

Висновки: На ринку відсутня чиста конкуренція через те, що окремі гравці не можуть впливати на ціну товару. За рівнем конкурентної боротьби – міжнародна з міжгалузевою ознакою, так як можливі іноземні замовники. Конкуренція за видами товарів – видова. Вартість товару напрямку залежить від комплектації та функціоналу, тому за характером конкурентних переваг – цінова.

Після аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі за моделлю п'яти сил М. Портера (табл. 4.9.)

Таблиця 4.9 Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	-	Береговий патруль, ехолокаційні прилади	Приватні підприємці	Будівельні компанії Дослідницькі організації Державні установи	Проведення контролю та дослідження
Висновки: ринок не є насиченим, але конкуренція висока, оскільки компанії які являються конкурентами мають високу репутацію. Завадою являється необхідний високий рівень капіталовкладень	-	Вихід на ринок відносно простий. Наявні потенційні конкуренти	Постачальники мають не диктувати ціни на ринку	Клієнти не диктують умови через велику зацікавленість до товару	Обмежень практично немає, оскільки існують різні обмеження по використанню

На основі аналізу конкуренції, проведеного наведеного в табл. 4.9, а також із урахуванням характеристик ідеї проекту, що наведені в табл. 4.2, вимог споживачів до товару (табл. 4.5.) та факторів маркетингового середовища (табл. 4.6, 4.7) визначимо та обґрунтуємо перелік факторів конкурентоспроможності. Аналіз наведено в таблиці 4.10.

Таблиця 4.10 Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Надійність	Використання системи контролю з високою точністю. Чим вище точність отримання даних, тим вище попит на товар
2	Простота	Простота у використанні для користувача робить систему привабливою для клієнта.
3	Адаптивність	Можливість гнучкого налаштування під конкретні задачі
4	Готовий алгоритм	Зменшення часу очікування для покупця
5	Обслуговування	Потреба в консультації з технічних питань

Висновки: Для підвищення надійності системи необхідно використовувати алгоритми з високою точністю. Простота у використанні та налаштуванні приладу робить його більш привабливим для клієнта через те, що необхідно тратити мінімум часу на налагодження та запуск. Адаптивність та простота відкривають широкий спектр використання приладу у поєднанні із іншими системами.

За визначеними факторами конкурентоспроможності (табл. 4.10) проводиться аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (табл. 4.11).

Таблиця 4.11 Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Надійність	18							+3
2	Простота	20					+1		
3	Адаптивність	17							+3
4	Готовий алгоритм	16				0			
5	Обслуговування	18						+2	

Висновки: спираючись на фактори конкурентоспроможності (Таблиця 4.11) та підсумовуючи рейтинг товару відносно головного конкурента, запропонована система має більший рейтинг відносно прямих конкурентів. Дана таблиця показує якими саме особливостями розроблена система відрізняються від аналогів та в яку саме сторону. Детальний аналіз

показує, що сильними сторонами є простота, можливість до адаптації з роботою із іншими системами.

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities), що наведено в таблиці 4.12. на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін в таблиці 4.11.

Таблиця 4.12 SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: 1. простота використання; 2. адаптивність; 3. стабільна робота; 4. універсальність; 5. портативність; 6. можливість до комплексування	Слабкі сторони: 1. низька репутація підприємства на початку впровадження проекту в життя; 2. обмежений функціонал
Можливості: 1. вихід на міжнародний ринок; 2. збільшення попиту; 3. необхідність до інтеграції; 4. освоєння нових сфер; 5. індивідуальне замовлення; 6. співпраця з конкурентами	Загрози: 1. поява схожих систем; 2. кваліфікованість спеціалістів;

На основі SWOT-аналізу розробимо альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок. Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (табл. 4.13).

Таблиця 4.13 Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Індивідуалізм (максимізація власного виграшу)	Середня	2міс
2	Кооперація (максимізація спільного виграшу)	Висока	3міс
	Суперництво	Нижче середнього	5міс.

Висновки: в результаті аналізу обрано кооперацію, як альтернативну ринкову поведінку через те, що за відносно короткий термін існує велика ймовірність отримання ресурсів.

4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розробка ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (табл. 4.14).

Таблиця 4.14 Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачі в сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Будівництво інженерних споруд(будинків, мостів)	+	+	низька	+
2	Охоронні установи	-	+	низька	-
3	Дослідницькі лабораторії	+	+	висока	+

Продовження таблиці 4.14

4	Державні установи	+	+	висока	+
5	Риболовецькі організації	+	+	низька	-
Які цільові групи обрано: під час вибору цільової групи до уваги бралось в першу чергу готовність споживача сприйняти продукт. Будівельні компанії потребують більш популярних роз'яснень щодо можливостей використання таких систем. У випадку успішної реклами є можливість зайняти нішу.					

Висновки: За результатами оцінки були обрані групи, які потребують швидкого реагування та відповідно швидкого оцінювання даних для подальшого впровадження тих чи інших дій. З таблиці 4.14 можна побачити що обрані клієнти потребують дані рішення, але ще є небажання витратити на це гроші та нерозуміння для чого їм це.

Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку (табл. 4.15.).

Висновки: Кожне підприємство потребує швидкого реагування на проблеми, які можна побачити на ранніх етапах дослідження або вивчення нового матеріалу.

Таблиця 4.15 Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
1	Індивідуалізм	Стратегія недиференційованого маркетингу	Адаптація до вимог ринку Використання новацій Генерування ноу-хау	Стратегія спеціалізації

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 4.16).

Таблиця 4.16 Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристик и товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
1	Є першопрохідцем	Шукати нових споживачів із поступовим переманюванням від конкурентів	Компанія буде вдосконалювати наявний застосунок	Стратегія виклику лідера

Висновок: оскільки проект є першопрохідцем та має суттєві переваги по відношенню до свого прямого конкурента, можливо обрати стратегію виклику лідеру. Це є можливим на фоні використання інноваційних методів підвищення точності алгоритмічного контролю, впровадження інновацій і технологій для вдосконалення продукту з метою ускладнення задачі конкурентів;

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника та до продукту, а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробимо стратегію позиціонування (табл. 4.17).

Таблиця 4.17 Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Швидкість роботи	Стратегія спеціалізації	Дослідження та розвиток	Високошвидкісна, легкість, надійність

2	Можливість відкритого API	Стратегія спеціалізації	Обслуговування	Здатна до відкритого API
3	Висока стабільність результатів	Стратегія спеціалізації	Якість	високоточна

Висновки: Дана стратегія є ключовою для подальшого розвитку проекту та отримання прибутку для реінвестування у проект та купівлю нових технологій з подальшою інтеграцією у проект.

4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Маркетингова концепція товару є першим кроком до формування ідеї яку отримує споживач, наведено у таблиці 4.18.

Таблиця 4.18 Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Необхідність швидкого спектрального аналізу сигналу	Відносно дешева та надійна система	Ціна, надійність, простота, підтримка, обслуговування, універсальність
2	Навчання операторів керування системою	Повний функціонал та гнучкість системи	Ціна, надійність, простота, підтримка, обслуговування, універсальність

Висновки: в результаті оцінки маркетингової концепції є можливість створити дві цільові аудиторії для подальшого створення рекламних кампаній.

Розробимо трирівневу маркетингову модель товару (табл. 4.19).

Таблиця 4.19 Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
I. Товар за задумом	Засіб дає можливість користувачеві швидко отримати дані для подальшого дослідження та зробити звітність на основі цього. Та є можливість штучної генерації даних для навчання операторів.

Продовження таблиці 4.19

II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	Доступність	онлайн	Тх
	Швидкість роботи	від об'єму роботи	Тх
	Точність	0,1° СКВ	Тх
	Надійність	IP67	Е
	Вартість	20	
	Якість: сертифікати відповідності якості ISO, сертифікація ІЕЕЕ.		
III. Товар із підкріпленням	Пакування: -		
	Марка: -		
	Додавання нового функціоналу для користувача		
Після оформлення підписки отримання нового функціоналу, цілодобова технічна підтримка			
Захист товару проводиться шляхом постійного додавання нового функціоналу та захоплення нових ніш ринку			

Висновки: основними засобами захисту застосунку є постійне оновлення та додавання нового функціоналу для конкурентоспроможного застосунку. Також постійний аналіз та викуп новітніх застосунків для подальшої інтеграції їх у систему.

Наступним кроком визначимо цінові межі (табл. 4.20).

Таблиця 4.20 Визначення меж встановлення ціни

№ п/ п	Рівень цін на товари- замінники	Рівень цін на товари- аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	2350 у.о.	2000 у.о.	10000 у.о.	50-3000 у.о.

Висновки: Для даного товару планується зробити систему послуг для періодичної перевірки стану технічного обладнання системи для користувача, який готовий додатково оплачувати послуги.

Визначимо оптимальну систему збуту, в межах якого будуть прийматися ті чи інші рішення(табл. 4.21).

Таблиця 4.21 Формування системи збуту

№ п/ п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальн а система збуту
1	Одноразовий продаж	Продаж готового до роботи устаткування	Нульового рівня	Безпосеред ній (прямий)
2	Підписка	Оформлення підписки для періодичної перевірки технічного стану та ремонт за потреби	Нульового рівня	Безпосеред ній (прямий)

Висновки: Ефективною вважається система по оформлені підписки, яка допоможе отримувати кошти регулярно та більш гнучкі для самого користувача. Через що виникає відносини він-він де кожен обирає той рівень підписки, якій йому потрібен.

Таблиця 4.22 Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Обставини змушують клієнта шукати швидкі способи контролю акваторії	Реклама SMM	Висока швидкість роботи Легкість Надійність Зручність Функціональність	Показати швидкість оцінки результатів	Показ зручності та можливості роботи з отриманими даними

Висновки: Маркетинг проходить через різні канали розміщення рекламних об'яв, а саме Facebook Ads, Google Ads, TikTok, LinkedIn. Цільова аудиторія повинна побачити швидкість та можливості системи менше ніж за 15 секунд.

4.6. Розроблення бізнес-моделі стартап-проекту

Бізнес-модель стартап-проекту поділено на декілько пунктів, а саме: ключові партнери, ключова діяльність, ключові ресурси, ціннісна пропозиція, відносини з клієнтами, канали, сегменти користувачів, структура витрат, джерела доходів[2].

Таблиця 4.22 Бізнес-модель стартап-проекту

Ключові партнери стартап-проекту є компанії по розробці хмарних сховищ для зберігання та швидшого оброблення даних. Наприклад: Amazon Web Service, Google Cloud і т.д. Від цього партнерства можна зменшити кількість витрат на сервері та збільшити кількість ресурсів самого сервера. Для партнера вигідно з нами працювати для подальшого захоплення ринку дата аналітики та оплата за предоставлені послуги.

Ключові види діяльності стартап-проекту є створення системи по контролю та дослідження акваторій, яка да змогу швидко отримати сирі дані сигналу з вбудованих датчиків для подальшої їх обробки, а також розвиток ефективного визначення стану та рельєфу водного середовища. Канали продажу є email розсилки та приватні зустрічі з CEO підприємством для подальшої точкової угоди.

Ціннісна пропозиція у стартапі є більш швидке первинне отримання даних ніж у конкурентів, що дозволяє на ранніх етапах оцінювати стан середовища для подальших дій. А також формувати якісну масштабовдану систему по контролю акваторії з метою уникання втручання в неї. Також є пропозиція по підключенню через відкрите API для роботи напряду через софт компанії, це дозволяє швидше інтегрувати систему у екосистему для моніторингу компанії.

Продовження таблиці 4.19

Ключові ресурси є люди, які мають технічну освіту в області обробки сигналів та їх аналізу, а також штат інженерів які здатні спроектувати ефективне обладнання, а також знання мов програмування для автоматизації системи. Також виникає потреба у системах з великим об'ємом оперативної пам'яті для більш швидкої обробки інформації.

Відносини з клієнтами будуються на основі зв'язків та дружніх відносин, адже програма потребує точених рішень для масштабування проекту під кожную окрему компанію, що дає можливість збільшити ціну за послуги. Також для покращення впізнаваності проекту серед спеціалізованого середовища будуть створені спеціалізовані івенти для збільшення кількості клієнтів.

Канали з прямими клієнтами є email спілкування та прямі зустрічі.

Сегменти стартап проекту діляться на дві групи: компанії у яких є потреба у підвищенні якості отримання даних про стан акваторії та підприємства які

використовуватимуть систему як охоронну. Ринок у якому планується розвиватися стартап є нішевим.

Структурою витрат стартап-проекту є високваліфіковані інженери, які можуть проводити масштабування та розвиток як конструкційний так і програмний.

Джерелами доходів є також продаж готових рішення які дозволяють автоматизувати системи контролю, періодичне оплата перевірка технічного стану системи, навчання операторів-новачків .

Висновок: проект націлений на нішеву аудиторію з подальшим обговоренням бажань клієнт по інтеграції системи у інфраструктуру компанії для її збільшення можливостей. Це дозволяє змінювати ціни у залежності від потреб компаній для інтеграції продукту.

Висновки до розділу 4

Даний розділ описує стратегію по створенню стартап-проекту. Для подальшого збуту готового рішення по ефективній системі контролю та дослідженню акваторії, які дозволять підприємству швидко приймати рішення та навчати персонал для подальшого отримання грошей за рахунок зниження витрат. Тому розроблена система та включаючи в неї програмний має кумулятивний ефект для підприємства та може бути продана зацікавленим особам.

Для освітлення ідеї проекту була описана інформація у таблиці 4.1., у якій приведено назву проекту, можливості котрі може використати клієнт та які ризики він несе при використанні даної системи. Також було проведено аналіз слабких та сильних сторін, порівняння продукту не з прямими конкурентами. Проведений аналіз свідчить про відсутність прямих конкурентів у даній ніші. Також сильними сторонами проекту стали швидкість, зручність та інтуїтивно зрозумілий управління системою, що дає максимально понурення клієнта.

Під час технічного аудиту проекту були отримане розуміння кращої технології виконання продукту. Виявлено, що технології вже існують, але не є інтуїтивно зрозумілі та потребує високого рівня розуміння середовища у якому використовуються. Загалом, створення проекту можливо за рахунок приватних пропозиції до компаній для опису можливостей, які вони отримують після оформлення партнерства.

Зважаючи на розвиток технологій та об'єм даних, які наразі повинен обробляти бізнес для роботи. Він потребує у створенні систему яка здатна швидко отримувати данні, які будуть з легкістю оброблені та інтерпретовані.

Розроблена бізнес-модель стартап-проекту що показує вигідність інвестуванню у проект, по причині нишевості проекту та відсутності прямих конкурентів по інтеграції готової систему у екосистеми існуючих компаній.

ВИСНОВКИ

1. В результаті огляду стану проблеми було наведено основні види безпілотних підводних апаратів, їх класифікація, функціональні можливості, режим роботи. Серед усіх БПА можна виділити два великі класи це телекеровані безпілотні підводні апарати та автономні БПА. Більшої актуальності на сьогодні мають автономні апарати, так як сфера їх використання є куди більшої ніж в телекерованих апаратів. Розглянуті основні способи орієнтації та навігації у підводному середовищі. При огляді БПА виявлені проблеми в проектуванні їх руху за складного рельєфу дна та за наявності перешкод. Розглянуті можливі способи руху за таких умов.

2. Аналізуючи особливості руху безпілотного підводного апарату, було визначено основні найскладніші траєкторії для виконання маневру. По закінченню обрання траєкторій, взято дві моделі які будуть виконувати рух по траєкторії. Для проведення моделювання було обране та обґрунтоване програмного середовища для імітаційного моделювання БПА; розроблена методики проведення імітаційного моделювання. Для цього було обране програмне середовище ANSYS, а саме його підпрограму Fluent Flow. По закінченню якого проведене імітаційне моделювання складного руху БПА для різних траєкторій та для обох моделей, визначені гідродинамічні характеристик БПА.

3. Після проведення симуляції складного руху БПА за обраними траєкторіями. Зібрані дані симуляції були відображені для встановлення та аналізу функціональних залежностей гідродинамічних характеристик від параметрів складного руху БПА та геометричних показників моделі. По закінченню аналізу, розроблені рекомендації щодо забезпечення маневреності та сформовані ідеї щодо покращення якості моделювання, шляхом збільшення точності результатів.

4. Далі було проведено розробку стартап-проекту за темою дисертації. Для цих цілей було проаналізовану технологічний аудит ідеї проекту, ринкові

можливості запуску стартап-проекту, ринкова стратегія проекту, а також розроблена маркетингова програма проекту. Після виконання усіх розрахунків, аналізу можливих сфер використання, конкуренції і так далі, можна сказати, що розроблений стартап-проект доцільний для використання.

Отже, підводячи підсумок всієї роботи, можна дійти висновку, що розроблені алгоритми з моделювання є ефективними для проведення та симуляцій руху. Отримані дані можна використовувати для подальшого проектування та конструювання оптимальних для виконання задач БПА.

Список використаної літератури

1. Unmanned Underwater Vehicle (UUV) Market Outlook [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.expertmarketresearch.com/reports/unmanned-underwater-vehicle-uuv-market>
2. Багницкий А.В., Инзарцев А.В. Автоматизация подготовки миссии для автономного необитаемого аппарата в целях обследования акватории // Подводные роботы и робототехника. - 2010. - №10. - с.17-24
3. Types of Unmanned Underwater Vehicles and Unmanned Surface Vehicles [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://bluerobotics.com/types-of-unmanned-underwater-vehicles-and-unmanned-surface-vehicles/>
4. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://oceanexplorer.noaa.gov/facts/rov.html>
5. What is an ROV? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ecagroup.com/en/find-your-eca-solutions/rov>
6. Автономний підводний апарат i3XO EcoMapper [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.demetra5.kiev.ua/ua/catalog/AUV/i3XO_EcoMapper
7. Бочаров Л. Необитаемые подводные аппараты: состояние и общие тенденции развития // Микроробототехника - Электроника. Наука, технология, бизнес. - 2009. - №7. - с.62-93.
8. И. Белоусов. Современные и перспективные необитаемые подводные аппараты ВМС США // Зарубежное военное обозрение №5, 2013. С. 79-88. –Режим доступа:
9. Localisation of Unmanned Underwater Vehicles (UUVs) in Complex and Confined Environments: A Review [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7663020/>
10. Barshan B., Durrant-Whyte HF Інерціальні навігаційні системи для мобільних роботів. 11 :328–342.

11. Motion planning and tracking control of unmanned underwater vehicles: technologies, challenges and prospects [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://intellrobot.com/article/view/5032>
12. Analysis of hydrodynamic characteristics of unmanned underwater vehicle moving close to the sea bottom [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221491471400018X>
13. Autonomous Underwater Vehicle Motion Control during Investigation of Bottom Objects and Hard-to-Reach Areas [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.intechopen.com/chapters/6585>
14. Кисельов Л. Медведєв А. 2009 рік//Типологічні моделі динамічного просторового руху АНПА//Матеріали 6 -го Міжнародного симпозіуму з підводних технологій//Усі, Китай, 120-125.
15. Кисельов Л. Інзарцев А. Матвієнко Ю. Рілов Н. 2007 рік//Актуальні питання навігації та управління при розробці автономних підводних апаратів// Міжнародної конференції з підводних технологій SubSeaTech 2007, 25-28 червня, Санкт-Петербург, Росія, 5-88303-409-8
16. Бурау Н.І. Моделювання динаміки автономного безпілотного підводного апарата за простого руху/ Н.І. Бурау, С.М. Величко, С.О. Гуриненко// Наукові вісті КПП. – 2021. - № 3. – С. 64–73
17. COMSOL Multiphysics® Simulation Software [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.comsol.com/comsol-multiphysics>
18. Simcenter FLOEFD [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/simcenter/floe fd.html>
19. SOLIDWORKS Flow Simulation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.solidworks.com/ru/product/solidworks-flow-simulation>
20. ANSYS [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ansys.com/>
21. ANSYS Fluid Flow [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ansys.com/products/fluids>

- 22.ANSYS Meshing[Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://simutechgroup.com/why-is-meshing-important-for-fea-fluid-simulations/>
- 23.Boundary Condition Modeling. Outlet (Subsonic). [Електронний ресурс]. –
Режим доступу: https://ansyshelp.ansys.com/account/secured?returnurl=/Views/Secured/corp/v195/cfx_mod/CHDIGAAJ.html
- 24.Boundary Condition Modeling.Wall. Mass and Momentum. [Електронний
ресурс]. – Режим доступу: https://ansyshelp.ansys.com/account/secured?returnurl=/Views/Secured/corp/v195/cfx_mod/i1301372.htmlUser
Defended Function [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://www.afs.enea.it/project/neptunius/docs/fluent/html/udf/node4.htm>
- 25.Using Dynamic Meshes [Електронний ресурс]. – Режим
доступу:<https://davis68.github.io/me498cf-fa16/resources/flec09/lab-dynamic-meshing.pdf>
- 26.Технологічний аудит підприємства. [Електронний ресурс] – Режим
доступу до ресурсу: <https://www.interviewbit.com/blog/pandas-vs-numpy/>.
- 27.Макет(канва) бізнес моделі. [Електронний ресурс] - Режим доступу до
ресурсу : <https://www.kiwka.com/maket-kanva-biznes-modeli-pereklad-ukrajinskoyu/>