

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Приладобудівний факультет**

**Кафедра приладів і систем орієнтації і навігації**

«На правах рукопису»  
УДК 004.925.8:519.876.5:699.83

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Н. І., Бурау

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Магістерська дисертація**

**на здобуття ступеня магістра**

**зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»  
(«Комп'ютерно-інтегровані технології та системи навігації і керування»)**

**на тему: «Імітаційне моделювання елемента обшивки корабля в умовах  
динамічних збурень»**

Виконала:

студентка VI курсу, групи ПГ- 71мп  
Товбер Анна Йосипівна \_\_\_\_\_

Керівник:

к.т.н., доцент,  
Цибульник С.О. \_\_\_\_\_

Консультант з Розроблення стартап-проекту:

к.е.н., доцент,  
Бояринова К.О. \_\_\_\_\_

Рецензент: \_\_\_\_\_

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

Студентка \_\_\_\_\_

Київ – 2018 року



## РЕФЕРАТ

Час від часу в світі виникають ситуації, коли корпуси кораблів отримують пошкодження. Якщо в такий момент корабель знаходиться, наприклад, у відкритому океані, існує велика ймовірність того, що мале пошкодження може призвести до значних наслідків. Небезпечним є пошкодження елементів кріплення обшивки корабля, наприклад, зварних швів. На практиці майже неможливо дослідити процеси руйнування елементів обшивки кораблів, особливо під час експлуатації. Але існує велика кількість програмних комплексів інженерного розрахунку, які дозволяють дослідити явища і процеси без необхідності їх фізичної реалізації. Тому доцільно буде заздалегідь провести імітаційне моделювання зварних з'єднань елементів обшивки корабля при дії на них статичних та динамічних збурень.

Популярність теми моніторингу та діагностики об'єктів з використанням сучасних програмних комплексів інженерного розрахунку зростає з кожним днем з ряду причин:

- стає можливим дослідження впливу дефектів, які виникли в процесі виготовлення, або ушкоджень, котрі одержані при транспортуванні та експлуатації на загальний стан об'єкту;
- присутня здатність змінювати механічні характеристики використовуваних матеріалів;
- можна виявити зони ризику та розрахувати умови їх утворення;
- є можливість спостереження поведінки реальної системи в часі з необхідним рівнем детальності за допомогою таблиць або лінійної оптимізації;
- можна змоделювати будь-який хімічний та фізичний процес по заданим параметрам.

Імітаційне моделювання - це метод дослідження, що спрямований на виявлення не тільки реальних, а і ймовірних проблем, при якому досліджуваний об'єкт

замінюється комп'ютерною математичною моделлю, який з достатньою точністю описує реальний об'єкт і виявляє порушення у роботі об'єкта ще до їх появи.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Проведені в дисертації дослідження не пов'язані з науково-дослідними роботами.

**Метою** дисертаційної роботи є визначення впливу зовнішніх (динамічних та статичних) навантажень на елементи обшивки кораблів, з'єднані між собою за допомогою процесу зварювання та при наявності у зварних швах дефектів чи тріщин.

Досягнення мети передбачає вирішення наступних задач:

- провести огляд стану проблеми;
- розглянути варіанти з'єднань елементів конструкції кораблів з алюмінієвих сплавів та легких металів;
- провести огляд можливостей засобів геометричного та імітаційного моделювання;
- провести геометричне моделювання елементів обшивки корабля, з'єднаних між собою за допомогою зварювання;
- провести імітаційне моделювання при наявності дефектів чи пошкоджень елементів конструкції корабля при дії динамічних та статичних навантажень;
- установити вплив дефектів чи пошкоджень на результати імітаційного моделювання.

**Об'єктом дослідження** є процес руйнування зварних з'єднань.

**Предметом дослідження** є реакція з'єднаних між собою елементів обшивки кораблів на зовнішні динамічні та статичні навантаження при наявності у зварних швах дефектів чи пошкоджень.

**Методи дослідження** – геометричне моделювання для створення комп'ютерної моделі та імітаційне моделювання для її дослідження.

**Наукова новизна** дисертації полягає у наступному:

- досліджено вплив динамічних та статичних навантажень на створені геометричні моделі елементів обшивки корабля з різними типами зварних швів за наявності в них пошкоджень у вигляді тріщин;
- визначено вплив вибору типу зварних швів на розподіл навантажень та деформацій по елементу обшивки корабля при відсутності та за наявності тріщин.

**Практичне значення** полягає у створенні геометричних та імітаційних моделей елементів обшивки корабля.

**Апробація результатів** дисертації на конференціях не відбувалася.

**Публікації.** За матеріалами дисертації було опубліковано одну статтю у фаховому виданні України.

**Структура дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку посилань, одного додатку. Загальний обсяг дисертації становить 140 сторінок, 73 малюнків, 27 таблиць, 75 положень переліку посилань.

**ЗВАРНІ ШВИ, ЗВАРНІ З'ЄДНАННЯ, ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ЕЛЕМЕНТ ОБШИВКИ КОРАБЛЯ, САД, САЕ, ANSYS, НАВАНТАЖЕННЯ ВІД ВПЛИВУ ТЕЧІЇ.**

## ABSTRACT

From time to time there are situations in the world, when the corps of ships get a damage. If in such moment a ship is, for example, in a midocean, there is large probability of that a small damage can result in considerable consequences. Dangerous is a damage of elements fastening of edging of ship, for example, of the weld-fabricated guy-sutures.

In practice it is almost impossible to investigate the processes of destruction of elements of edging of ships, especially during exploitation. But there is plenty of programmatic complexes of engineering calculation, that allow to investigate the phenomena and processes without a necessity their physical realization. Therefore expediently it will be in good time to conduct the imitation design of the weld fabricated connections of elements of edging of ship at operating on them static and dynamic indignations.

Popularity of theme of monitoring and diagnostics of objects with the use of modern programmatic complexes of engineering calculation grows with every day for a number of reasons:

- research of influence of defects, that arose up in the process of making, or damages that is got at transporting and exploitation on the general of object, becomes possible;
- it is present ability to change mechanical descriptions of the used materials;
- it is possible to educe risk zones and expect the terms of their formation;
- there is possibility of supervision of behavior of the real system in time with the necessary level of detailed by means of tables or linear optimization;
- it is possible to model any chemical and physical process for preset parameter.

Simulation is a research method aimed at identifying not only real but also probable problems in which the object being studied is replaced by a computer mathematical model that accurately describes the real object and detects disturbances in the work of an object. even before their appearance.

**Communication with the scientific programs, plans, themes.** Research conducted in the dissertation related to research work.

**The aim of the thesis** is to determine the influence of external (dynamic and static) loads on the elements of the shelling of ships, connected together by means of the welding process and in the presence of defects or cracks in the welds.

Achieving the goal involves solving the following tasks:

- to conduct the review of the state of problem;
- to consider the variants of connections of elements of construction of ships from aluminium alloys and easy metals;
- to conduct the review of possibilities of facilities of geometrical and imitation design;
- to conduct the geometrical design of the elements of edging of ship, united inter se by means of welding;
- to conduct an imitation design at presence of defects or damages of elements of construction of ship at the action of the dynamic and static loading;
- to set influence of defects or damages on the results of imitation design.

**The object** of research is the process of destruction of welded joints.

**The subject** of the study is the reaction of interconnected elements of the shelling of ships to external dynamic and static loads in the presence of defects or damage in welds.

**Research methods** - geometric modelling for the creation of a computer model and simulation modelling is for her research.

The scientific novelty of the dissertation is as follows:

- influence of the dynamic and static loading is investigational on the created geometrical models of elements of edging of ship with the different types of the weld-fabricated guy-sutures at presence of in them damages as cracks;
- influence of choice is certain as the weld-fabricated guy-sutures on distribution of loading and deformations on the element of edging of ship in default of and at presence of cracks.

**The practical significance** consists in creation of geometrical and imitation models of elements of edging of ship.

**Testing results** of dissertation did not take place on conferences.

**Publications.** After materials of dissertation one article was published in professional edition of Ukraine.

**Structure of the thesis.** Dissertation work consists of entry, four divisions, conclusions, list of references, one to addition. The general volume of dissertation presents 140 pages, 73 pictures, 27 tables, 75 positions of list of references.

WELDED SEAMS, WELDS, GEOMETRIC MODELING, SIMULATION, SHIP CLADDING ELEMENT, CAD, CAE, ANSYS, STRESS FROM EXPOSURE TO FLOW, STATIC ANALYSIS.



## Зміст

|   |    |
|---|----|
| ВСТУП .....   | 11 |
| 1 ОГЛЯД СТАНУ ПРОБЛЕМИ .....  | 14 |
| 1.1 Зварювання .....  | 15 |
| 1.2 Класифікація кораблів .....   | 19 |
| 1.3 Огляд програмних засобів геометричного та імітаційного моделювання.....                             | 22 |
| 1.4 Геометричне моделювання в системах автоматизованого проектування .....                              | 25 |
| 1.4.1 SolidWorks .....  | 25 |
| 1.4.2 Компас .....  | 26 |
| 1.4.3 AutoCad .....   | 27 |
| 1.5 Системи автоматизації інженерних розрахунків .....  | 28 |
| 1.5.1 FlowVision .....  | 28 |
| 1.5.2 ANSYS .....   | 28 |
| 1.6 Огляд робіт інших авторів .....   | 31 |
| 1.7 Мета та головні завдання роботи.....  | 37 |
| 2 ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕМЕНТА ОБШИВКИ КОРАБЛЯ .....  | 38 |
| 2.1 Геометричне моделювання елементів обшивки корабля .....   | 43 |
| 2.1.1 Створення геометричної моделі пластини.....   | 44 |
| 2.1.2 Створення геометричних моделей зварних швів.....  | 44 |
| 2.1.3 Створення складальної одиниці пластини зі зварним V-подібним швом .....                           | 51 |
| 2.1.4 Створення геометричної моделі двостороннього Y-подібного зварного шва.....                        | 52 |
| 2.1.5 Створення складальної одиниці пластини зі зварним двостороннім Y-<br>подібним швом.....           | 56 |
| Висновки до розділу 2 .....   | 58 |
| 3 ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕМЕНТА ОБШИВКИ КОРАБЛЯ .....   | 59 |
| 3.1 Аналіз навантаження від впливу течії .....  | 64 |
| 3.1.1 Методика побудови розрахункової моделі з тріщиною для розрахунку задачі<br>гідрогазодинаміки..... | 81 |

|   |            |
|---|------------|
| 3.1.2 Статичний аналіз зварного двостороннього Y-подібного зварного шва з тріщиною та без тріщини .....                     | 87         |
| 3.1.3 Динамічний аналіз елемента обшивки корабля з тріщиною та без тріщини на зварному двосторонньому Y-подібному шві ..... | 92         |
| 3.2 Результат імітаційного моделювання елементів обшивки корабля .....  | 94         |
| Висновки до розділу 3 .....   | 105        |
| <b>4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ “ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОШКОДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТА ОБШИВКИ КОРАБЛЯ” .....</b>                    | <b>107</b> |
| 4.1 Опис ідеї проекту .....   | 107        |
| 4.2 Технологічний аудит ідеї проекту .....  | 110        |
| 4.3 Аналіз ринкових можливостей.....  | 112        |
| 4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту .....  | 123        |
| 4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....   | 126        |
| Висновки до розділу 4 .....   | 129        |
| <b>ВИСНОВКИ .....</b>   | <b>131</b> |
| <b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....</b>   | <b>133</b> |

## ВСТУП

Велика частина зварних з'єднань в суднобудуванні відноситься до виготовлення секцій - зварювання полотнищ, приварка ребер жорсткості, стикування секцій. У зв'язку з цим зварювальні процеси постійно вдосконалюються, використовуються останні розробки, що, безумовно, прискорюють хід справи [1].

Для зварювання полотнищ, приварювання набору переважно використовується зварювання під флюсом. Приварення набору здійснюють суцільним або порошковим дротом, а також високопродуктивними штучними електродами. При виробництві секцій використовується зварювання у всіх просторових положеннях. Завдяки високому рівню наплавлення і відмінним зварно-технологічним властивостям, широке застосування отримав рутіловий порошковий дріт. Найбільш часто в суднобудуванні застосовуються зварювальні процеси: SMAW (ручна дугова зварка), FCAW (напівавтоматичне зварювання порошковим дротом) і SAW (зварювання автоматом під флюсом). Зазвичай корпус кораблів роблять з вуглецево-марганцевої сталі, товщиною 8-50 мм [1].

Зварювальні роботи в суднобудуванні визначають значну частину витрат і час виробництва. Цим обумовлено постійне прагнення до вдосконалення зварювальних процесів, використанню максимально ефективних зварювальних матеріалів і високотехнологічного зварювального обладнання.

У процесі виготовлення зварного з'єднання в металі шва і біля шовної зони можуть бути отримані зварювальні дефекти, тобто відхилення від встановлених норм і технічних вимог до розмірів, формою і властивостями зварних з'єднань, які зменшують міцність і експлуатаційну надійність і можуть привести до руйнування зварного з'єднання та цілком очевидно і всієї зварної конструкції [2].

Дефекти призводять до ослаблення міцності виробів і їх руйнування в процесі експлуатації. Через проникності швів порушується герметичність судин і систем, що працюють під тиском. Основними причинами руйнування зварного шва можуть бути корозія, ерозія та механічні пошкодження, при зіткненні зі сторонніми предметами

(об'єктами). Наслідком можуть бути розриви, пробоїни та злам корпусу корабля. Розрив – руйнування, при якому конструкція корпусу судна виявляється розділеною на частини. Пробоїни – це місцеві руйнування обшивки. Злам корпусу - залишкова деформація, що характеризується зміною пружної лінії корпусу, виникає при руйнуванні і втрати стійкості поздовжніх зв'язків [2].

Після завершення зварювальних робіт, вироби повинні піддаватися контролю зварних з'єднань з метою виявлення та виправлення дефектів. Неозброєним оком можна розглянути лише частину з них - великі зовнішні тріщини і пори, непровари, підрізи і т.п. Велика частина дефектів прихована в глибині металу або має такі малі розміри, що виявити їх можна тільки з використанням спеціальних приладів і матеріалів.

Існує багато способів контролю зварних швів, що розрізняються за принципом дії, здатності до виявлення тих чи інших видів дефектів, технічним оснащенням. Методи контролю зварних з'єднань поділяються на руйнівні і неруйнівні. Останні, в силу зрозумілих причин, є найбільш широко використовуваними [3].

Вплив усіх вище перерахованих недоліків зварних з'єднань можна завчасно дослідити за допомогою імітаційного моделювання, яке є потужним інструментом наукових досліджень.

Імітаційне моделювання є потужним інструментом дослідження поведінки реальних систем. Методи імітаційного моделювання дозволяють зібрати необхідну інформацію про поведінку системи шляхом створення її математичної моделі і подальшого імітаційного експерименту. Ця інформація використовується потім для проектування системи.

Сучасне імітаційне моделювання застосовується в основному для дослідження ситуацій і систем, які можна описати як системи масового обслуговування. Це не обмежує застосування імітаційного моделювання, оскільки на практиці будь-яку ситуацію дослідження операцій або прийняття рішень можна в тій чи іншій мірі розглядати як систему масового обслуговування. З цієї причини [4] методи імітаційного моделювання знаходять широке застосування в задачах, що виникають в

процесі створення систем масового обслуговування, систем зв'язку; в економічних і комерційних завданнях, включаючи оцінки поведінки споживача, визначення цін, економічне прогнозування діяльності фірм; в соціальних і соціально-психометричних завданнях; в задачах аналізу військових стратегій і тактик; в задачах дорожнього руху, логістики, динаміці екосистем, соціальних мереж і в суднобудуванні [5].

## РОЗДІЛ 1

### ОГЛЯД СТАНУ ПРОБЛЕМИ

У кожного об'єкта є свій термін експлуатації, за час якого гарантована надійність конструкції. Після закінчення цього терміну, велика імовірність руйнування конструкції. Але об'єкти можуть руйнуватися не тільки після закінчення нормованого терміну експлуатації. Наслідками передчасного руйнування можуть бути значні матеріальні затрати та людські життя. Щоб цього уникнути, потрібно попередити розвиток дефектів та пошкоджень [6].

Початковою стадією руйнування конструктивних елементів будь-якої конструкції або споруди є пошкодження. Причинами їх появи можуть бути, наприклад, зовнішні природні та техногенні впливи, внутрішні фактори, прояви дефектів, допущених при проектуванні, недоліки та порушення правил експлуатації [7]. Зовнішньою ознакою руйнування є тріщини. Тріщини можуть з'явитися внаслідок багатьох причин та мати різні наслідки, які залежать від комбінації зовнішніх та внутрішніх навантажень. Розкриття тріщини в елементах конструкції корабля може відбуватися різними шляхами. Це особливо актуально в умовах експлуатації кораблів, коли тріщина, або дефект зварного з'єднання може привести до пробіи або зламу корпусу судна. Тому завдання дослідження пластини обшивки корабля до її експлуатації є важливим та актуальним.

При роботі з корпусами з алюмінію чи сталі зварка є одним з методів з'єднання. М'яка сталь є зварювальним матеріалом, а зварне з'єднання може забезпечити оптимальну корозійну стійкість, міцність і економічність виготовлення. Однак необхідно пам'ятати, що будь-який метал, включаючи нержавіючі сталі, може зазнавати певних змін під час зварювання. Тому необхідно проявити розумну ступінь обережності під час зварювання. Це дозволить звести до мінімуму будь-які шкідливі ефекти, які можуть виникнути, а також зберегти ту ж ступінь корозійної стійкості і міцності в зоні зварювання (яка є невід'ємною частиною основного металу) [8].

Окрім сталі у суднобудівній промисловості зростає використання високоміцних алюмінієвих сплавів, особливо для проектування і будівництва військових кораблів, надводних кораблів, бойових кораблів і швидкісних пасажирських суден. У даний час використовуються різні методи зварювання для виготовлення алюмінієвих конструкцій суден, а саме: газове зварювання, лазерне зварювання і зварювання тертям з перемішуванням (FSW), але найбільше переваг, для будівництва алюмінієвих конструкцій, має технологія FSW [7]. Якщо не дотримується режим зварювання, міцність конструкції зменшується.

## 1.1 Зварювання

У суднобудуванні існують два основних способи з'єднання деталей корпусних конструкцій: зварні і заклепкові. Оскільки процес зварювання є основним методом з'єднання в суднобудуванні, а заклепкові з'єднання застосовуються лише в окремих конструкціях корпусів, то розглянемо саме цей спосіб.

Зварювання - економічно вигідний, високопродуктивний і в значній мірі механізований технологічний процес, широко застосовуваний практично у всіх галузях промисловості (у тому числі у суднобудуванні) [9]. За допомогою зварювання здійснюється виробництво суден, турбін, котлів, літаків, мостів, реакторів та інших необхідних конструкцій. У суднобудуванні з самого його зародження до наших днів конструктори і проектувальники прагнуть зменшити масу корпусу судів. Вирішальну роль у цьому зіграло електрозварювання. Завдяки його застосуванню маса корпусів суден зменшилася на 15-20%, а в окремих випадках і на 30%. Крім того, зменшилися і терміни будівництва суден.

Впровадження електрозварювання дозволило:

- 1) знизити на 50% вартість будівництва судна і різко скоротити його строки завдяки спрощенню технології складання і зварювання корпусних конструкцій;
- 2) зменшити вагу зварних конструкцій корпусу приблизно на 20%;
- 3) поліпшити непроникність корпусних з'єднань;

4) скоротити операції виготовлення деталей корпусу в корпусообробних цехах і, як наслідок, знизити вартість обладнання на суднобудівних заводах;

5) різко зменшити шум при судокорпусних роботах у зв'язку з обмеженням застосування kleпальних робіт і різкого скорочення карбування.

Типи зварних з'єднань, які застосовуються в суднобудуванні, показані на (рис. 1.1).

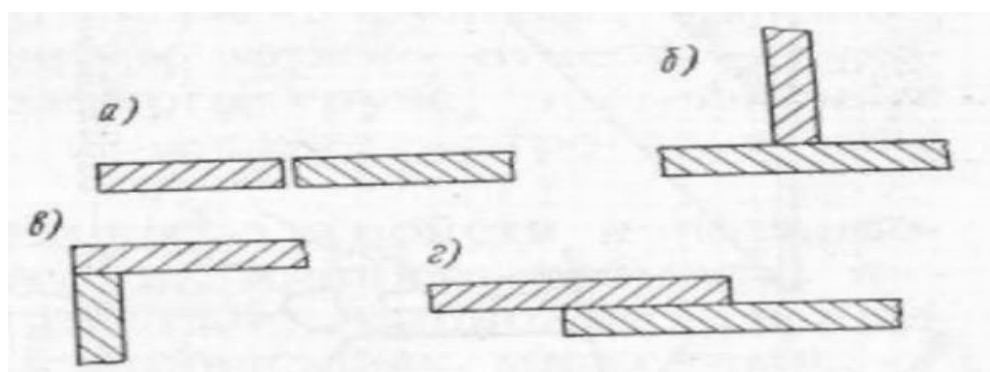


Рисунок 1.1 - Типи основних зварних з'єднань: а - встик; б - таврові; в - кутові; г - з'єднання внахлест

Зварні шви, крім того, класифікують в залежності від способу виконання і калібру шва (рис. 1.2).

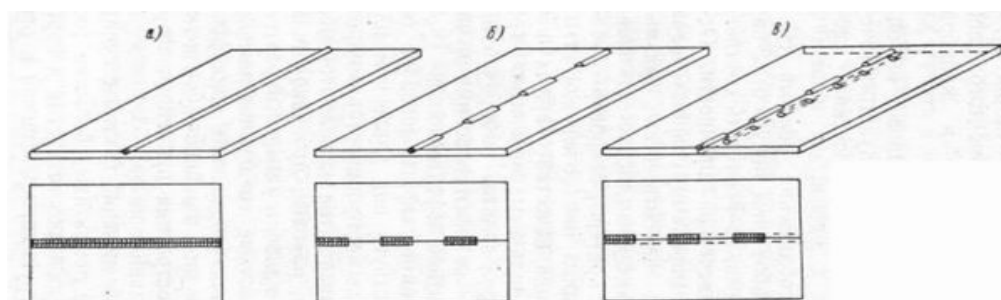


Рисунок 1.2 - Класифікація зварного шва в залежності від способу виконання: а - суцільний; б - переривчастий; в – шаховий

Електрозварний шов виконується ручним, напівавтоматичним або автоматичним способом. Випробування зварних швів на щільність може проводитися



водяним струменем під тиском або промазуванням швів гасом, який легко проникає в мікрометричні тріщини і залишає жирні плями на вкритому крейдовим розчином зворотному боці шва; продувкою шва повітрям (на зворотну сторону шва наноситься мильний розчин) і т. д. [10].

У сучасному суднобудуванні знайшли практичне застосування різні методи зварки. Корпус великого корабля може містити зварні шви загальною довжиною до 10 км.

При дотриманні режиму зварювальних робіт шви виходять якісними, їх міцність відповідає розрахунковій міцності. Але бувають випадки коли зварні шви не відповідають розмірам заданого шва, з'являється пористість шва, тріщини, кратери, непровар основного металу або його перевитрата і т.д. Всі ці дефекти можуть призвести до руйнування всієї конструкції.

Отже, дефект – це відхилення від норм, передбачених ГОСТ, технічними умовами і кресленнями проектів. Дефекти при зварюванні плавленням утворюються внаслідок порушення вимог нормативних документів до зварювальних матеріалів, підготовці, складанні і зварюванні з'єднуються, термічної і механічної обробки зварених з'єднань і конструкції в цілому.

Тріщини - дефект зварного з'єднання у вигляді не суцільності викликана місцевим розривом шва, який може виникнути в результаті охолодження або дії навантажень. Це найнебезпечніші дефекти зварного з'єднання, часто призводять до його руйнування. Спочатку тріщини утворюються з дуже малим розкриттям, але під дією напруги їх поширення може бути порівнянн з швидкістю звуку, в результаті чого відбувається руйнування конструкції.

Причинами утворення тріщин найчастіше є недотримання технології та режимів зварювання. Це може проявлятися, наприклад, в неправильному розташуванні швів в звареної конструкції, що призводить до високої концентрації напружень.

За походженням тріщини поділяються на:

- холодні тріщини;
- гарячі тріщини;

Холодні тріщини виникають при температурах нижче 300°C, тобто відразу після охолодження шва. Причиною появи холодних тріщин є зварювальні напруги, що виникають під час фазових перетворень, що призводять до зниження міцності властивостей металу.

Гарячі тріщини з'являються в процесі кристалізації металу при температурах 1100 - 1300°C внаслідок різкого зниження пластичних властивостей і розвитку розтягуючих деформацій. З'являються гарячі тріщини на кордонах зерен кристалічної решітки.

За розмірами тріщини поділяються на макроскопічні та мікроскопічні.

Макроскопічні тріщини або просто тріщини - видно неозброєним оком або через лупу невеликого (2 – 4 кратного) збільшення при візуальному контролі.

Мікроскопічні тріщини або мікротріщина - тріщина мікроскопічних розмірів, яку виявляють фізичними методами не менше ніж при п'ятдесяти кратному збільшенні [11].

Порами в зварному шві називають порожнини, заповнені газами. Виникають в рідкому металі шва внаслідок інтенсивного газоутворення, при якому не всі газові бульбашки встигають вийти назовні до затвердіння зварного шва. Розміри пор, утворюються в металі, бувають як мікроскопічні, так і досягають декількох міліметрів.

Причини утворення пор в зварних швах наступні:

- низька якість зачистки зварювальних кромок і присадного дроту від забруднень;
- велика швидкість зварювання, при якій гази не встигають вийти назовні;
- підвищений вміст вуглецю в основному металі і присадний матеріал;

Газова порожнина - порожнина довільної форми, без кутів, утворена газами, затриманими в розплавленому металі.

Тверде включення - тверді сторонні речовини металевого чи неметалевого походження в металі зварного шва. Включення, що мають хоча б один гострий кут, називаються гострокутними включеннями.

Несплавлення - відсутність з'єднання між металом зварного шва і основним металом або між окремими валками зварного шва.

Розрізняють несплавлення:

- а) по бічній стороні;
- б) між валиками;
- в) у корені зварного шва;

Непровар - несплавлення основного металу по всій довжині шва або на ділянці, що виникає внаслідок нездатності розплавленого металу проникнути в корінь з'єднання.

Порушення форми - відхилення форми зовнішніх поверхонь зварного шва або геометрії з'єднання від встановленого значення.

Дефекти форми і розмірів зварних швів знижують міцність і погіршують зовнішній вигляд шва. Причини їх виникнення при механізованих способах зварювання - коливання напруги в мережі, прослизання дроту в роликах, неправильний кут нахилу електрода.

Інші дефекти - всі дефекти, які не можуть бути включені до груп 1 – 5.

Бризки металу - краплі наплавленого металу, що утворилися під час зварювання і прилипли до поверхні затверділого металу зварного шва або біля зони шва основного металу.

## **1.2 Класифікація кораблів**

Кораблі і морські судна - одні з найперших винаходів людства, історія яких налічує більше п'яти тисяч років. Відповідно до прийнятої термінології [11], кораблями прийнято називати військові великогабаритні плавальні засоби, судами - пасажирські, промислові та вантажні.

Існує декілька визначень терміну корабель.

Корабель - велике морське судно, у тому числі [12]:

1. Бойова і організаційна одиниця Збройних Сил держави, що входить до складу військово-морського флоту Збройних Сил, здатна вирішувати певні бойові або спеціальні завдання в мирний і воєнний час; має державний прапор і озброєння.

2. Багатощоглове вітрильне судно з прямими вітрилами.

Судно - плавуча споруда, призначена для транспортних, промислових, військових, наукових, спортивних та інших цілей. Судно може бути як самохідним, так і несамохідним. До судна відносяться не тільки кораблі, катери, яхти і несамохідні баржі, але і байдарки, плоти, надувні човни, дошки для серфінгу. У військово-морських флотах всі збройні самохідні судна (підводні човни, ракетні катери та інші) називаються кораблями.

Усі судна поділяються на транспортні, промислові, службово-допоміжні і судна технічного флоту [13]. Вантажні судна поділяються на два класи - суховантажні і наливні. Найвідоміші види кораблів і морських суден це вітрильники, пароплави, пасажирські лайнери, танкери, крейсери, лінкори, есмінці, авіаносці, підводні човни, яхти і катери.

Вітрильники - кораблі та морські судна, які приводяться в рух енергією вітру за допомогою встановлених вітрил. Залежно від розмірів на вітрильниках встановлюється від 1 до 7 щогл. Важливими характеристиками якостей вітрильних суден є загальна площа вітрил і положення точки докладання зусиль впливу вітру.

Пасажирські судна - судна для перевезення пасажирів і їх багажу, що мають каюти і спеціальні приміщення. Найчастіше, пасажирські судна являються вантажопасажирськими, обладнаними для одночасного перевезення вантажів і пасажирів.

Вантажні судна - плавучі споруди для виконання господарських завдань. Найбільш поширена форма вантажних суден - танкер - служить для перевезення рідких вантажів наливом. Як правило, танкери перевозять сиру нафту і продукти її переробки, зріджені гази, харчові продукти, хімікалії, розплавлену сірку, асфальт, прісну воду.

Крейсери, лінкори і есмінці - бойові надводні кораблі, призначені для боротьби з легкими силами флоту противника, оборони з'єднань бойових кораблів і конвоїв, забезпечення висадки морських десантів, вогневої підтримки приморських флангів сухопутних військ, постановки мінних загороджень і виконання інших бойових завдань.

Авіаносці - бойові надводні кораблі, основною ударною силою яких є палубні літаки і вертольоти. Як правило, авіаносці обладнані засобами для зльоту і посадки літаків; мають ангари, а також підйомники для доставки літаків на палубу. Надбудови авіаносця зміщені до правого борту, що дозволяє використовувати всю його довжину для розгону і гальмування літального апарату [11].

Прийнято всі судна і кораблі класифікувати за основними ознаками. При цьому розрізняють судна [13]:

- 1) по засобу руху - самохідні і несамохідні;
- 2) за способом руху - плаваючі над водою, на поверхні води, під водою;
- 3) за станом корпусу - з жорстким корпусом, з еластичним корпусом і з надувним корпусом;
- 4) за основним матеріалом корпусу - сталеві, з легких металевих сплавів, пластмасові, дерев'яні, залізобетонні, з еластичних матеріалів і композитні;
- 5) за спеціальним призначенням - цивільні судна і військові кораблі.

У сучасному суднобудуванні зварювання тертям з перемішуванням широко застосовується для зварювання наступних компонентів [14]:

- палубних панелей, панелей бічних стінок, перегородок і міжповерхових перекриттів;
- алюмінієвих профілів;
- корпусу і надбудови;
- вертолітних майданчиків;
- військово-морського транспортного флоту;
- щогл вітрильних суден;
- рефрижераторних установок;

- нафтових платформ;

Основними причинами руйнування зварних швів у кораблів можуть бути корозія та механічні пошкодження, при зіткненні зі сторонніми предметами чи об'єктами. Наслідком можуть бути розриви, пробоїни та злам корпусу корабля, що в свою чергу може призвести до матеріальних чи людських втрат. Розрив – руйнування, при якому конструкція корпусу судна виявляється розділеною на частини. Пробоїни – це місцеві руйнування обшивки. Злам корпусу - залишкова деформація, що характеризується зміною пружної лінії корпусу, виникає при руйнуванні і втраті стійкості поздовжніх зв'язків [15].

Вплив усіх вище перерахованих недоліків можна завчасно дослідити за допомогою геометричного та імітаційного моделювання, яке є потужним інструментом наукових досліджень.

### **1.3 Огляд програмних засобів геометричного та імітаційного моделювання**

Не завжди доцільно проводити експерименти з реальним об'єктом через його крихкість або велику вартість. Для рішення таких проблем застосовується метод моделювання. Найчастіше він використовується в таких наукових областях як: технічне конструювання, будівництво й архітектура, астрономія, фізика, хімія, біологія й суспільні науки [16].

Термін «модель» має безліч смислових значень через велику кількість сфер його використання, тому буде використано тільки деякі з варіантів.

Моделювання – це метод дослідження різних явищ і процесів, вироблення варіантів управлінських рішень. Моделювання ґрунтується на заміщенні реальних об'єктів їх умовними зразками, аналогами. Методом моделювання описуються структура об'єкта (статична модель), процес його функціонування і розвитку (динамічна модель). У моделі відтворюються властивості, зв'язки, тенденції досліджуваних систем і процесів, що дає змогу оцінити їх стан, зробити прогноз,

прийняти обґрунтоване рішення. Форми моделювання різноманітні і залежать від видів структурних моделей та сфери застосування [17].

Основна ознака класифікації – спосіб подання моделі. За цією ознакою розрізняють абстрактні та реальні моделі (рис. 1.3). Основною абстрактною моделлю є уявна, яка відображає ідеальне уявлення людини про навколишній світ, що фіксується у свідомості через думки та образи.

Щоб побудувати об'єкт у формальному вигляді, створюють математичну модель. Математичною називається абстрактна модель, яка відображає систему у вигляді математичних співвідношень, що описують досліджуваний процес або явище [16]. Іншим видом абстрактної моделі є наочна модель, яка відображається графічно, або за допомогою зображень. По способу реалізації наочна модель поділяється на графічну, анімаційну та просторову.

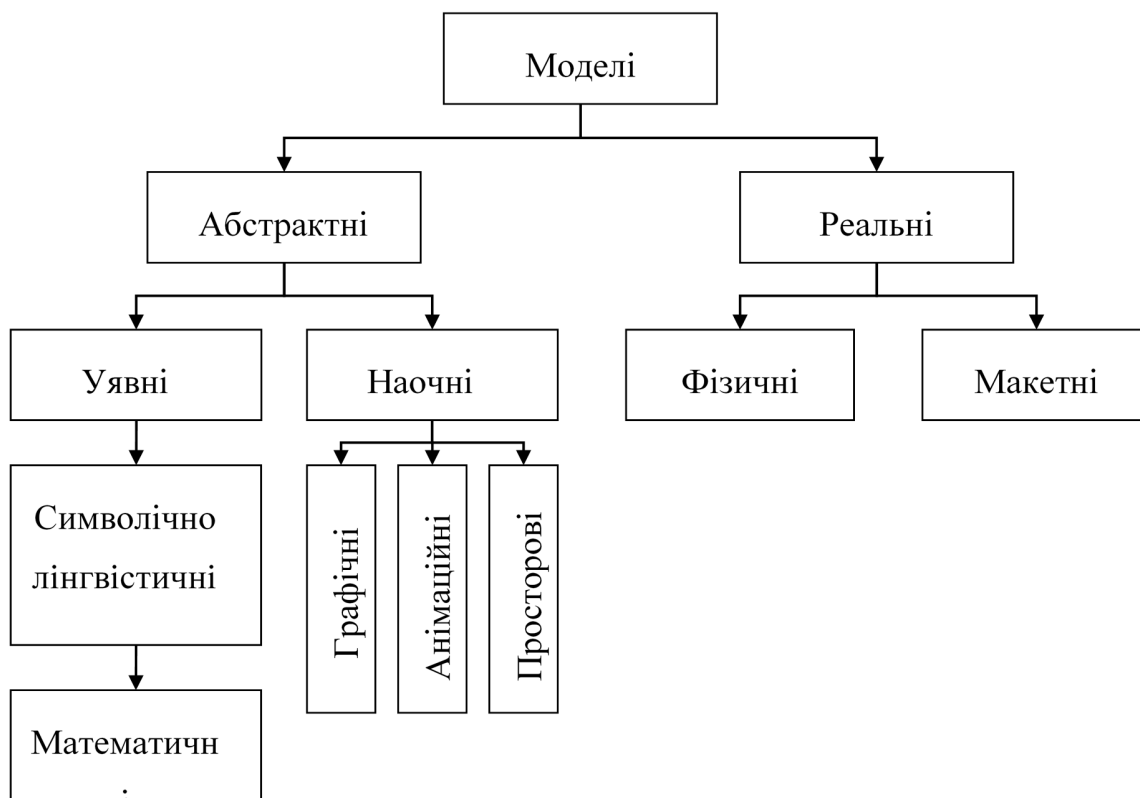


Рисунок 1.3 – Основні типи моделей

Інший вид моделей – реальні моделі, які на відміну від абстрактних існують у природі, оскільки в них хоча б один компонент є фізичною копією реального об'єкту. Реальні моделі поділяються на фізичні та макетні моделі.

Фізична модель представляє собою об'єкт або його частину, який повністю відповідає геометричними та фізичними властивостями оригіналу та дає змогу отримувати високу точність і достовірність результатів дослідження.

Макетні моделі — це реально існуючі моделі, що відтворюють модельовані системи у деякому масштабі. Параметри моделі та оригіналу відрізняються між собою, а числове значення цієї різниці називається масштабом моделювання або коефіцієнтом подібності.

Під моделюванням будемо розуміти процес побудови, вивчення й застосування моделей. Повна класифікація можливих видів моделювання досить важка через багатозначність терміну «модель». Широко відомими видами моделювання є комп'ютерне, математичне, фізичне й статистичне [18, 19].

Метод фізичного моделювання полягає у створенні лабораторної макетної моделі явища у зменшеному масштабі і проведення експериментів на цій моделі. Висновки і результати, одержані на моделі розповсюджуються на явище у реальних масштабах. Метод може дати надійні результати тільки у випадку наявності фізичної подібності реального явища і моделі. Подібність досягається за рахунок рівності для моделі і реального явища значень критеріїв подібності — безрозмірних чисел, що залежать від фізичних (у тому числі геометричних) параметрів, що характеризують явище. Експериментальні дані одержані на моделі розповсюджуються на реальний об'єкт з урахуванням критеріїв подібності (на практиці — з урахуванням певних коефіцієнтів) [20].

Статистичне моделювання являє собою дослідження будь-яких характеристик моделі за допомогою вирішення математичних задач. Сутність методу зводиться до створення деякого середовища, яке імітує взаємодію між випадковими вхідними даними та впливом навколишнього середовища, в якому перебуває модель



дослідження. Реалізація цього дослідження досягається за допомогою використання програмно-технічних засобів.

В основу методу математичного моделювання покладено ідентичність форми рівнянь і однозначність співвідношень між змінними в рівняннях оригіналу і моделі, тобто, їхню аналогію. Математичні моделі досліджуються, як правило, за допомогою аналогових обчислювальних машин, цифрових обчислювальних машин, комп'ютерів.

Комп'ютерне геометричне та імітаційне моделювання проводиться за допомогою так званих систем автоматизованого проектування (САПР) – автоматизованих систем, що реалізують інформаційну технологію виконання функцій проектування, являють собою організаційно-технічні системи, призначені для автоматизації процесу проектування, які складаються з персоналу та комплексу технічних, програмних і інших засобів автоматизації його діяльності [16, 21-23].

Розглянемо більш детально програмні засоби для побудови комп'ютерних моделей (CAD-системи, англ. computer-aided design) і їхнього аналізу (CAE-системи, англ. computer-aided engineering), які є складовими одиницями САПР [16].

## **1.4 Геометричне моделювання в системах автоматизованого проектування**

### **1.4.1 SolidWorks**

Програмний комплекс (ПК) SolidWorks призначений для автоматизації робіт промислового підприємства на етапах конструкторської й технологічної підготовки виробництва виробів будь-якого ступеня складності й призначення. Спеціалізовані модулі програмного комплексу вирішують завдання на етапі виробництва й експлуатації [24, 25].

У SolidWorks використовується принцип тривимірного твердотілого і поверхневого параметричного проектування, що дозволяє конструктору створювати об'ємні деталі і компонувати збірки у вигляді тривимірних електронних моделей, за якими створюються двомірні креслення і специфікації відповідно до вимог ЄСКД.

Тривимірне моделювання виробів дає масу переваг перед традиційним двовимірним проектуванням, наприклад, виключення помилок збирання виробу ще на етапі проектування. За допомогою програми SolidWorks можна побачити майбутній виріб з усіх боків в об'ємі і надати йому реалістичне відображення відповідно до обраного матеріалу для попередньої оцінки дизайну [26].

ПК SolidWorks включає базові конфігурації SolidWorks Standard, SolidWorks Professional, SolidWorks Premium і ще багато різних модулів.

У SolidWorks є модуль – eDrawings, за допомогою якого можна створювати, переглядати й виводити на друк електронні креслення SolidWorks. Завдяки вбудованій програмі перегляду eDrawings креслення можна відразу ж відкрити для перегляду без використання яких-небудь заздалегідь установлених на комп'ютері CAD-систем або інших засобів перегляду.

### **1.4.2 КОМПАС**

КОМПАС – сімейство систем автоматизованого проектування з можливостями оформлення проектної та конструкторської документації відповідно до стандартів серії ЄСКД і системи проектної документації для будівництва. Ключовою особливістю продукту є використання власного математичного ядра С3D і параметричних технологій.

Програми даного сімейства автоматично генерують асоціативні види тривимірних моделей (у тому числі розрізи, перерізи, місцеві розрізи, місцеві види, види по стрілці, види з розривом). Усі вони асоційовані з моделлю: зміни в моделі призводять до зміни зображення на кресленні.

КОМПАС-3D - система тривимірного проектування, що стала стандартом для тисяч підприємств, завдяки поєднанню простоти освоєння і легкості роботи з потужними функціональними можливостями твердотільного і поверхневого моделювання.

КОМПАС-3D дозволяє [27]:

- забезпечити колективну роботу над проектом;
- уникнути принципових помилок на самих ранніх стадіях проектування; наочно уявити майбутній виріб і перевірити його збирання;
- зробити необхідні розрахунки і оптимізацію конструкції без дорогих натурних випробувань;
- змінювати і модифікувати проект в найкоротші терміни;
- у зв'язці з САМ-системами істотно скоротити час підготовки виробу до виробництва;
- швидко підготувати документацію на виріб.

### 1.4.3 AutoCad

AutoCad (Automated Computer Aided Drafting and Design) - перекладається, як «автоматизоване креслення і проектування за допомогою ЕОМ». Це САД-система, призначена для підготовки технічної документації, що дозволяє будувати креслення практично будь-якої складності. AutoCad розробила американська компанія Autodesk, що є світовим лідером в області розробки САПР [28].

AutoCAD - це система, яка є лідером на ринку систем автоматизованого проектування. Програма є потужним, простим і гнучким інструментом, що дозволяє виконувати найрізноманітніші дизайнерські проекти.

Програма AutoCAD дозволяє швидко і ефективно створювати різні проекти за допомогою потужних систем документації. AutoCAD багаторазово скорочує час на перевірку креслень. Для промислового двомірного проектування, дана програма пропонує найефективніші інструменти. Спеціалізовані, потужні графічні пакети, які створюються на базі даної програми, відмінно підходять для архітекторів і будівельників. Чудовою можливістю для інженера, який працює в програмі AutoCAD, є можливість виведення на друк декількох креслень.

Відмінною особливістю даної програми є вельми зручний інтерфейс, який дозволяє наближати або віддаляти зображення на екрані комп'ютера, використовуючи функції панорамування.

Останні версії даної програми ефективно використовують можливості тривимірного проектування, і дозволяють переглядати моделі з будь-якої точки, перевіряти інтерференцію і експортувати модель для створення анімація, а також отримувати виробничі дані і виробляти технічний аналіз [29-31].

## **1.5 Системи автоматизації інженерних розрахунків**

### **1.5.1 FlowVision**

ПК FlowVision призначений для моделювання тривимірних течій рідини і газу в технічних і природних об'єктах, а також візуалізації цих течій методами комп'ютерної графіки.

ПК для конструкторів, інженерів і технологів, що дозволяє вирішити задачі по газо-гідродинаміці і теплообміну. FlowVision застосовується в кораблебудуванні, атомній енергетиці, авіабудуванні та космонавтиці.

FlowVision дозволяє вирішувати завдання з геометричною моделлю будь-якої складності у вигляді деталі або складальної одиниці, включаючи складні рухомі механізми і тіла зі змінною геометрією. Також FlowVision досліджує пристрої зі складним рухом. Основним завданням FlowVision є чисельне рішення рівнянь обчислювальної гідродинаміки, основним з яких є рівняння Нав'є-Стокса [32].

### **1.5.2 ANSYS**

ANSYS – універсальна програмна система скінчено-елементного аналізу, яка використовується в інженерних розрахунках для вирішення лінійних і нелінійних, стаціонарних і нестаціонарних просторових задач механіки деформованого твердого

тіла, і механіки конструкцій, завдань механіки рідини і газу, теплопередачі і теплообміну, електродинаміки, акустики [33].

Головними перевагами програмних продуктів ANSYS є високий ступінь інтеграції окремих додатків, інтуїтивно зрозумілий інтерфейс і підтримка високопродуктивних обчислень.

Програмні продукти ANSYS можуть бути класифіковані на основі фізичних дисциплін і інженерних додатків, на які вони орієнтовані [34]:

- обчислювальна гідродинаміка;
- механіка деформованого твердого тіла;
- електромагнетизм;
- тепловий аналіз;
- багатодисциплінарний аналіз.

Компанія ANSYS Inc. пропонує кілька програмних продуктів і варіантів ліцензування для ефективного вирішення завдань обчислювальної гідродинаміки.

Програмні модулі та комплектація пакету ANSYS [35]:

Базові комплектації (включають геометричний редактор і сітковий генератор в рамках класичного графічного інтерфейсу, можливість імпорту-експорту формату iges, і відповідні аналітичні можливості, а також оболонка Workbench з модулем DesignSimulation):

ANSYS \ Multiphysics - це основний програмний продукт ANSYS, який включає розрахункові можливості всіх інженерних дисциплін. ANSYS \ Multiphysics фактично підсумовує в собі можливості трьох інших базових комплектцій: ANSYS \ Mechanical - конструкційний (прочностной) і термічний аналіз + ANSYS \ Emag - електромагнітний аналіз + ANSYS / CFX Flo - початковий гідро-газодинамічний аналіз (CFX Flo є мінімально можливим варіантом самостійного продукту CFX).

ANSYS \ Mechanical - повний, включаючи нелінійність, конструкційний (міцний) і термічний аналіз (в порівнянні з Multiphysics виключені гідро-газодинаміки -CFX Flo; і електромагнетизм - Emag).

ANSYS \ Structural - конструкційний (міцнісний) аналіз, включаючи геометрично і фізично нелінійні задачі. У порівнянні з Multiphysics виключені термічний аналіз; гідро-газодинаміка - Flotran / CFX Flo; електромагнетизм - Emag. У порівнянні з Mechanical виключені теплові завдання.

ANSYS \ Professional. Має дві модифікації:

NLS (Non Linear Static / Structural) - нелінійний статичний міцнісний і стаціонарний тепловий аналіз.

NLT (Non Linear Thermal) - лінійний міцнісний аналіз в пружній області і нелінійний тепловий (повний).

ANSYS \ Emag - (тільки) електромагнітні розрахунки.

ANSYS \ DesignSpace - спрощений (самостійний) розрахунковий продукт, орієнтований на конструктора, з інтерфейсом Workbench, базується на розрахункових технологіях ANSYS.

DesignSpace - статична міцність, стійкість по Ейлеру, власні частоти, теплопровідність з підтримкою складальних одиниць.

DesignSpace Structural - статична міцність, стійкість по Ейлеру, власні частоти, теплопровідність тільки для окремих деталей (part).

Залежно від рівня складності завдання і кількості врахованих фізичних дисциплін, для виконання багатодисциплінарних розрахунків можна використовувати як комбінацію з декількох програмних продуктів ANSYS, так і спеціалізований програмний продукт ANSYS AIM.

Для вирішення інженерних завдань і ефективного управління розрахунковими ресурсами компанія ANSYS розробила платформу ANSYS Workbench, яка дозволяє об'єднати завдання обчислювальної гідродинаміки, теплообміну, механіки деформованого твердого тіла і електромагнетизму в один комплексний багатодисциплінарний проект. У платформу також інтегровані всі сучасні технології та інструменти для взаємодії з САД-системами, виправлення дефектної геометрії, створення високоякісних сіток, пре- і постпроцесингу, що значно полегшує роботу фахівця і робить її максимально ефективною. У свою чергу, архітектура ANSYS

Workbench є відкритою, що дозволяє користувачеві інтегрувати власні розробки в розрахункове середовище, тим самим розширюючи його можливості.

Основою високоефективної роботи програмного комплексу є правильний вибір конфігурації апаратної частини. За результатами [36-39] його тестувань можна зробити висновок, що найкращим варіантом при рішенні завдань із великим числом ступенів свободи буде завантаження оброблюваного масиву даних в оперативну пам'ять. У цьому випадку час рішення визначається кількістю ядер, що беруть участь у рахунку, процесора й обсягом оперативної пам'яті. Якщо оперативної пам'яті не досить, навантаження переходить на дискову підсистему, що може значно збільшити час одержання результату.

Таким чином, для зменшення часу розрахунку при роботі із програмним комплексом ANSYS необхідно використовувати робочі станції із багатоядерними процесорами й великим обсягом оперативної пам'яті, а також швидкісну дискову підсистему [16].

Розглянувши функціональні можливості програмних пакетів можна зробити висновок, що найбільшою популярністю серед інженерів користуються універсальні програмні комплекси. Але при цьому вони не володіють можливостями моделювання специфічних завдань. Наприклад, рідко але можна зіткнутися з потребою вирішення завдань по біоінженерії або моделюванням та оптимізацією технологічних процесів об'ємного штампування. Такими можливостями володіють далеко не всі програмні комплекси, навіть «важкого» рівня.

Для подальшого моделювання будуть використовуватися наступні програмні продукти: для геометричного моделювання – SOLIDWORKS, для імітаційного – ANSYS.

## **1.6 Огляд робіт інших авторів**

Кожне наукове дослідження починається з детального ознайомлення, вивчення вже опублікованих літературних джерел. Для кращого розуміння проблемної ситуації

проведено огляд робіт, пов'язаних з темою дисертаційних досліджень: «Дослідження руйнівних процесів у елементах обшивки кораблів».

У роботі [7] експериментально досліджені механічні властивості зварних алюмінієвих сплавів з фрикційним перемішуванням. Випробування міцності сплаву за допомогою дослідної стрічки довжиною близько 7,62 см і діаметром 0,635 см. В якості дослідного матеріалу використовуються алюмінієві сплави 5083 і 5383. Випробуваний зразок включає зварний матеріал з тертям з перемішуванням між однаковими сплавами, різнорідними сплавами, а також незварними (базовими) сплавами. Механічні властивості звичайних алюмінієвих сплавів також тестуються і порівнюються з вище згаданими алюмінієвими сплавами з фрикційним перемішуванням. Отримані дослідні задокументовані разом з тестовою базою даних. Частина цього дослідження була отримана з проекту Комітету з конструкції суден SR-1454 (Paik, 2009) та спільно фінансується його агентствами-членами.

Механічне розташування, є одним з факторів, що впливають на міцність корабля [8]. Цей вплив може бути перевірено механічним випробуванням у зварному шві. Аналіз бази даних результатів тесту дозволить підвищити безпеку і якість стикового з'єднання.

Фрикційне зварювання [40], пов'язане з перемішуванням зварювального матеріалу (FSW - зварювання тертям), є альтернативою методам зварювання MIG (дугове зварювання металів в інертному газі) і TIG (ручне зварювання вольфрамними електродами в середовищі захисного газу – аргону) для сплавів Al. У даній роботі представлені експериментальні результати випробувань статичної напруги на зразках зі сплавів AW-7020M і AW-7020 і їх з'єднань, зварених з використанням методу FSW, виконаного на плоских зразках, відповідно до польських стандартів: PN-EN ISO 4136: 2011 і PN -EN ISO 6892-1: 2010. Також представлені результати випробувань на корозійну стійкість. Випробування проводилися з використанням електрохімічної імпедансної спектроскопії (EIS). Вимірювання EIS проводилося з використанням трьохелектродної системи в замінику середовища морської води (3,5% NaCl - водний розчин). Випробування імпедансу проводилися під



впливом корозії. Амплітуда сигналу напруги складала 10 мВ, а його частотний діапазон - 100 кГц ÷ 0,1 Гц. Для випробувань використовувався атлас 0531 EU and IA. Для випробуваного об'єкта була обрана еквівалентна модель у вигляді замінника електричного кола. Результати випробувань імпедансної спектроскопії представлені у вигляді параметрів, що характеризують корозійний процес, а також на графіках Найквіста разом з теоретичною кривою максимальної відповідності умовам.

Дослідження [41] спрямоване на оцінку втомної характеристики статичного перевантаження і середнього навантаження в зварних з'єднаннях з кутовим швом, яке знаходиться на конструкційній сталі судна. З цією метою був виготовлений невеликий зразок, до якого застосовувалося така ж умова зварювання, як і для фактичної структури судна, для проведення випробувань на втому. У цьому дослідженні було запропоновано метод простої оцінки змін у залишкових напруженнях від зварювання відповідно до різного статичного перевантаження. За допомогою вимірювання фактичної деформації на зварному шві, оцінювали коефіцієнт концентрації напружень зварного шва і властивість, яка визначається перекристалізацією в процесі зварювання.

Елементи конструкції корпусу судна зазвичай з'єднуються зварюванням. Спотворення зварювання можуть викликати безліч проблем під час виробничого процесу. У літературі пропонується широкий спектр пропозицій для правильної оцінки зварювальної деформації, зокрема кутовий, в зварних трійниках. У роботі [42] проводиться перевірка деяких методів, вибраних з літератури, на основі результатів лабораторних вимірювань. Для цього дані, отримані на основі інженерних гіпотез, були порівняні з вище згаданими даними з лабораторних тестів.

У статті [43] представлені результати дослідження впливу полімерної ізоляції трубопроводу зі сталі API 5L X65M, а також параметри підводного мокрого зварювання на властивості сполук, виготовлених покритими електродами. Проаналізовано вплив теплового навантаження на структуру і твердість з'єднань при ремонті підводного трубопроводу. Були ідентифіковані дефекти зварювання, такі як мікротріщини, мікро-недоліки плавлення, шлакові включення, а також збільшення

твердості за прийнятим критерієм прийнятності зварних з'єднань у трубах без антикорозійної полімерної ізоляції. Було виявлено значний вплив ізоляції полімеру на структуру і властивості зварних з'єднань.

На даний момент технологія зварювання широко застосовується при закріпленні з'єднань сталевого корпусу, особливо в суднобудуванні [44]. Ціль технології зварювання - це процес з'єднання зварювального металу з іншим металом (метали повинні стати єдиним цілим). Це означає, що міцність металу, який отримуємо в результаті зварювання повинна бути рівною оригінальному металу. Як правило, не виконання цієї умови є причиною, дефекту отриманого в результаті зварювання. Результат опитування вказує на те, що часто при зварюванні конструкції корпусу виникає проблема, що призводить до появи фракції або тріщини. На корпус діє багато сил, у воді працює сила стискання (гідростатична) і корабель притягує силу на вершині хвилі (провисання) і або в жолобі хвилі (вичавлювання). У дослідженні було перевірено як дефект зварювання впливає на неповне проникнення та пористість, що утворюється при методі SMAW (металева дугова зварка в захисній атмосфері), який базується на оцінці міцності стиків при застосуванні сили до корабля. З результатів видно, що міцність на розривах приймає оптимальне значення при нормальній термічній обробці більше ніж 465,50 МПа, тоді коли вона найменша при обробці 6000°C (не більше ніж 351,23 МПа). У цьому експерименті видно, що зварювальний дефект при неповному проникненні і пористості не надто впливає на міцність зварювального з'єднання. Цей дефект призводить до того, що в основному металі відбувається перелом. Але проведене дослідження лише підтвердило, той факт, що зварювальний дефект повинен бути мінімізованим.

Такі конструкції корпусу судна, як внутрішні донні плити, завжди мають складні навантаження, пов'язані з поздовжнім згинальним і поперечним напруженнями в площині, переданими з бічних пластин судна під тиском води. Крім того, тріщини, які можуть виникнути в зварних з'єднаннях і локальних зонах концентрації напружень, знижують несучу здатність судових пластин, тому дуже важливо оцінити граничну міцність пластин при двухосьовому стисненні. У роботі

[45] фактори, які впливають на кінцеву міцність, досліджуються шляхом проведення серії аналізів скінчених елементів, включаючи довжину і похилий кут тріщини, співвідношення сторін і гнучкість суднових пластин, а також співвідношення поперечного та поздовжнього напружень у площині. На основі чисельних результатів запропонована проста емпірична формула для розрахунку залишкової граничної міцності центральних тріщин корпусних пластин при одновісному стисненні. Згідно з аналізом відносної похибки, отримані результати мають більш високу точність за запропонованою формулою ніж іншими методами.

Процедура зварювання вибухом [46] - це технічне оптимальне рішення для з'єднання частин корабля-оболонки, яке часто використовується в суднобудівній промисловості при перехідному трьохкомпонентному з'єднанні: AlMg4.5-Al-St.52-3. Проведено дослідження механічних та металографічних властивостей з'єднань, підданих термообробці при різних температурах. Отримано результати механічних і металографічних досліджень перехідних з'єднань при підвищених температурах, безпосередньо при їх використанні нижче 300°C.

Для демонстрації можливостей обчислювальної гідродинаміки стосовно завдань суднобудування у роботі [47] розглянуто рішення модельної задачі руху підводного апарата в морському середовищі з метою визначення його буксирувального опору при постійній швидкості ходу. Результати розрахунків: Для вирішення рівнянь Нав'є-Стокса, що описують в'язкі турбулентні течії, використовувався метод скінчених об'ємів, чисельна схема високого порядку для конвективних і в'язких потоків і модель турбулентності SST (Shear-Stress-Transport)  $k-\omega$ , що дозволяє моделювати як безвідривно турбулентні течії, так і течії з розвиненим турбулентним відривом. Завдання вирішувалося в стаціонарній постановці. Для отримання стаціонарного рішення треба було здійснити 100 ітерацій, що відповідає 8.5 годинам роботи центрального процесора. На підставі розрахунків обтікання підводного апарату визначено значення коефіцієнта буксирувального опору  $CR = 0.0031$ . Значення гідродинамічної якості підводного апарату визначається за формулою  $K=(Dg)/R$ , де  $D=1890t$  (водотоннажність судна),  $g=9.8m/c^2$  - прискорення

вільного падіння. Слід підкреслити, що наведені результати розрахунків носять демонстраційний характер.

Для демонстрації можливостей обчислювальної гідродинаміки стосовно завдань суднобудування розглянута модельна задача [43] руху судна у водному середовищі з урахуванням вибудовування хвильової форми поверхні розділу вода/повітря з метою визначення буксирувального опору судна при різній швидкості ходу. Розглянуто задачу моделювання буксирування човна (без двигуна і гвинта) в середовищі вода / повітря з урахуванням хвилеутворення на вільній поверхні розділу. Результати розрахунків: для вирішення усереднених по Рейнольдсу рівнянь Нав'є-Стокса використовувався метод скінчених об'ємів, чисельна схема високого порядку для конвективних і в'язких потоків, k-ε модель турбулентності для замикання рівнянь. Завдання вирішувалося в стаціонарній постановці. Для отримання стаціонарного рішення на одному режимі за швидкістю буксирування потрібно здійснити 500-600 ітерацій, що відповідає 20-25 годинам роботи комп'ютера. Водно-повітряне середовище моделювалася в розрахунку, як рідина і газ, що не стискаються при температурі 18° С, щільність води 1000 кг / м<sup>3</sup>, динамічна в'язкість води 8.899·10<sup>-4</sup> кг / мс, щільність повітря 1.185 кг / м<sup>3</sup>, динамічна в'язкість повітря 1.831с10<sup>-5</sup> кг / мс.

Отже, з даного огляду можна зробити висновок, що в наш час існує багато різних способів зварювання елементів обшивки кораблів. Основними недоліками зварних швів є: невідповідність розмірів шва заданим, пористість шва, тріщини, кратери, непровар основного металу або його перевитрата і т.д. Тому не припиняються дослідження в області зменшення термічних деформацій зварюваних матеріалів, збільшення якості зварних швів та розробки нових сплавів для використання в суднобудуванні. Комп'ютерне моделювання загалом зосереджено навколо дослідження плавучості та покращення динаміки руху кораблів.

Усе це дає змогу сформулювати мету подальших досліджень та задачі для її дослідження.

## 1.7 Мета та головні завдання роботи

Метою роботи є визначення впливу зовнішніх (динамічних та статичних) навантажень на елементи обшивки кораблів, з'єднані між собою за допомогою процесу зварювання та при наявності у зварних швах дефектів чи тріщин.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні завдання:

- провести огляд стану проблеми;
- розглянути варіанти з'єднань елементів конструкції кораблів з алюмінієвих сплавів та легких металів;
- провести огляд засобів геометричного та імітаційного моделювання;
- провести геометричне моделювання елементів обшивки корабля, з'єднаних між собою за допомогою зварювання;
- провести імітаційне моделювання при наявності дефектів чи пошкоджень елементів конструкції корабля при дії динамічних та статичних навантажень;
- установити вплив дефектів чи пошкоджень на результати імітаційного моделювання.

## РОЗДІЛ 2

### ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕМЕНТА ОБШИВКИ КОРАБЛЯ

Теоретичні основи САПР сформувалися в 60-х – початку 70-х років минулого століття. В їх основі [49] - різноманітність математичних моделей абстрактного виробу, в рамках яких об'єкти розглядаються з точки зору різних спеціальностей, застосовуються різні методи отримання параметрів: геометричні, технологічні, теплові, аеродинамічні, ергономічні тощо. Саме різноманітність моделей призвело згодом до класифікації CAD/ CAM/ CAE/ PDM / TDM і до більш глибокої спеціалізації всередині кожного розділу.

Розглянемо більш детальніше CAD - Computer Aided Design, що визначає область геометричного моделювання, важливість якої важко переоцінити, тому що будь-які предмети описуються в першу чергу геометричними параметрами. Сьогоднішнє виробництво неможливо без однозначного уявлення геометрії моделі [50].

Під геометричною моделлю вважатимемо електронний макет, що визначений у ГОСТ як «електронна модель виробу, яка описує його зовнішню форму й розміри, що дозволяє повністю або частково оцінити його взаємодію з елементами виробничого або експлуатаційного оточення, що служить для прийняття рішень при розробці виробу й процесів його виготовлення й використання» [51].

Традиційний спосіб плоского геометричного моделювання полягає у застосуванні лінійки, циркуля і транспортира на креслярській дошці. На конструкторській мові це називається прив'язкою, коли відома інформація наноситься на кальку або пергамент в максимально можливому масштабі. При цьому похибка побудови становить не менше 0.1 мм, а при завданні кутовими значеннями - не менше 1мм на одному метрі. Саме така точність геометричного моделювання на кульмані, забезпечила технічну революцію на межі дев'ятнадцятого - двадцятого століть.

Поява ЕОМ розширила можливості обчислень за методами аналітичної геометрії. Машинна графіка стала новою основою для розвитку геометричного моделювання [52]. До початку 80-х років минулого століття почався бурхливий розвиток плоских САД-систем. Завдяки персональним комп'ютерам впровадження «Електронних кульманів» стало носити масовий характер. AutoCAD, Dragon, CherryCAD досить жваво працювали, забезпечуючи точність геометрії до 0.001 мм в метрових діапазонах. Інженери відразу ж оцінили такі їх переваги, як: автоматизація побудови геометричних елементів, копіювання фрагментів, простота редагування геометричній і текстової інформації, автоматичне штрихування і нанесення розмірів, точність і якість документації, компактність зберігання та ін. Більш того, впровадження комп'ютерного креслення практично не вимагало зміни традиційного підходу до проектування. Це спочатку було сприйнято як найважливіша перевага плоских систем.

Можна виділити дві основні області, де геометричне моделювання, з одного боку, використовується досить широко і ефективно, а з іншого боку, можна говорити про величезні потенційні можливості геометричного моделювання - проектування і наукові дослідження.

Під проектуванням в загальному випадку [53] прийнято розуміти процес отримання опису ще неіснуючого об'єкта, необхідного для його виготовлення в заданих умовах. У процесі проектування вирішуються дві основні задачі - визначення функціонального вигляду проектного об'єкта і визначення його просторового вигляду, для чого і вводиться в розгляд геометрична модель цього об'єкта. Ця геометрична модель, яка визначає просторові форми проектного об'єкта, у процесі проектування може багаторазово піддаватися модифікаціям. Основою цих модифікацій можуть служити естетичні міркування проектувальників, результати обчислення різних метричних характеристик цієї моделі, а також інша інформація.

Остаточний геометричний образ проектного об'єкта зазвичай представляється в наочній графічній формі, у вигляді відповідної креслярської документації. Надалі ця документація використовується при виготовленні

спроєктованого об'єкта. Слід зазначити, що в даний час проектування багатьох об'єктів здійснюється за допомогою електронно обчислюваної машини (ЕОМ). У цьому випадку геометрична модель об'єкта представляється в пам'яті ЕОМ і може бути використана при виготовленні безпосередньо, за допомогою відповідного технологічного обладнання з числовим програмним керуванням. Слід зазначити, що проектування по сьогоднішній день являє собою основну і найбільш плідну область застосування геометричного моделювання [54].

Іншою областю людської діяльності, де геометричне моделювання в даний час грає виключно важливу роль, є наукові дослідження. У наукових дослідженнях, де досліджувані об'єкти складні, роль наочних і ємних геометричних інтерпретацій величезна. Аналізуючи різні галузі наукових досліджень [55], можна зробити висновок про те, що людина звертається до геометричного моделювання при проведенні як теоретичних, так і експериментальних досліджень. Тут, як і при проектуванні, людина може звертатися до геометричного моделювання при вирішенні різноманітних задач аналізу просторових форм окремих складних досліджуваних об'єктів, а також при аналізі топології різних просторових сцен. Поряд з цим, у наукових дослідженнях людина часто звертається до геометричного моделювання при вирішенні задач аналізу різних числових даних. У таких випадках дослідник ставить у відповідність вихідним числовим даними деяку геометричну інтерпретацію, яку потім аналізує, а результати аналізу тлумачить в поняттях вихідних даних [56].

Однак, за останні роки широке поширення отримав інший метод геометричного моделювання з використанням ЕОМ. Цей метод представляє собою розвиток зазначеного раніше графічного методу і заснований на використанні ресурсів машинної графіки. Машинна графіка, під якою прийнято розуміти формування і маніпулювання графічними зображеннями за допомогою ЕОМ, у даний час знаходить застосування в різних автоматизованих системах обробки даних. Це обумовлено відомими перевагами графічної форми подання інформації - наочністю, ємністю і високою швидкістю сприйняття.



Невід'ємним компонентом машинної графіки є її програмне забезпечення [57], під яким розуміється сукупність програмних модулів, призначених для реалізації різних функціональних процедур, пов'язаних з обробкою графічної інформації на ЕОМ. Графічні пристрої вводу/виводу і програмне забезпечення машинної графіки, спільно функціонуючі на базі однієї або декількох, об'єднаних між собою ЕОМ, утворюють графічну систему.

Поняття машинної геометрії є досить широким [58] і означає рішення різноманітних геометричних задач за допомогою ЕОМ, однак при цьому передбачається використання спеціальних, зручних для людини засобів. У цьому випадку для вирішення геометричних задач у розпорядження людини надається спеціальна (геометрична) мова, яка дозволяє при вирішенні таких завдань з використанням ЕОМ оперувати такими поняттями, як геометричний об'єкт, операція над геометричним об'єктом, визначення метричних і позиційних параметрів геометричного об'єкта. Ця мова може бути або мовою програмування, або мовою діалогу. Таким чином, машинна геометрія забезпечує людині можливість при роботі на ЕОМ оперувати безпосередньо геометричними категоріями. Відповідно, метод геометричного моделювання заснований на використанні ресурсів машинної геометрії, передбачає наступний розподіл функцій між комп'ютером і людиною в процесі його реалізації:

- Людина, як і раніше, здійснює геометричну алгоритмізацію.
- ЕОМ обробляє мовні конструкції, представляє результати цієї обробки у відповідній формі.
- Геометричну інтерпретацію отриманих результатів, подальший аналіз цієї інтерпретації і тлумачення його результатів в категоріях вихідної прикладної задачі, як і раніше, виконує людина.

Таким чином, даний метод виключає трудомістку і не завжди зручну для людини числову або графічну інтерпретацію розробленого геометричного алгоритму, що є обов'язковим для аналітичного та графічного методів геометричного моделювання. Ця обставина є дуже важливою і дозволяє класифікувати даний метод,

як метод прямого геометричного моделювання [59], заснований на використанні ЕОМ. Слід зазначити, що для представлення результатів геометричного моделювання в цьому випадку поряд з символною часто використовується природна графічна форма. Для цього застосовуються відповідні засоби машинної графіки.

Для підтримки роботи системи прямого геометричного моделювання створено спеціальні інструментальні засоби - так звані інтегровані системи машинної геометрії та графіки [60]. З точки зору людини ці системи являють собою сукупність функціональних процедур, що забезпечують можливість формувати і перетворювати машинне уявлення геометричних об'єктів, визначати їх різні параметри, а також отримувати необхідні графічні зображення цих об'єктів на тих чи інших графічних терміналах. Ці функціональні процедури реалізуються у вигляді відповідного програмного забезпечення, що взаємодіє в процесі роботи з використовуваними графічними пристроями вводу/виводу.

Основною областю застосування інтегрованих систем машинної геометрії і графіки в даний час є системи автоматизованого проектування [61], у рамках яких вони використовуються для автоматизації виконання конструкторських робіт. За допомогою таких систем здійснюється геометричне моделювання на площині і в тривимірному просторі з метою аналізу і синтезу просторових форм проєктованих виробів. Інтегровані системи машинної геометрії та графіки в автоматизації проєктування приходять на зміну звичайним системам машинної графіки які, як було відзначено вище, служать інструментом для здійснення геометричного моделювання графічним методом.

Інтегрування систем машинної геометрії та графіки в даний час знаходять також застосування в наукових дослідженнях [62]. Прикладом може служити їх використання у вирішенні різноманітних завдань аналізу просторових форм складних фізичних об'єктів. Подібні завдання можуть зустрічатися, наприклад, в кристалографії, фізиці міцності, фізиці захисту і т.д.

Частково роботи в області створення систем машинної графіки, а головним чином роботи, пов'язані з побудовою інтегрованих систем машинної геометрії і

графіки, викликали появу і бурхливий розвиток в останні роки нового напрямку в обчислювальної математики [63]. Предметом обчислювальної геометрії є розробка і дослідження обчислювальних моделей, методів і алгоритмів вирішення різноманітних геометричних задач за допомогою ЕОМ.

Геометричні моделі відіграють дуже важливу роль в моделюванні та проектуванні, адже вони допомагають уявити об'єкт, відтворити його зовнішній вигляд і характерні особливості, зрозуміти, як влаштований конкретний об'єкт, яка його структура, основні властивості, закони розвитку і взаємодії з навколишнім світом навчитися управляти об'єктом, прогнозувати наслідки впливу на об'єкт і т. д. Без попереднього створення креслення неможливо виготовити навіть просту деталь, не кажучи вже про складні механізми. За допомогою геометричної моделі проводиться дослідження різних властивостей, а потім вже відбувається сама побудова. Модель дозволяє навчитися правильно управляти об'єктом, адже можна тестувати різні варіанти управління і дії цього об'єкта на його моделі [64].

## **2.1 Геометричне моделювання елементів обшивки корабля**

Для подальшого дослідження впливу зовнішніх статичних та динамічних навантажень потрібно побудувати геометричну модель елемента обшивки корабля, яка в свою чергу складається з пластини та зварних швів різного конструктивного виконання.

Сталеві обшивки кораблів досить рідкісні. Унаслідок великої об'ємної маси сталі, її використання є доцільним при відносно великих розмірах суден – від 6 м і більше. Такі обшивки будують із звичайної вуглецевої сталі. Товщина зовнішньої обшивки на човні довжиною 6 м складає від 1.2 мм, на катері довжиною більше 12 м – до 3 мм [65].

Скористаємось програмним комплексом SOLIDWORKS для побудови геометричних моделей сталевих елементів обшивки корабля.

### 2.1.1 Створення геометричної моделі пластини

Створимо ескіз пластини (рис. 2.1, а) і витягнемо його на 0.8 мм. Отриманий результат зображено на рис. 2.1, б).

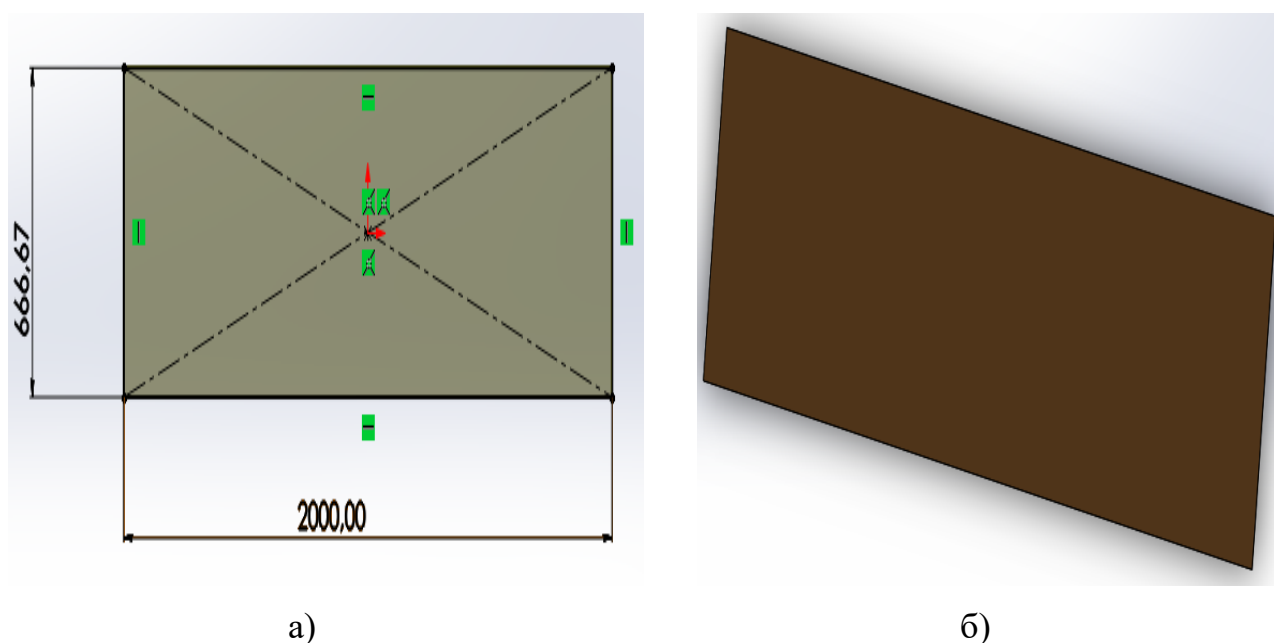
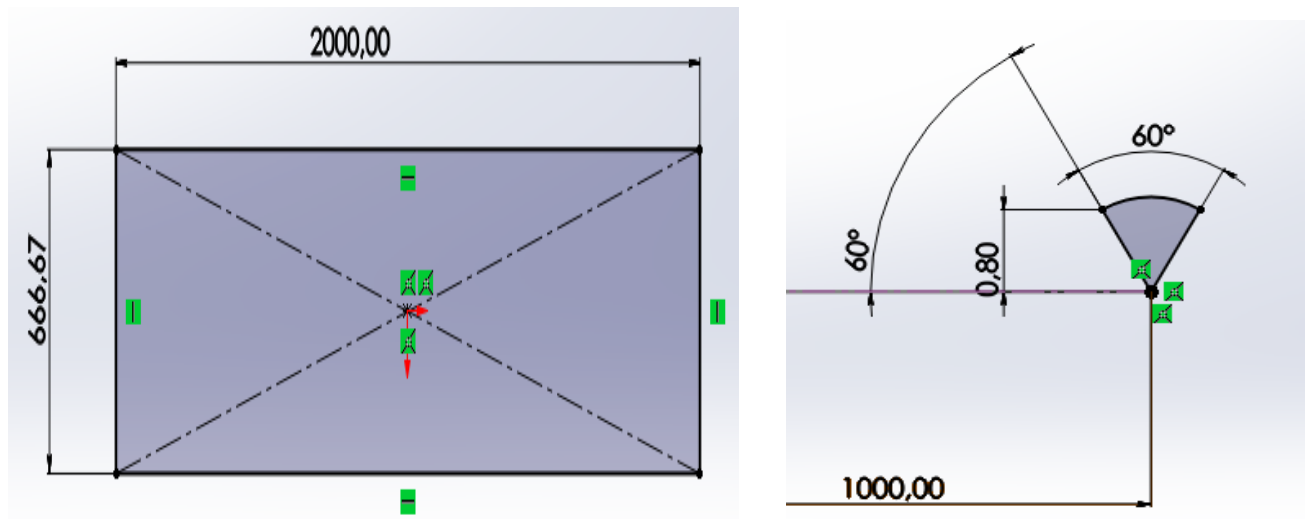


Рисунок 2.1 – Геометрична модель пластини: а) Ескіз; б) Тривимірна модель

### 2.1.2 Створення геометричних моделей зварних швів

Наступний крок – це побудова геометричної моделі зварного шву (V-подібного) навколо пластини. Створимо ескіз пластини у одній площині (рис. 2.2, а). Далі потрібно створити ескіз шва замкнутого профілю. Для цього створимо елемент по траєкторії методом зміщення двовірного профілю по напрямку тримірного ескізу. Отриманий ескіз шва зображений на рис. 2.2, б. За допомогою команди «Бобишка по траєкторії» у менеджері властивостей виберемо ескіз в графічній області для профілю (рис.2.3, а) та відповідно ескіз в графічній області для шляху (рис.2.3, б). Початкова точка напрямку повинна лежати на площині профілю. Кінцевий результат показаний на (рис. 2.4, а, б).

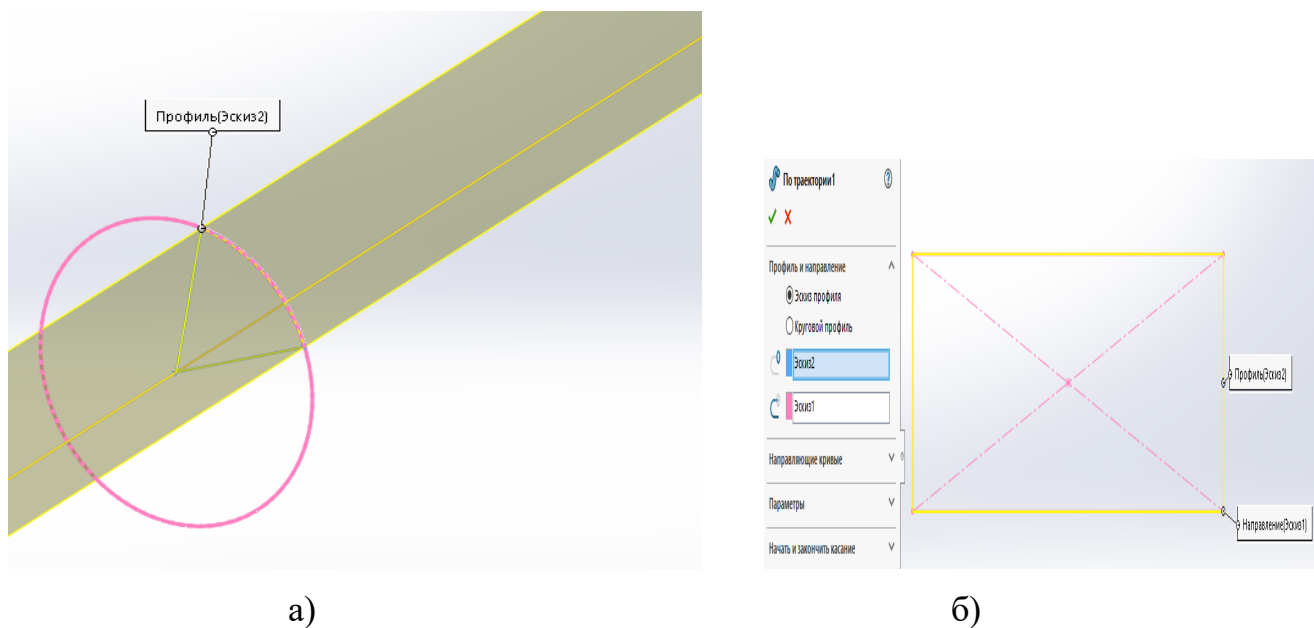


а)

б)

Рисунок 2.2 – Частина зварного V- подібного шву елемента обшивки корабля:

а) Ескіз пластини; б) Ескіз зварного шва



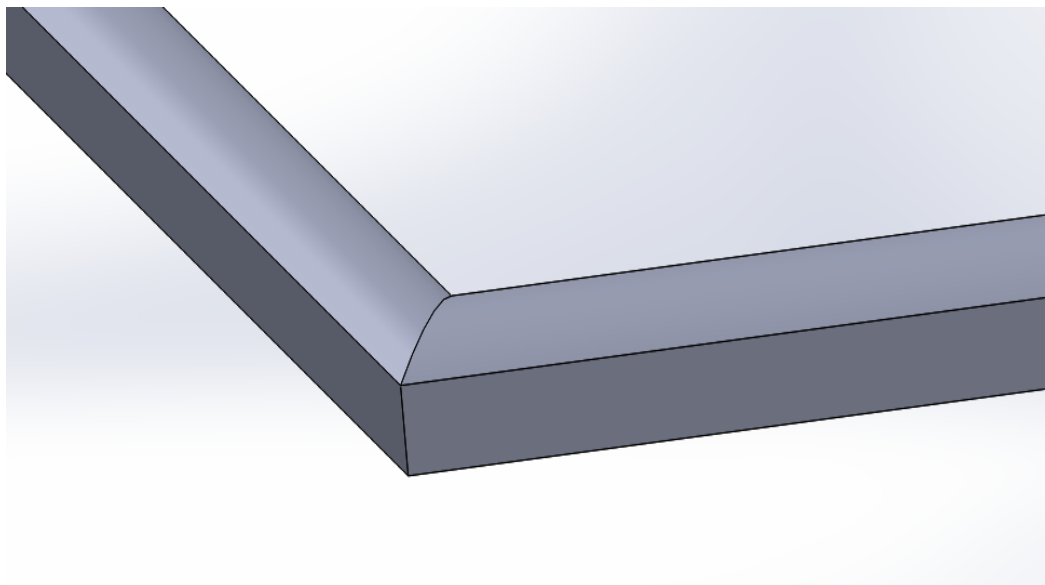
а)

б)

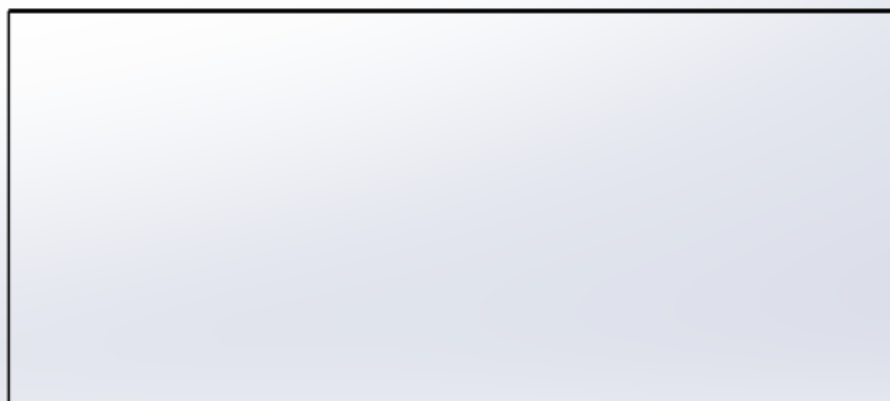
Рисунок 2.3 – Частина зварного V- подібного шву елемента обшивки корабля:

а) Ескіз профіля, що використовується для створення елемента по траєкторії; б)

Побудова зварного шва за допомогою команди «Бобишка по траєкторії»



а)



б)

Рисунок 2.4 – Частина зварного V- подібного шву елемента обшивки корабля:  
а) Тривимірна модель частини зварного шву в збільшеному вигляді для покращення візуалізації; б) Результат побудови зварного шва в масштабі підлаштованому до розмірів екрану

Для подальшого аналізу потрібно створити чотири частини зварного V-подібного шва, котрі з'єднані між собою у формі прямокутника. Побудуємо ескіз чотирьох частин шва (рис.2.5, а), використаємо вже створений ескіз зварного шва (рис.2.2, б) та за допомогою команди «Бобишка по траєкторії» виберемо відповідний ескіз для профілю та для шляху (рис.2.5, б) і одержимо основну частину для зварного шва (рис.2.5, в).

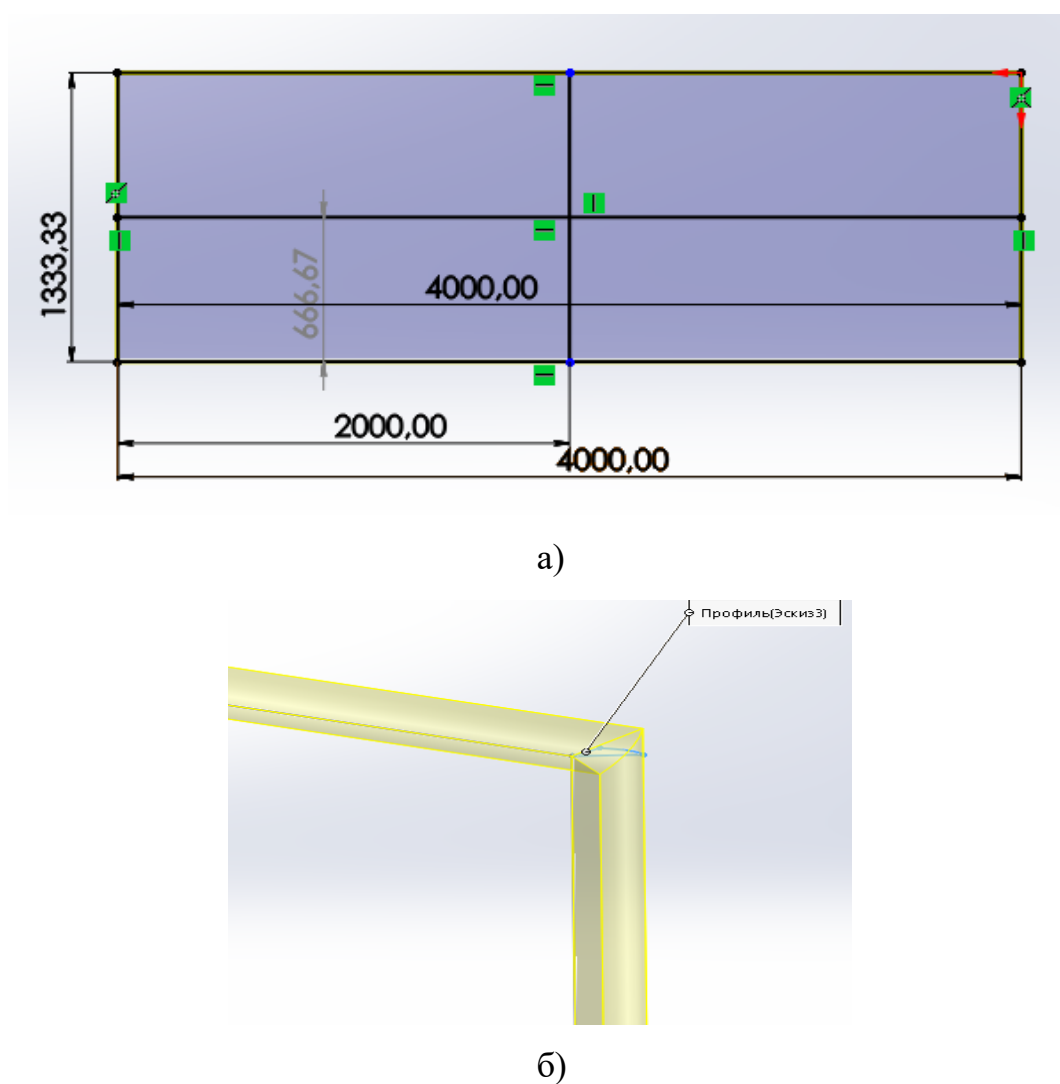
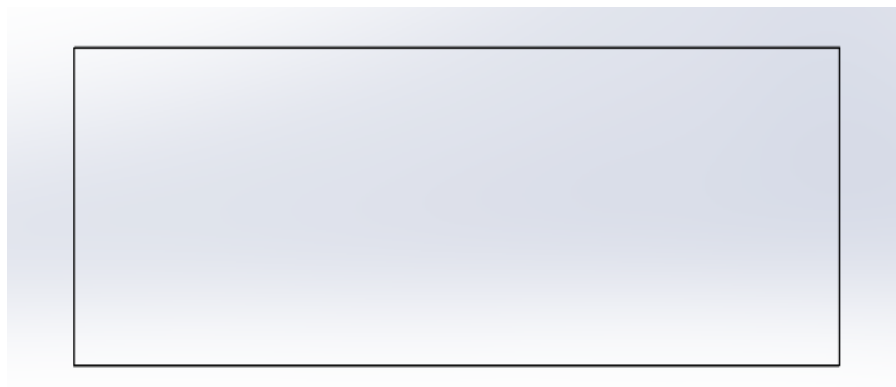


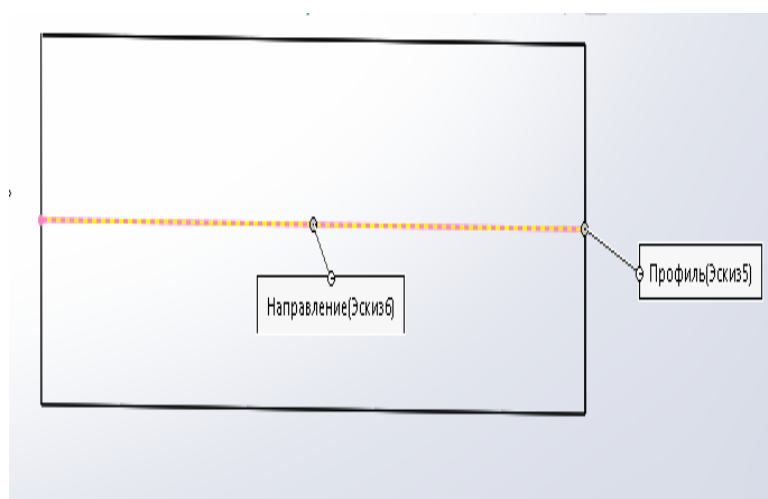
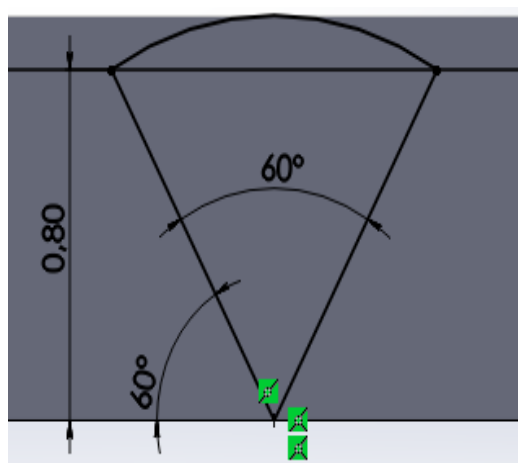
Рисунок 2.5 – Чотири частини зварного V-подібного шва, котрі з'єднані між собою у формі прямокутника: а) Ескіз пластини; б) Ескіз профіля, що використовується для створення елемента по траєкторії



в)

Рисунок 2.5, аркуш 2: в) Тривимірна модель основної частини зварного шва

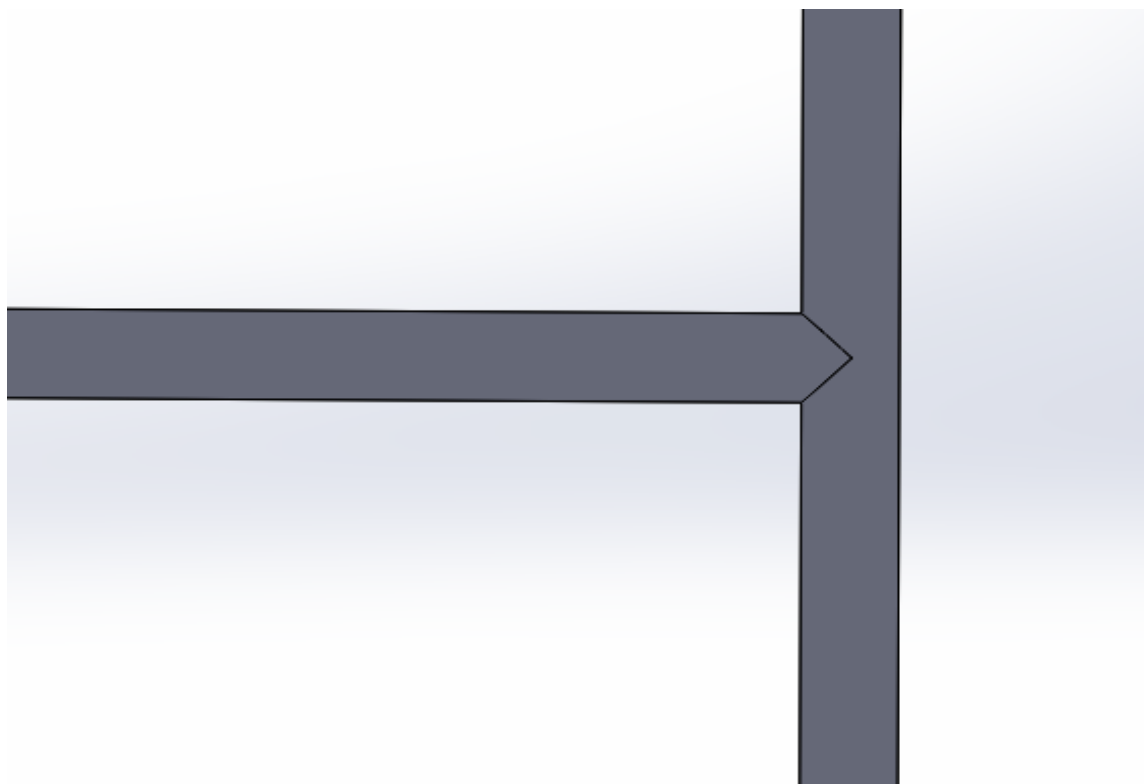
У даному випадку потрібно розглянути два напрямки (напрямок А та напрямок Б), по яких мають бути розташовані елементи по траєкторії. За допомогою команди «Бобишка по траєкторії» побудуємо спочатку напрямок А, виберемо ескіз для профілю та відповідно ескіз для шляху (рис.2.6, а). Отриманий результат на (рис. 2.6, б, в). Аналогічно побудуємо для напрямку Б (рис.2.7, а). Кінцевий результат показаний на рис. 2.7, б.



а)

Рисунок 2.6 – Чотири частини зварного V-подібного шва, котрі з'єднані між собою у формі прямокутника: а) Побудова зварного шва за допомогою команди «Бобишка по траєкторії» напрямок А



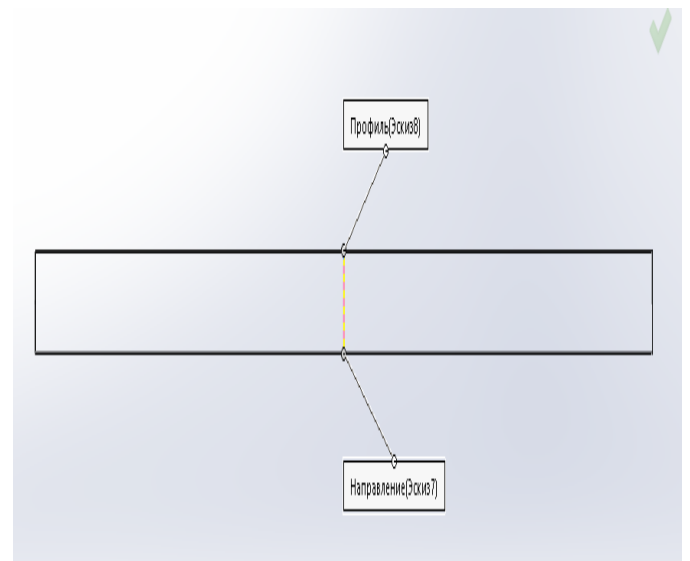
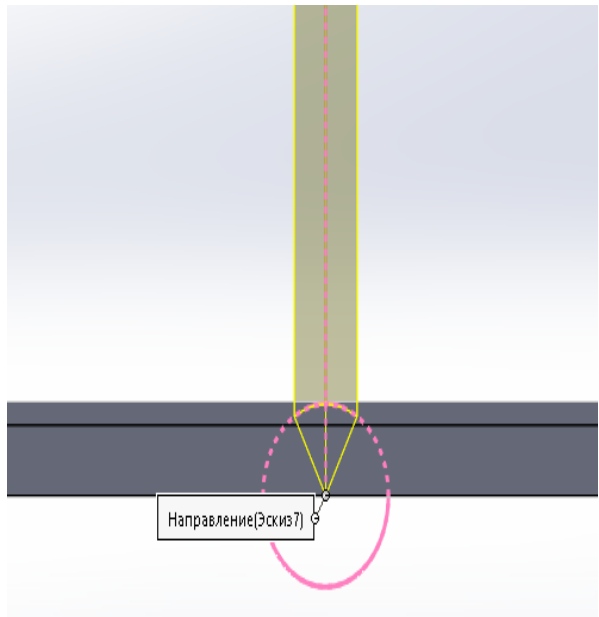


б)

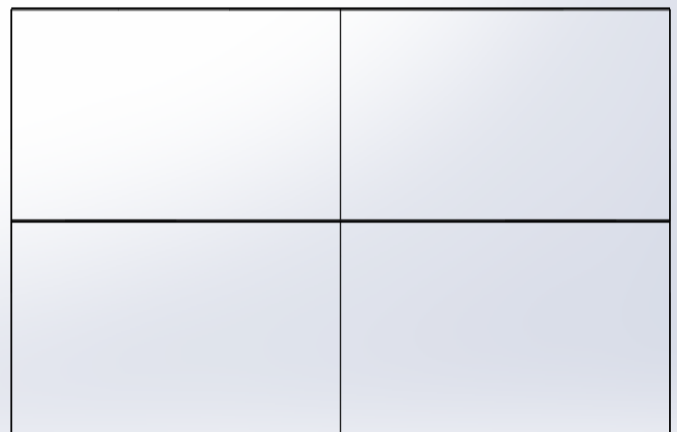
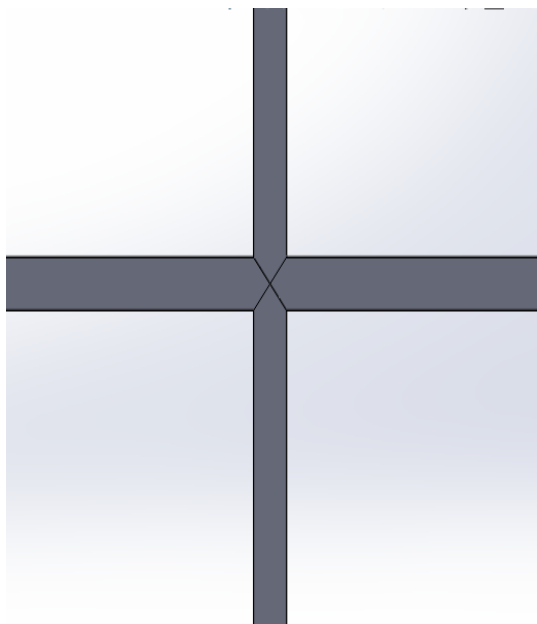


в)

Рисунок 2.6, аркуш 2: б) Тривимірна модель частини зварного шва у напрямку А в збільшеному вигляді для покращення візуалізації; в) Тривимірна модель частини зварного шва в масштабі підлаштованому до розмірів екрану



а)



б)

Рисунок 2.7 – Чотири частини зварного V-подібного шва, котрі з'єднані між собою у формі прямокутника: а) Побудова зварного шва за допомогою команди «Бобишка по траєкторії» напрямком Б; б) Результат побудови чотирьох частин зварного V-подібного шва

### 2.1.3 Створення складальної одиниці пластини зі зварним V-подібним швом

Останнім кроком у побудові геометричної моделі є створення пластини зі зварним швом. Для цього потрібно вибрати модель зварного шва (рис. 2.4, б) та модель пластини (рис. 2.1, а), після чого додати геометричні взаємозв'язки, а саме «Сполучення» між компонентами збірки. Отриманий результат на рис. 2.8.

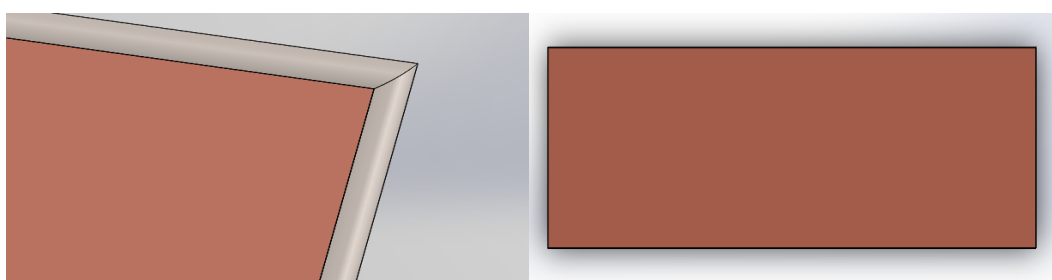
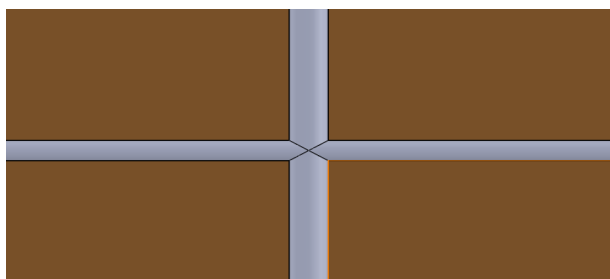


Рисунок 2.8 – Складальна одиниця пластини зі зварним V-подібним швом

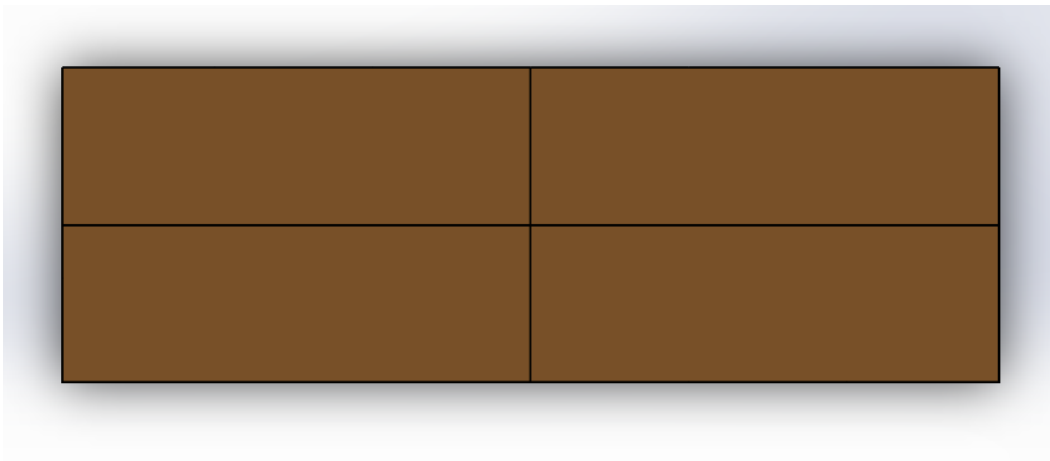
Аналогічно створимо складальну одиницю з чотирьох пластин та чотирьох частин зварного V-подібного шва, котрі з'єднані між собою у формі прямокутника. Для цього потрібно вибрати модель чотирьох частин зварного шва та модель пластини, після цього додати геометричні взаємозв'язки, а саме «Сполучення» між компонентами збірки. Кінцевий результат показаний на рис. 2.9.



а)

Рисунок 2.9 – Складальна одиниця з чотирьох пластин та чотирьох частин зварного V-подібного шва, котрі з'єднані між собою у формі прямокутника: а)

Складальна одиниця в збільшеному вигляді для покращення візуалізації

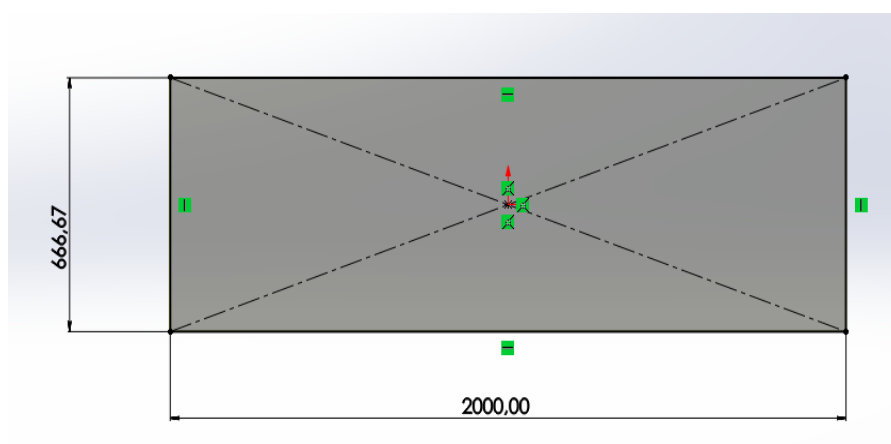


б)

Рисунок 2.9, аркуш 2: б) Складальна одиниця в масштабі підлаштованому до розмірів екрану

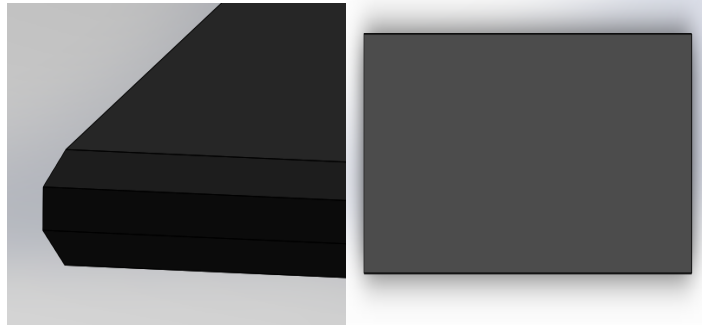
#### 2.1.4 Створення геометричної моделі двостороннього Y-подібного зварного шва

Аналогічно створимо геометричну модель двостороннього Y-подібного виду зварного шва. Побудуємо ескіз пластини (рис. 2.10, а) і витягнемо його на 0.8 мм. Отриманий результат зображено на рис. 2.10, б.



а)

Рисунок 2.10 – Геометрична модель пластини: а) Ескіз

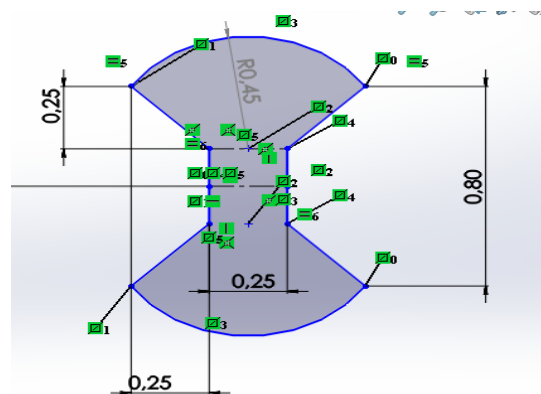


б)

Рисунок 2.10, аркуш 2: б) Тривимірна модель

Наступний крок – це побудова геометричної моделі зварного шву (двостороннього Y-подібного) навколо пластини. Створимо ескіз пластини у одній площині (рис. 2.10, а). Далі потрібно створити ескіз шва замкнутого профілю. Для цього створимо елемент по траєкторії методом зміщення двовимірного профілю по напрямку тривимірного ескізу. Отриманий ескіз шва зображений на (рис. 2.11, а).

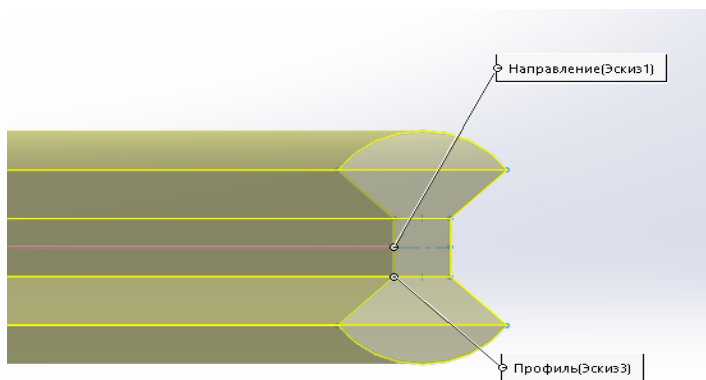
За допомогою команди «Бобишка по траєкторії» у менеджері властивостей виберемо ескіз в графічній області для профілю (рис. 2.11, б) та відповідно ескіз в графічній області для шляху (рис. 2.11, в). Початкова точка напрямку повинна лежати на площині профілю. Кінцевий результат показаний на (рис. 2.12, а, б).



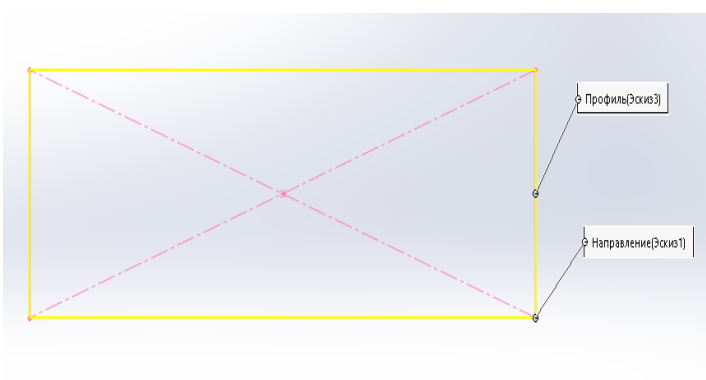
а)

Рисунок 2.11 – Частина зварного Y-подібного шву елемента обшивки корабля: а)

Ескіз зварного шва

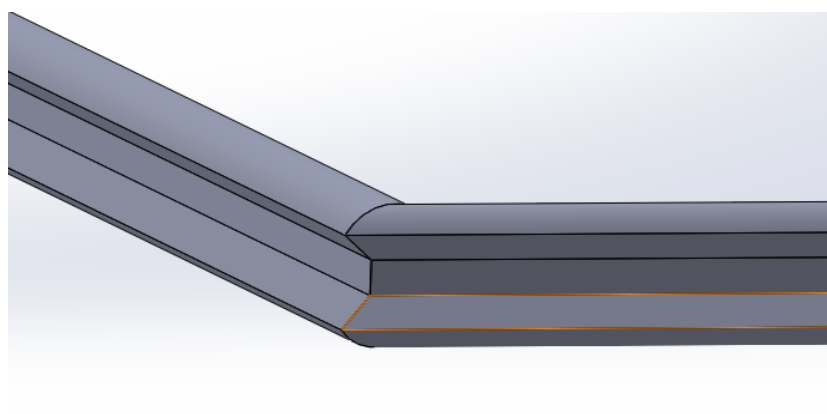


б)



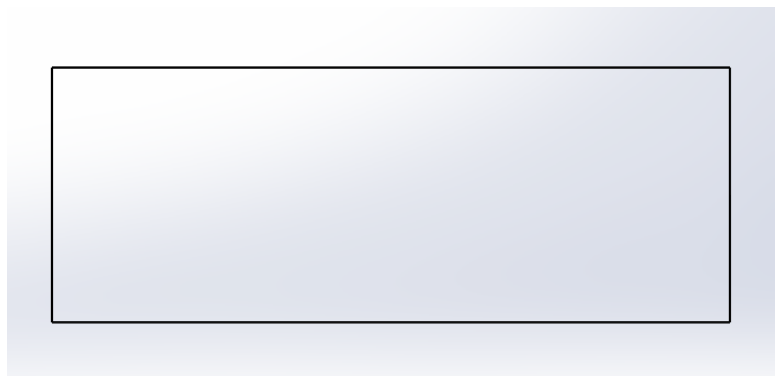
в)

Рисунок 2.11, аркуш 2: б) Ескіз профіля, що використовується для створення елемента по траєкторії; в) Побудова зварного шва за допомогою команди «Бобишка по траєкторії»



а)

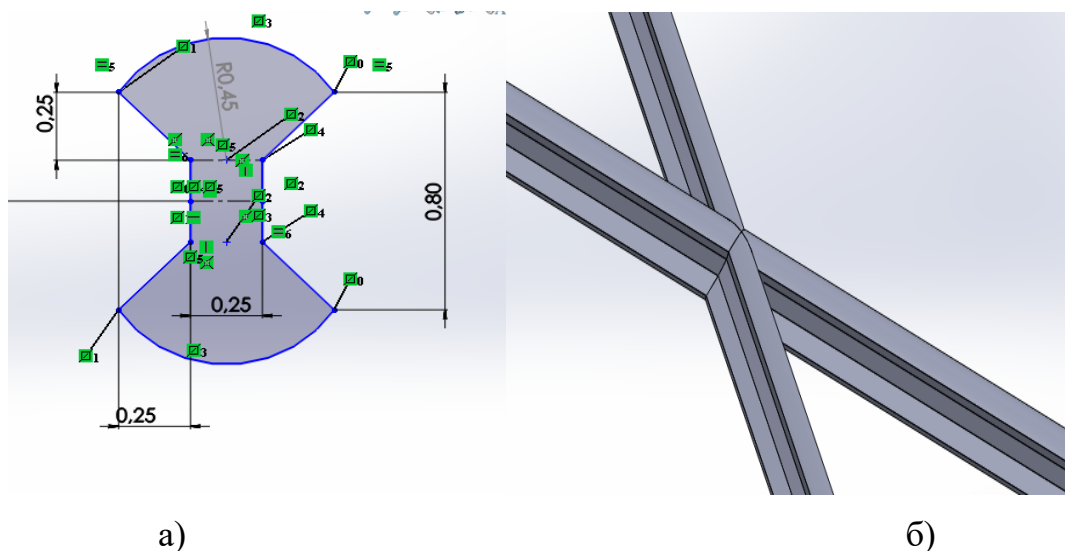
Рисунок 2.12 – Частина зварного Y-подібного шву елемента обшивки корабля: а) Тривимірна модель частини зварного шву в збільшеному вигляді для покращення візуалізації



б)

Рисунок 2.12, аркуш 2: б) Результат побудови зварного шва в масштабі підлаштованому до розмірів екрану

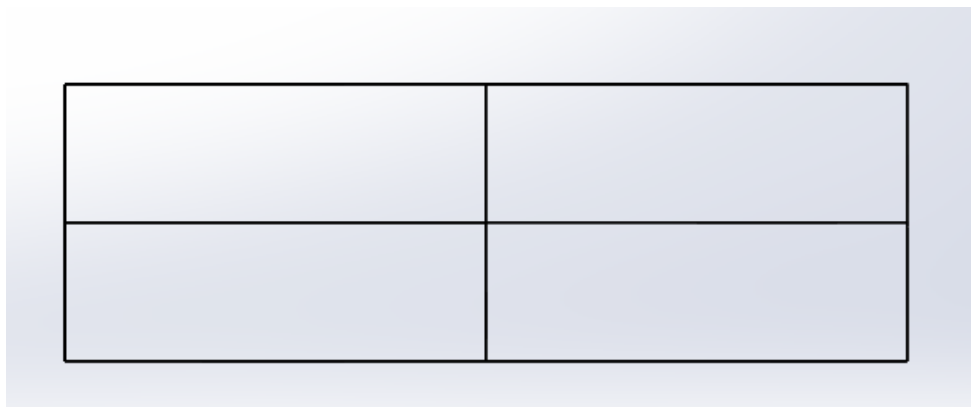
Для наступного етапу нам потрібно створити чотири частини зварного Y-подібного шва, котрі з'єднані між собою у формі прямокутника. Отже, скористаємось вище наведеним алгоритмом дій, що використовувався при створенні чотирьох частин зварного V-подібного шва. Аналогічно створимо Y-подібні зварні шви, ескізи та тривимірні моделі яких, зображені на рис. 2.13.



а)

б)

Рисунок 2.13 – Геометрична модель зварного шва: а) Ескіз двостороннього Y-подібного шву; б) Тривимірна модель двостороннього Y-подібного шву в збільшеному вигляді для покращення візуалізації

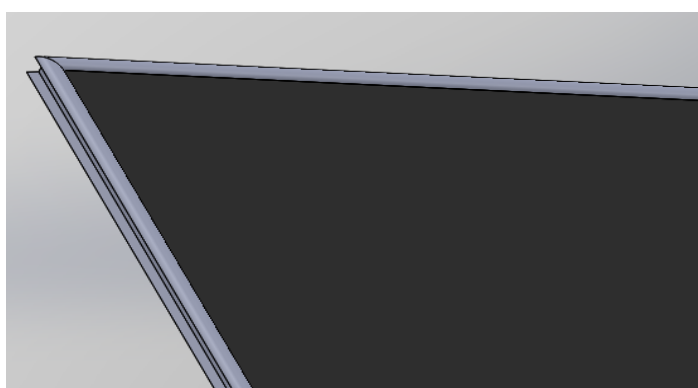


в)

Рисунок 2.13, аркуш 2: в) Результат побудови зварного шва в масштабі підлаштованому до розмірів екрану

### 2.1.5 Створення складальної одиниці пластини зі зварним двостороннім Y-подібним швом

Останнім кроком в побудові геометричної моделі є створення пластини зі зварним швом. Для цього потрібно вибрати модель зварного шва (рис. 2.12, б) та модель пластини (рис. 2.10, б), після цього додати геометричні взаємозв'язки, а саме «Сполучення» між компонентами збірки. Отриманий результат на рис. 2.14.



а)

Рисунок 2.14 – Складальна одиниця пластини зі зварним двостороннім Y-подібним швом: а) Складальна одиниця в збільшеному вигляді для покращення візуалізації

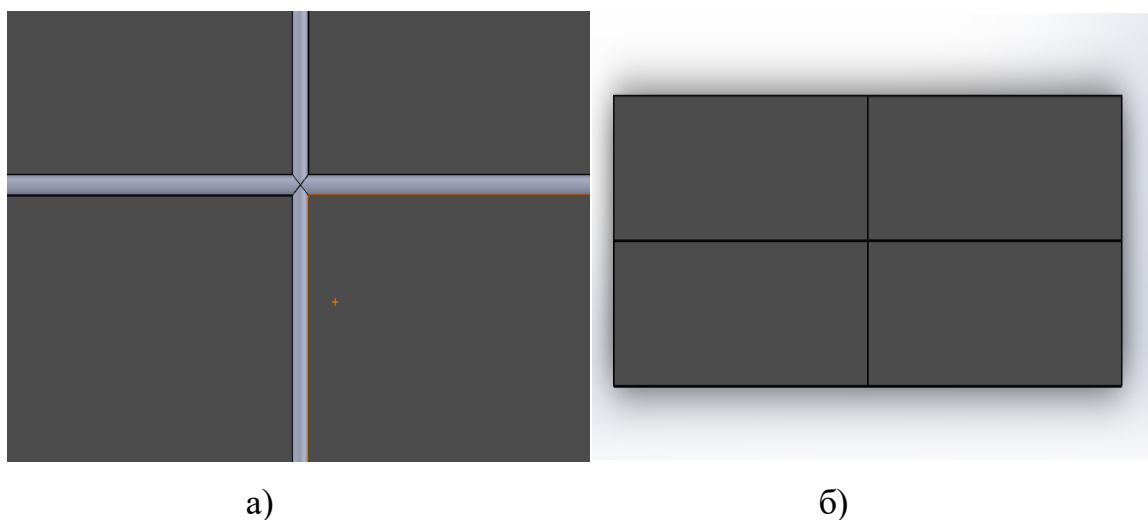




б)

Рисунок 2.14, аркуш 2: б) Складальна одиниця в масштабі підлаштованому до розмірів екрану

Аналогічно створимо складальну одиницю з чотирьох пластин та чотирьох частин зварного двостороннього Y-подібного шва, котрі з'єднані між собою у формі прямокутника. Для цього потрібно вибрати модель чотирьох частин зварного шва та модель пластини, після цього додати геометричні взаємозв'язки, а саме «Сполучення» між компонентами збірки. Кінцевий результат показаний на рис. 2.15.



а)

б)

Рисунок – 2.15 Складальна одиниця з чотирьох пластин та чотирьох частин зварного двостороннього Y-подібного шва, котрі з'єднані між собою у формі прямокутника: а) Складальна одиниця в збільшеному вигляді для покращення візуалізації; б) Складальна одиниця в масштабі підлаштованому до розмірів екрану

## **Висновки до розділу 2**

У даному розділі проведено геометричне моделювання елементів обшивки корабля і побудовано наступні геометричні моделі:

1. Одностороннього зварного шва.
2. Двостороннього зварного шва.
3. Чотирьох елементів обшивки корабля довжиною 2000мм, шириною 666,67мм і товщиною 3мм.
4. Складальні одиниці елементів обшивки зі зварними швами різного конструктивного виконання.

## РОЗДІЛ 3

### ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕМЕНТА ОБШИВКИ КОРАБЛЯ

Одним з основних видів навантажень на елемент обшивки корабля є вода, тобто вплив течії. Гідродинамічні навантаження пов'язані з течіями рідин і газів. Вода – це динамічне навантаження, так як швидкість течії може постійно змінювати свій напрямок. Основними причинами аварій можуть бути помилки у проектному призначенні розрахункової величини гідродинамічного навантаження, неправильне уявлення про характер його розподілу по об'єкту, недостатній облік гідродинамічних характеристик, турбулентність течії, вібрація конструкції.

Реакція обшивки корабля на вплив течії може мати різний характер. Отже, для вирішення поставленої задачі нам спочатку потрібно змодельовати навантаження течії на елемент обшивки корабля. Для цього скористаємося програмним продуктом ANSYS. При моделюванні навантаження від впливу течії будемо вважати, що конструкція елемента обшивки корабля абсолютно жорстка, тобто розглядається статична задача при дії динамічного навантаження.

ANSYS – це універсальний програмний комплекс скінчено-елементного аналізу, призначений для вирішення задач у різних областях інженерної діяльності: конструктивні, теплові, гідро газодинамічні, електромагнітні [66].

Для побудови розрахункової моделі можна використати ANSYS Workbench, який дає користувачу зручний графічний інтерфейс для спрощення та систематизації необхідних дій. Загальний вигляд головного вікна зображено на рис 3.1.

ANSYS Workbench – це платформа, яка є основою для передових технологій інженерного моделювання. Ця проста у використанні платформа забезпечує доступ до двобічної параметричної CAD інтеграції, потужні інструменти для побудови сітки, автоматизований механізм оновлення на стадії проектування, управління багатодисциплінованим моделюванням і вбудовані інструменти оптимізації. Даний

комплекс має модульну структуру, що дає нові можливості, як в процесорній підготовці, так і в вирішенні задач та обробці результатів.

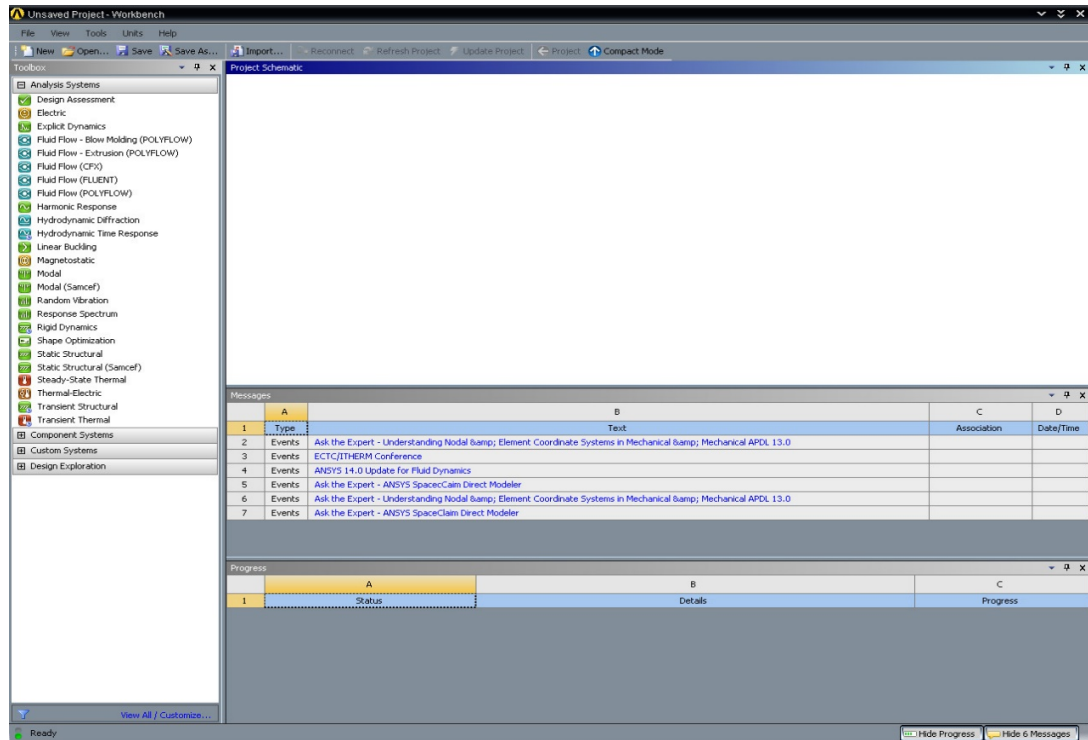


Рисунок 3.1 – Основне вікно моделі ANSYS Workbench

Платформа ANSYS Workbench включає додаток Workbench Mechanical, що є універсальною оболонкою для різноманітних обчислювачів, в тому числі Mechanical APDL.

У середовище ANSYS Workbench входить кілька різних додатків (деякі з них):

- Mechanical - застосовується для виконання структурного і теплового аналізу з використанням вирішувача задач ANSYS. Накладення сітки на область розрахунку також включено в Mechanical.
- Fluid Flow (CFX) - додаток для виконання аналізу з використанням CFD CFX
- Fluid Flow (FLUENT) - додаток для виконання аналізу з використанням CFD FLUENT

- Design Modeler (геометрія) - призначений для створення і редагування CAD геометрії і підготовки твердотільної моделі для використання в подальших розрахунках.
- Engineering Data - призначений для визначення властивостей матеріалу.
- Meshing Application - призначений для генерації області розрахунку CFD і генерування сітки.
- Design Exploration - призначений для проведення проектних досліджень і оптимізації аналізів.
- Finite Element Modeler - додаток призначений для адаптації сітки, отриманої в NASTRAN і ABAQUS, для використання в ANSYS [67].

Робоча Область Керування Проектом, включає в себе три вікна:

- Toolbox [69] (Панель інструментів) – це набір інструментів для вирішення багатодисциплінарних інженерних задач. Склад цього набору залежить від наявності ліцензій на продукти ANSYS, необхідних для роботи того чи іншого інструменту. Інструментарій розділений на чотири розділи – Analysis System, Component Systems, Custom Systems, Design Exploration (рис. 3.2).

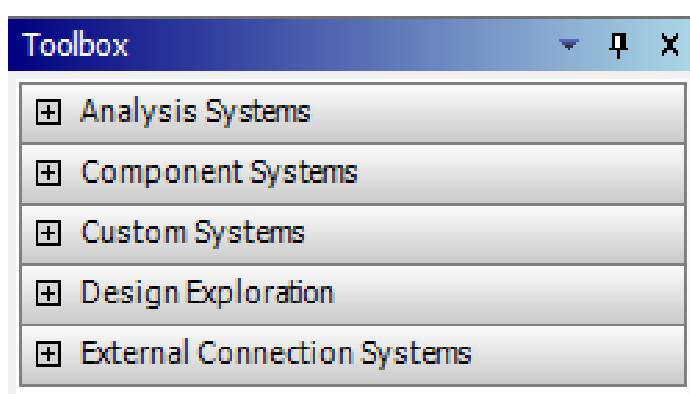


Рисунок 3.2 – Toolbox (Панель інструментів)

- Вікно Project Schematic [69] (Схема проекту) – головне вікно проекту, розташоване в центрі основного вікна Workbench. В даній частині панелі робочої області додаються елементи та шаблони з панелі інструментів. Такий підхід дозволяє

наочно представляти частини проекту і управляти зв'язками між його окремими блоками (рис.3.3).



Рисунок 3.3 – Вікно Project Schematic (Схема проекту)

- Вікно Properties of Schematic [69] (Список властивостей) – за замовчуванням прихована, її відображення включається вибором пункту Properties в меню View. Усі властивості об'єкта в даному вікні відображаються у вигляді таблиці, в першому стовпці якої записано найменування властивості або параметра, а в другому відображено його значення, або прапорець активації властивості. Якщо другий стовпець вікна властивостей не відображається на екрані, то потрібно збільшити розмір вікна, перетягнувши його ліву межу вліво за допомогою миші.

У нижній частині екрана розташоване вікно Messages, яке служить для відображення службових повідомлень, попереджень або повідомлень про помилки. Якщо комп'ютер має підключення до мережі Інтернет, то у вікні Messages можуть відображатися новини, що розсилаються компанією ANSYS про оновлення своїх програмних продуктів, конференціях користувачів і ін. Управляє відображенням вікна повідомлень кнопка Hide/Show Messages, розташована в нижньому правому куті основного вікна Workbench.

Як вже згадувалось раніше, Toolbox (Панель інструментів) поділяється на чотири основні групи [68]:

- Analysis System;
- Component Systems;
- Custom Systems;
- Design Exploration.

Розділ Analysis System [69] містить шаблони рішення основних типів завдань. Шаблони включають в себе всі необхідні для вирішення компоненти - геометричну модель, фізико-технічні параметри, звичайно-елементну модель та ін. Для додавання завдання в проект досить перетягнути назву типу завдання в область Схеми проекту. Розділ Component Systems об'єднує окремі компоненти для моделювання. Так, можна створити окремо, не прив'язану ні до якого типу завдання, геометричну модель, і на її основі створити скінчено-елементну модель. І вже скінчено-елементну модель використовувати в подальшому, як основу для моделювання.

Розділ Custom Systems [69] містить шаблони для пов'язаних інженерних розрахунків, тобто коли результати вирішення однієї задачі є вихідними даними для іншої. Типовим прикладом пов'язаного аналізу може служити термоміцне завдання, в якому для визначення міцності використовуються попередньо отримані результати рішення теплової задачі.

Останній розділ Design Exploration [69] містить інструменти для оптимізації моделей по набору геометричних або фізичних параметрів, побудови їх кореляційних матриць.

У верхній частині основного вікна розташовані кнопки для стандартних операцій з проектом. Крім операцій створення, відкриття і збереження є можливість імпортувати проект (або його окремі файли) формату попередніх версій Workbench або імпортувати файли інших CAD / CAE-систем.

Кнопка Refresh Project запускає оновлення вхідних даних проекту, а кнопка Update Project зчитує оновлені вхідні дані і запускає перерахунок проекту для отримання нових результатів аналізу. Кнопка Compact Mode включає спрощений вид основного вікна Workbench, в якому при наведенні курсору на заголовок вікна відображено тільки вміст проекту [69].

Основні настройки середовища Workbench можна змінити в меню Tools / Options. Для повернення до налаштувань за замовчуванням потрібно натиснути кнопку Restore Defaults в нижній частині вікна налаштувань.

Меню Units дозволяє задавати систему одиниць виміру, прийняту для всіх розрахунків в проекті. Поточна система одиниць відзначена зліва галочкою і в будь-який момент може бути змінена. Слід зазначити, що геометричний модуль, модуль симуляції і інші також дозволяють в процесі роботи змінювати систему одиниць виміру.

### 3.1 Аналіз навантаження від впливу течії

Для того, щоб промодельовати навантаження від впливу течії на елемент обшивки корабля скористаємось модулем Fluid Flow (CFX). Для цього потрібно перетягуванням або подвійним кліком лівої кнопки мишки помістити модуль у вікно проекту.

Структура більшості модулів містить сім блоків, але даний модуль (рис. 3.4) складається з шести наступних блоків:

1. Fluid Flow (CFX) – назва модуля;
2. Geometry – блок створення/редагування геометричної моделі;
3. Mesh – блок формування скінчено-елементної сітки;
4. Setup – блок попередніх установок таких, як граничні умови та матеріал;
5. Solution – розрахунковий блок;
6. Results – блок відображення результатів моделювання [70].

Для отримання результату необхідно поступово (у порядку зростання номера) виконати необхідні дії в кожному з блоків окрім першого.

Для одержання необхідного результату потрібно виконувати поступово (у порядку збільшення номера) необхідні дії в кожному з блоків, починаючи з Geometry (Геометрія). Спочатку потрібно завантажити раніше створену геометричну модель для подальшого аналізу. Для цього необхідно натиснути на блок Geometry правою



кнопкою мишки та вибрати пункти Import та Browse (рис. 3.5) та вказати на відповідний файл моделі. Якщо модель завантажилась вдало, біля блоку Geometry відобразатиметься галочка.

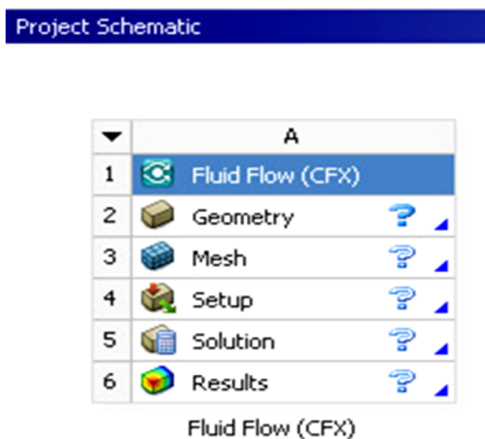


Рисунок 3.4 – Структура модуля Fluid Flow (CFX)

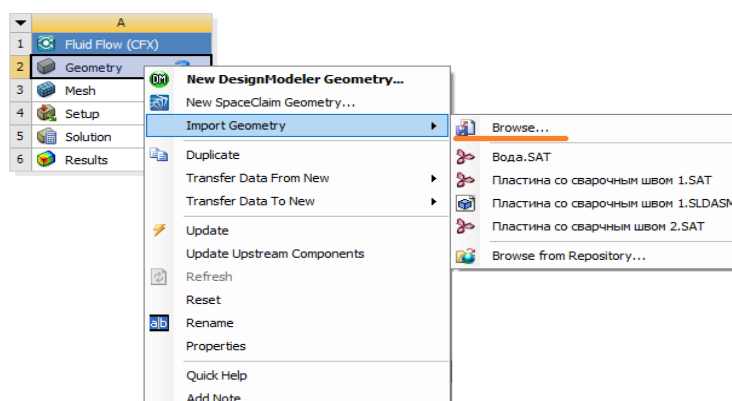


Рисунок 3.5 – Імпорт файлу геометричної моделі

Створена геометрія представляє собою прямокутний паралелепіпед, довжиною 4010,92 мм та шириною 1334,26 мм, висотою 10 мм, котрі відповідають розмірам елемента обшивки корабля. Прямокутний паралелепіпед призначений для того, щоб створити модель середовища з потоком течії, яка діє на елемент обшивки корабля. Під паралелепіпедом розташована тривимірна модель пластини зі зварним швом. Для даного аналізу необхідно вирізати модель елемента обшивки корабля з моделі водного середовища (рис. 3.6).

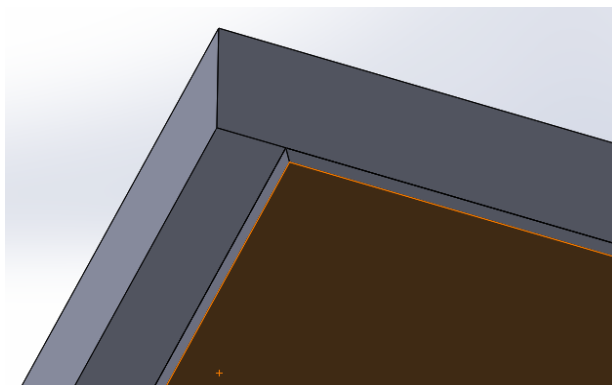


Рисунок 3.6 – Зліпок пластини зі зварним швом на площині паралелепіпеда

Для більш точного будування сітки необхідно попередньо зробити основні розрізи. Рідке середовище розділити на три частини, теж саме зробити зі зварним швом та пластинами (рис. 3.7). Але для простоти побудови сітки потрібно перегрупувати деякі елементи. В першу чергу перегрупуємо великі частини рідкого середовища, робимо з них нову Part (Частину). Нам потрібно в одну деталь додати, так званій, зовнішній контур та з нових елементів, що утворились, сформувати нову деталь. Отже, утворилось сім розрізів, котрі спростили геометрію моделі та саму побудову сітки.

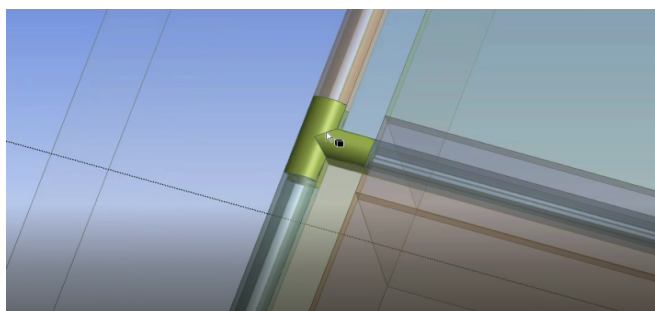


Рисунок 3.7 – Основні розрізи зварног шва та пластин

Наступним кроком є створення скінчено-елементної сітки. На рис 3.8, зображено загальний вигляд робочого простору блоку Mesh. Перед побудовою сітки необхідно вказати бажані розміри її елементів. У налаштуваннях сітки спочатку оберемо функцію Adaptive, яка будує сітку за певним алгоритмом.

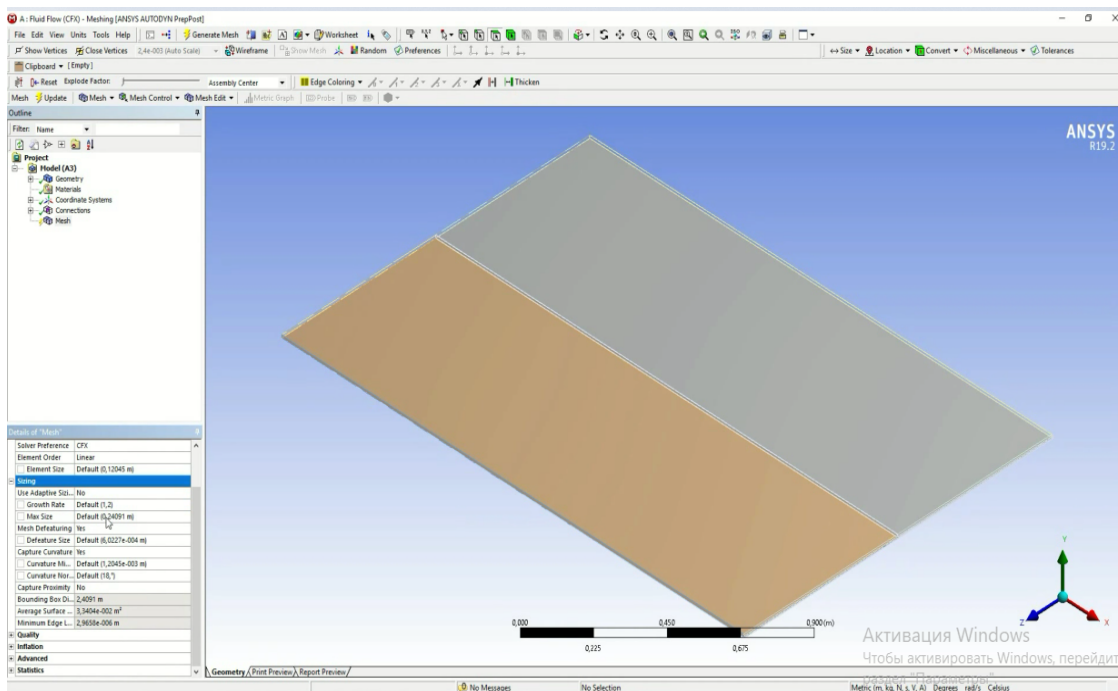
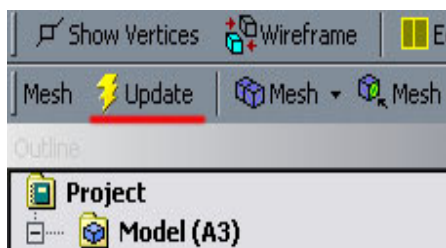
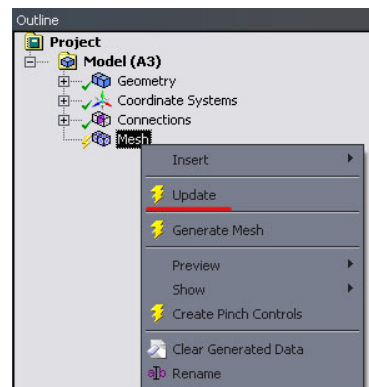


Рисунок 3.8 – Загальний вигляд робочого простору блоку Mesh

Після цього скориставшись кнопкою Update на панелі інструментів (рис. 3.9, а) або контекстного меню (рис. 3.9, б) можна розпочати побудову сітки.



а)



б)

Рисунок 3.9 – Початок побудови сітки: а) через панель інструментів; б) за допомогою контекстного меню

Але побудувати якісну сітку не вдалось, тому було прийнято рішення скористатися іншою функцією в налаштуваннях сітки Capture Curvature, де було встановлено все за замовчуванням, але знову якісна сітка не побудувалась. Це

пов'язано зі зварним швом у якому присутні дуже великі елементи. Результат зображено на рис. 3.10.

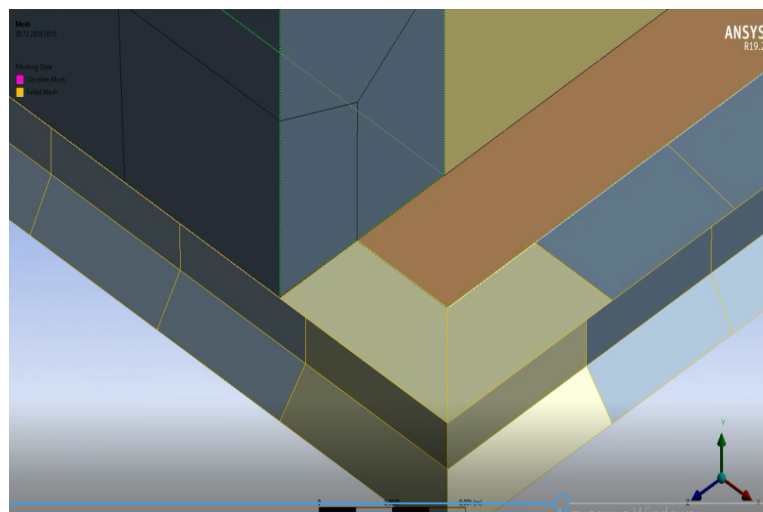


Рисунок 3.10 – Побудова сітки за допомогою функції Capture Curvature

Так як, при побудові сітки зварні шви представляються площиною, а потрібно промодельувати реальні форми зварних швів, треба вибрати Sizing-Geometry та за допомогою інструментарію Body (Тіла) виділити всі елементи зварного шва (рис. 3.11) і натиснути кнопку Apply, тобто підтвердити вибір.

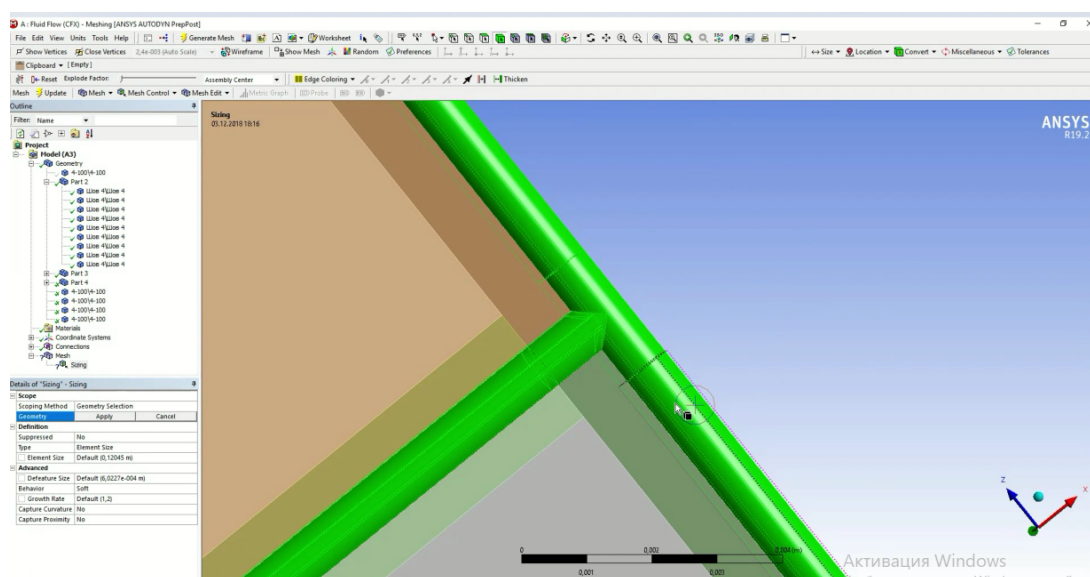


Рисунок 3.11 – Побудова точної форми зварних швів при створенні сітки

Перед побудовою сітки вказуємо основні налаштування Defeature Size (розміри) - 0,125 мм та Curvature Normal Angle -  $75^\circ$  і знову будуємо сітку. Результат зображено на рис. 3.12. У результаті побудови сітки було отримано 1752209 вузлів та 3050883 скінченних елементів.

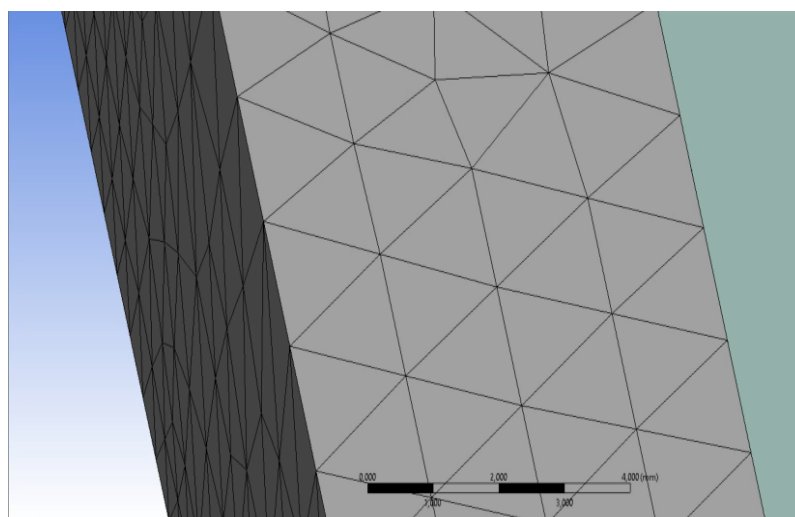


Рисунок 3.12 – Побудована скінчено-елементна сітка

З додаткових елементів, які були додані, щоб сітка побудувалась, це Body Sizing для зварних швів, Hex Dominant Method для пластин, Body Sizing також для пластин розмір яких (Element Size) – 25мм та Face Sizing для елементів води. Тут вибрані ті елементи, котрі мають округлену форму і стикаються зі швами, для того, щоб повторити найбільш точніше геометрію зварного шва.

Перш ніж приступити до безпосереднього аналізу необхідно додати області граничних умов. Необхідно об'єднати деякі поверхні в так звані іменовані поверхні (Named Selection) (рис. 3.13, а). Для цього треба вставити Named Selection і вибрати необхідну геометрію, яку буде об'єднано під одним ім'ям, у даному випадку – це всі грані водного середовища (рис. 3.13, б). Це і буде граничною умовою вхідного впливу. Підтверджуємо вибрані елементи та змінюємо назву за допомогою кнопки Rename на Inlet (Вхід).

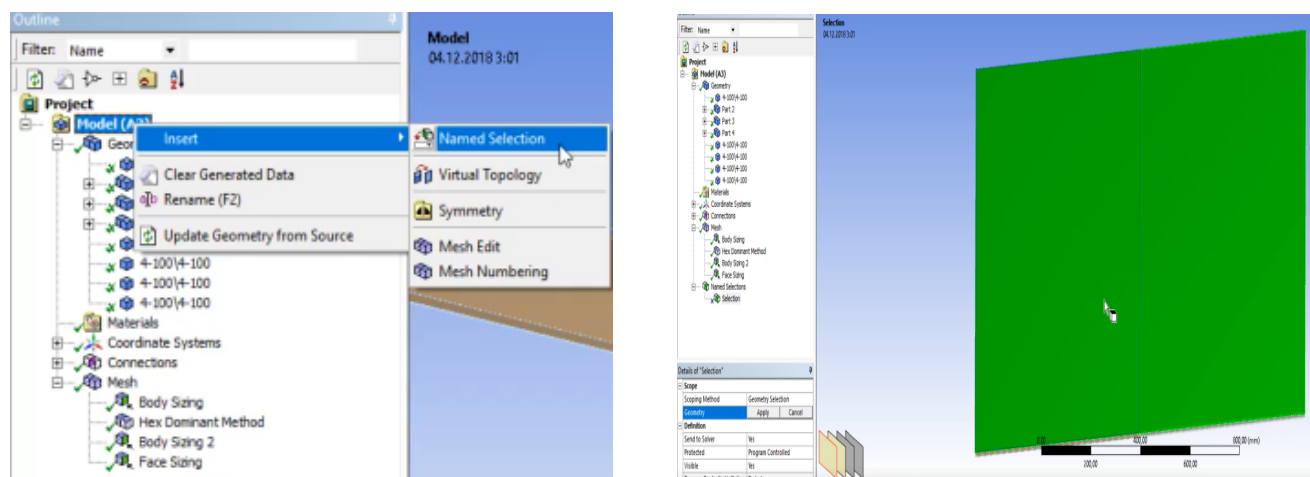


Рисунок 3.13 – а) Створення іменних поверхностей; б) Побудування граничних умов вхідного впливу

За граничні умови вхідного впливу було обрано водний потік, тобто океанські течії. Океан - потужний терморегулятор планети. Води океану знаходяться в безперервному русі. В океанах і морях в певних напрямках на відстані в тисячі кілометрів переміщуються величезні потоки води шириною в десятки і сотні кілометрів, глибиною в кілька сотень метрів. Такі потоки - "річки в океанах" - називаються морськими течіями. Рухаються вони зі швидкістю 1-3км/год, іноді до 9км/год. Найбільша швидкість океанських течій на поверхні може досягати 29,6км/год [71]. У відкритому океані течії зі швидкістю 5,5км/год і більше вважаються сильними. У цілому по океану швидкості руху води невеликі, - 10 см/с. Але в західних і екваторіальних областях океанів, невеликих за площею, вони проявляються у вигляді потужних струменевих течій, рухів води зі швидкостями до 2,5 м/с. Вважається, що основними причинами, що викликають течії є вітер і коливання атмосферного тиску, а також нерівномірне положення рівневої поверхні води, обумовлене такими процесами, як опади, випаровування з поверхні океану, з'єднання вод різної щільності і т. д. Течії по переважному в них напрямку діляться на зональні, що йдуть на захід і на схід, і меридіональні - несуть свої води на північ або південь [71].

Серед меридіональних течій найбільш відомий Гольфстрім. Гольфстрім - тепла поверхнева течія, температура води в якому в окремих місцях іноді досягає 30°C. Вона переносить в середньому щосекунди близько 75 млн. тон води. Гольфстрім часто змінює своє положення і настільки нестійка, що визначити її межі просто неможливо. Вважається, що положення течії Гольфстріму може істотно змінитися за 2 - 3 тижні. У південній частині Гольфстріму вона має ширину 70 - 100 км, а в північній, близько 500 км. Глибина Гольфстріму від поверхні приблизно дорівнює 500 м. Вважається, що змінення положення течії Гольфстріму призводить до утворення вихорів за її межами з діаметром до 400 км, швидкість течії в яких досягає 1,5м/с. Зліва від струменя Гольфстріму (на північний захід від течії) утворюються аномалії теплої води, які приймаються за теплі вихори - антициклони, а праворуч (на південний схід від течії) - аномалії холодної води, які приймаються за холодні вихори – циклони [72].

З зональних течій найбільш потужним є течія Західних вітрів. Вона інтенсивно переносить води океанів в східному напрямку, створюючи найпотужніше в усьому Світовому океані течію Західних вітрів. Вона поєднує в своєму круговому потоці, води трьох океанів і переносить кожну секунду близько 200 млн. тон води (майже в 3 рази більше, ніж Гольфстрім). Швидкість цієї течії невелика: щоб обійти Антарктиду, її водам необхідно 16 років. Ширина течії Західних вітрів близько 1300км. Залежно від температури води течії можуть бути теплими, холодними і нейтральними [73].

Північно-Атлантична течія в порівнянні з Гольфстрім менш потужна. Витрата води тут містить від 20 до 40 млн. кубометрів в секунду, а швидкість від 0,5 до 1,8 км/год, в залежності від місця. Екваторіальні течії приносять користь в мореплаванні, допомагаючи кораблям швидше перетнути океан з сходу на захід.

Води озер, морів і океанів, північної півкулі, обертаються проти годинникової стрілки, а води південної півкулі, обертаються за годинниковою стрілкою, утворюючи гігантські вири. А все що обертається, в тому числі і вири, мають властивість гіроскопа, зберігати вертикальне положення осі в просторі незалежно від обертання Землі. Якщо дивитися на Землю з боку Сонця, вири обертаючись разом із Землею перекидаються, два рази на добу, завдяки чому, вири прецесують, (1-2 градусів) і

відображають від себе приливну хвилю. Води Білого моря, обертаються проти годинникової стрілки, утворюючи величезний вир-гіроскоп, прецесуючи відображає приливну хвилю по всьому периметру Білого моря. Аналогічна схема припливів і відливів, спостерігається у всіх озерах, морях і океанах [74].

Отже, для розрахунку було обрано швидкість течії, що складає 3м/с.

Модуль розрахунку гідро-газодинаміки дозволяє працювати з наступними граничними умовами, такими як:

1. Inlet (вхід) – гранична умова, яка задає початок потоку рідини;
2. Outlet (вихід) – гранична умова, яка дозволяє одностороннє проникнення рідини через обрані поверхні;
3. Wall (зона дослідження, тобто елемент обшивки корабля) – гранична умова, яка запобігає проникнення рідини через обрані поверхні;
4. Symmetry (симетрія) – гранична умова, яка симетрично відображає вибрані поверхні;

Далі створюємо вихід завдяки натисканню кнопки Insert та Named Selection вибираємо всі бокові грані і маленьку частинку знизу, що залишилась (рис. 3.14) це і буде граничною умовою вихідного впливу. Підтверджуємо вибрані елементи та змінюємо назву за допомогою кнопки Rename на Outlet (Вихід).

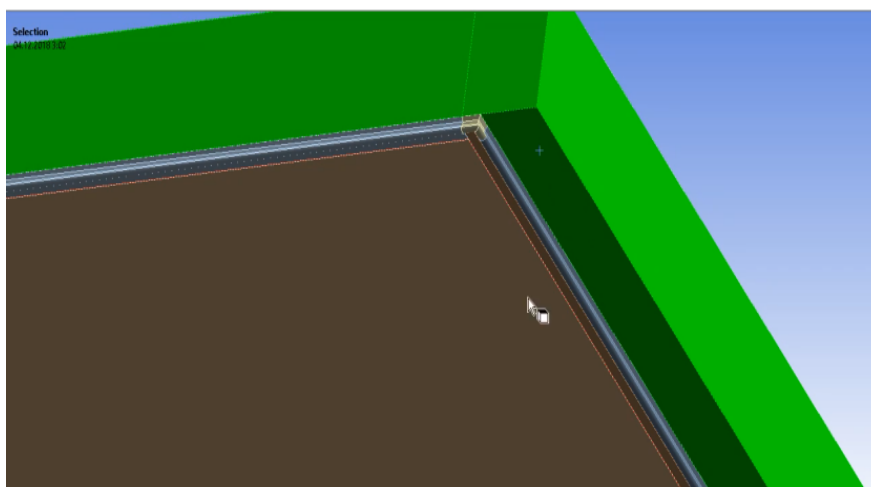


Рисунок 3.14 – Створення граничної умови Outlet (вихід)



Потрібно створити ще дві граничні умови симетрії: перша - граничні умови для симетрії води *SymmW*, друга – гранична умова для симетрії твердих тіл *SymmS*. Далі створюємо все по аналогії.

Отже, було створено основні граничні умови. Окрім них також потрібно створити так звані інтерфейси, тобто поєднати грані групи, які будуть представляти собою в подальшому інтерфейси взаємодії між різними деталями. Ці так звані інтерфейси потрібні в першу чергу для передачі взаємодії між різними частинами рідини, щоб потік міг взаємодіяти у різних областях розділеної моделі.

Для створення першого інтерфейсу необхідно спочатку приховати всі елементи рідини і вибрати тільки ті поверхні, які будуть контактувати з рідиною. За допомогою вищеприписаного алгоритму необхідно створити відповідні групи *Named Selection* (рис. 3.15-рис. 3.19).

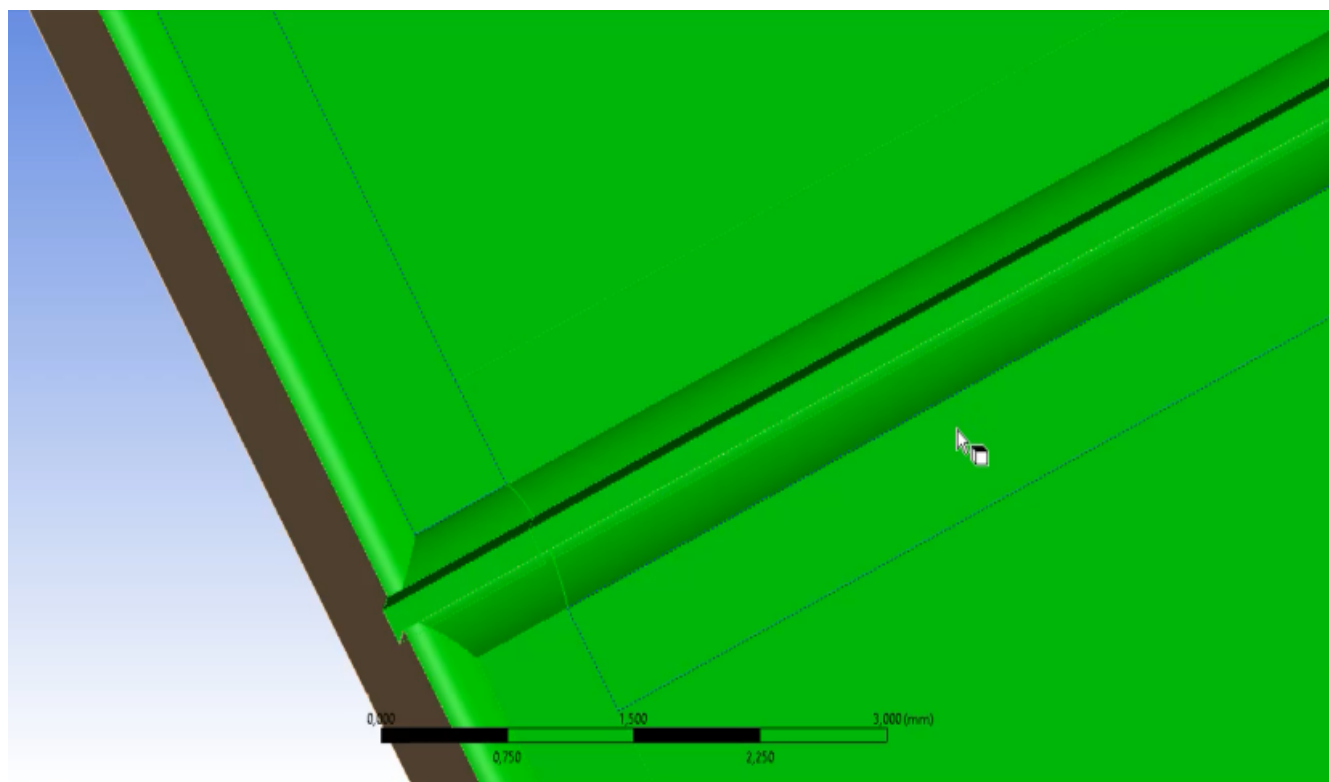


Рисунок 3.15 – Грані, котрі контактують з рідиною

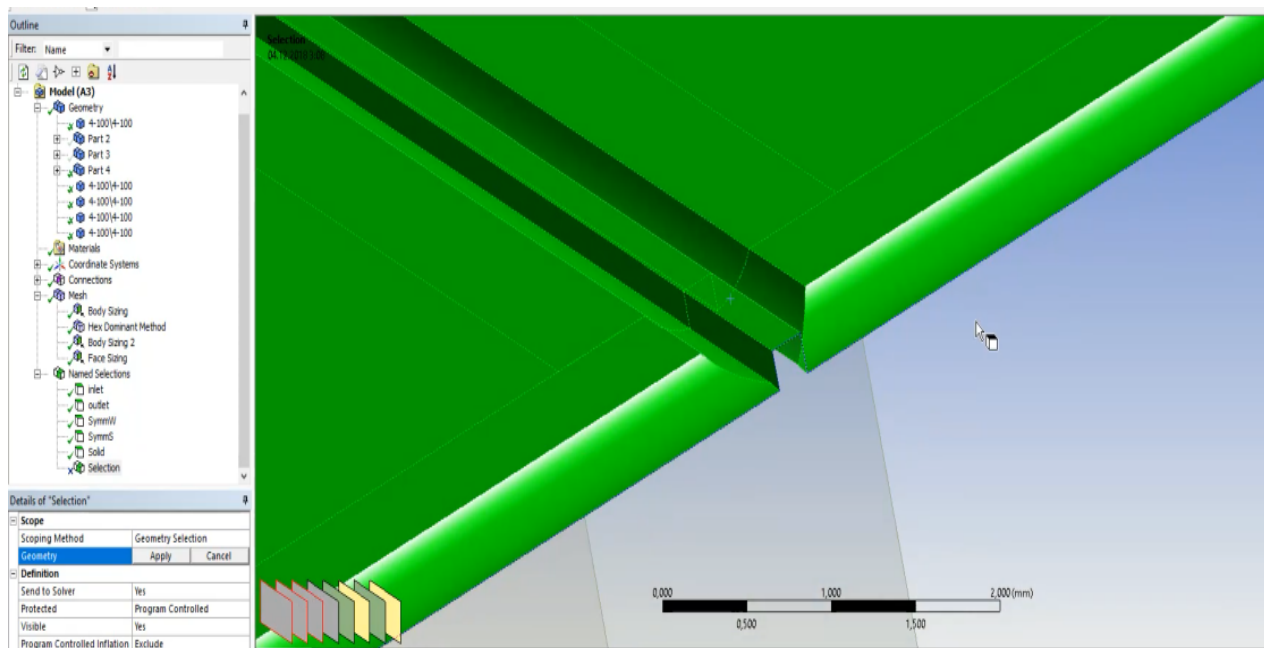


Рисунок 3.16 – Грані, котрі контактують з твердими тілами

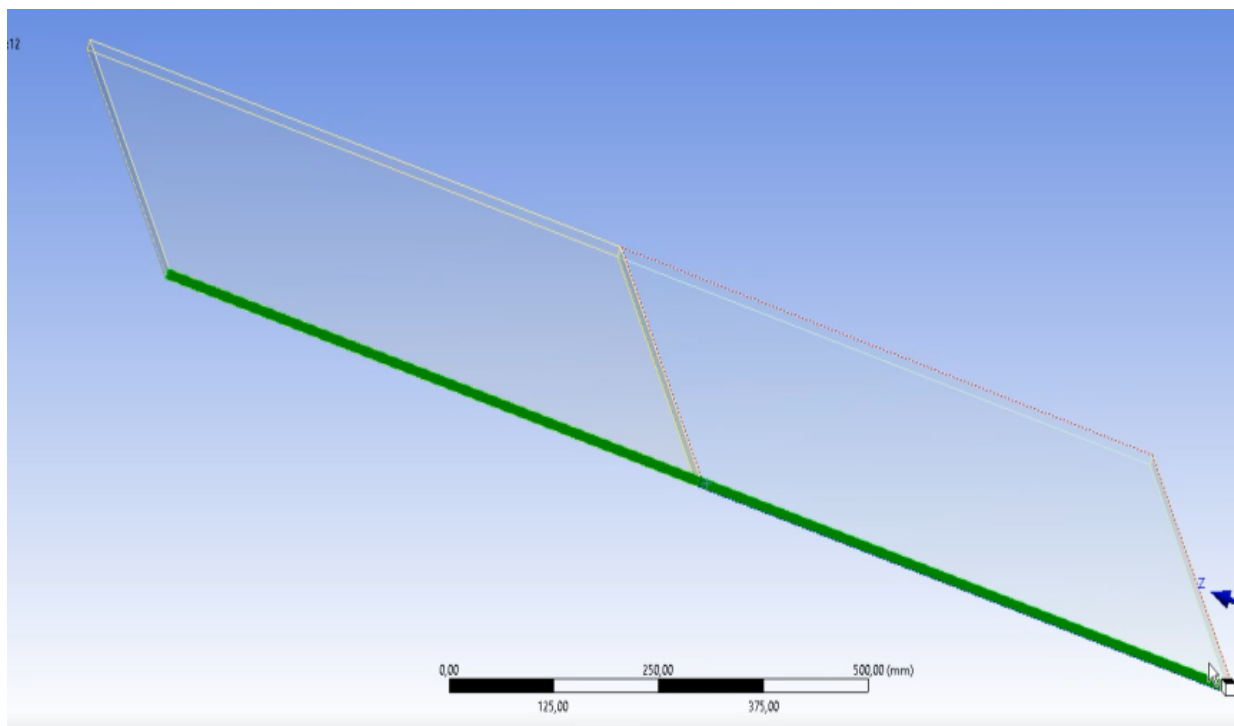


Рисунок 3.17 – Створення іменного набору «WW 1-2»

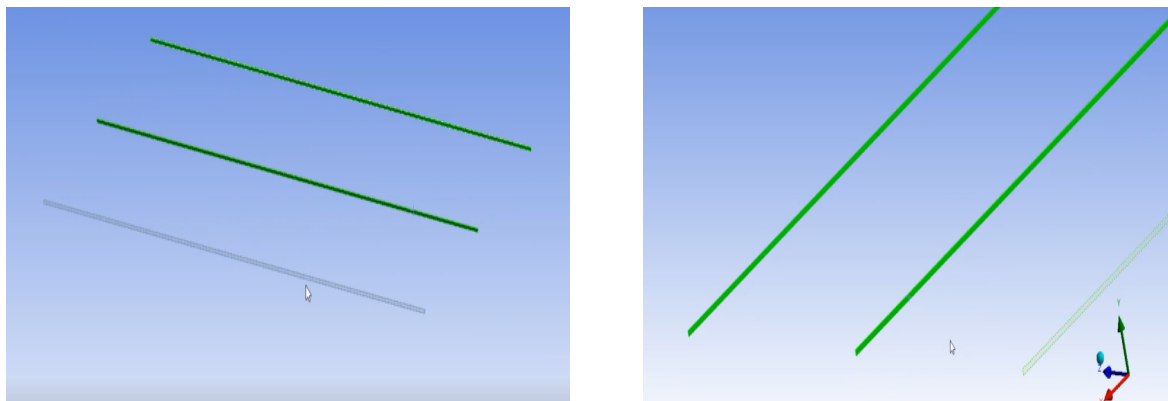


Рисунок 3.18 – Чотири поверхності, які контактують з рідиною: а) справа;  
б) зліва

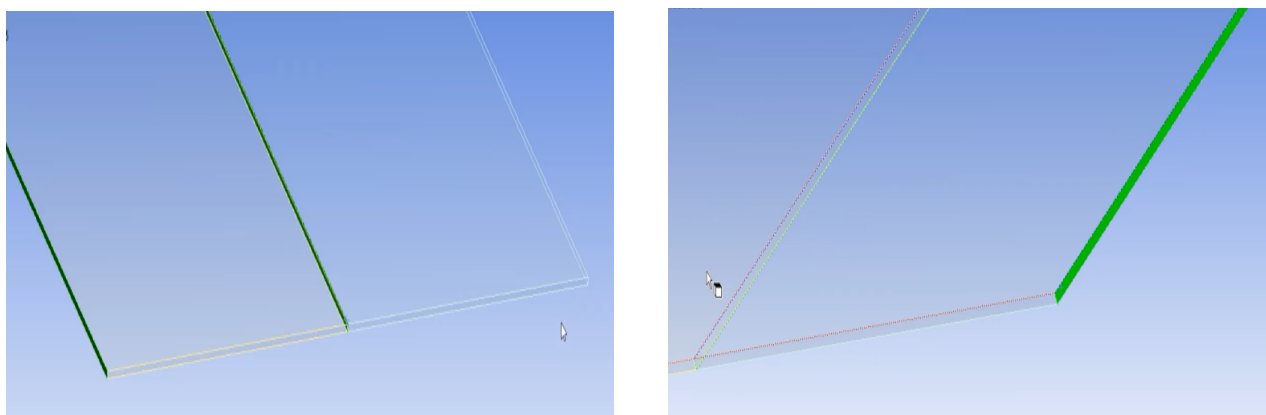


Рисунок 3.19 – Чотири поверхності, які контактують між собою: а) справа;  
б) зліва

Перед тим, як перейти до наступного блоку Setup, потрібно натиснути кнопку Update оновити модуль Mesh, щоб іменовані набори отримали координати тих всіх елементів сітки, в яку вони входять.

У блоці Setup (рис. 3.20, а) вже за замовчуванням створився один Default Domain (середовище), але ми створимо ще одне середовище. Адже у розрахунках використовується рідке та тверде середовище. За допомогою кнопки на панелі інструментів або через контактне меню (рис. 3.20, б) створимо нове середовище і дамо йому назву Water (рідина). Спочатку потрібно вибрати всі регіони, які входять в цю

область. У відкритому меню необхідно знайти пункт Material, в якому потрібно вибрати матеріал Water (рис. 3.21), Buoyant Model вибираємо Buoyant, так як вектор гравітації буде діяти по осі  $Z = -9.8$ , то по осі  $X$  та  $Y$  буде дорівнювати нулю, Buoyant Reference Temperature = 0 [C].

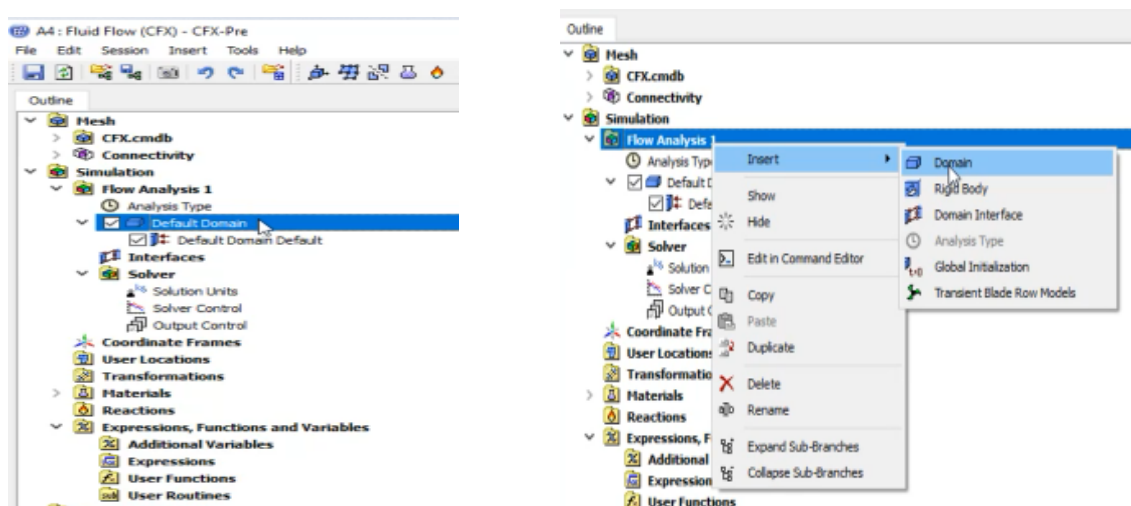


Рисунок 3.20 – Інтерфейс блоку Setup

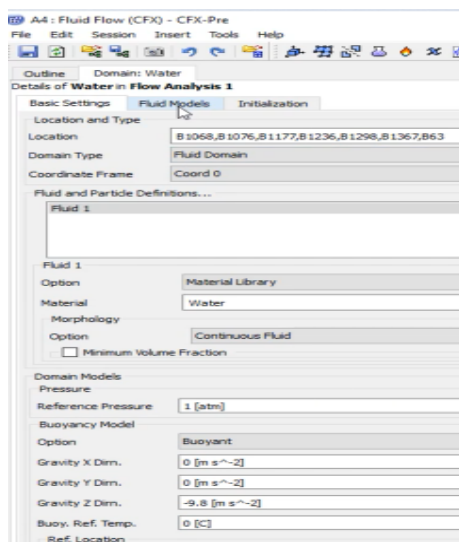


Рисунок 3.21 – Налаштування граничних умов

На вкладці Fluid Models виставляємо Heat Transfer Option – Isothermal, Fluid Temperature дорівнює 5° C та підтверджуємо введені дані кнопкою «ОК». Наступним

кроком створюємо друге середовище і даємо йому назву Solid. У пункті меню Domain Type змінюємо на Solid Domain, матеріал вибираємо Steel та підтверджуємо зміни.

Задамо граничні умови спочатку для водного середовища, за допомогою контактного меню Insert - Boundary створюємо Inlet (Вхід). У вікні Boundary Details змінюємо пункт Option на Normal Speed, котрий дорівнює 3м/с та Turbulence Option ставимо High. Графічне зображення граничної умови зображено на (рис. 3.22).

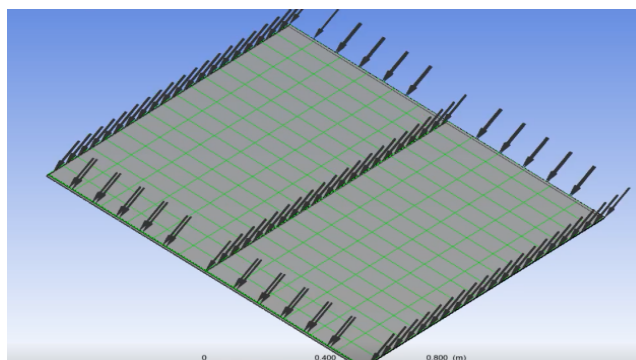


Рисунок 3.22 – Графічне зображення граничної умови Inlet

Потім так само потрібно створити граничну умову Outlet (Вихід). У вікні Boundary Details змінюємо пункт Relative Pressure на 0 [Pa], тобто рідина виходить вільно з цих граней. Графічне зображення умови Outlet зображено на (рис. 3.23).

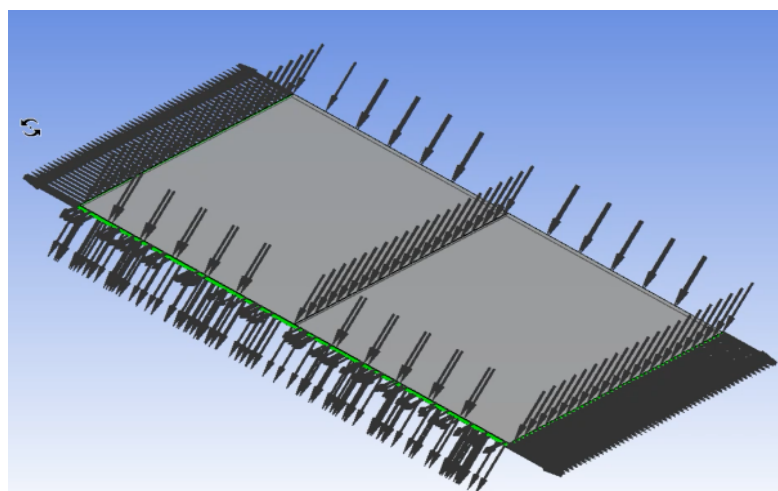


Рисунок 3.23 – Графічне зображення граничної умови Outlet

У водному середовищі залишилось додати ще одну граничну умову Symmetry. У вкладці Basic Settings на пункті Location вибираємо SymmW та підтверджуємо зміни. Графічне зображення граничної умови SymmW зображено на (рис. 3.24).

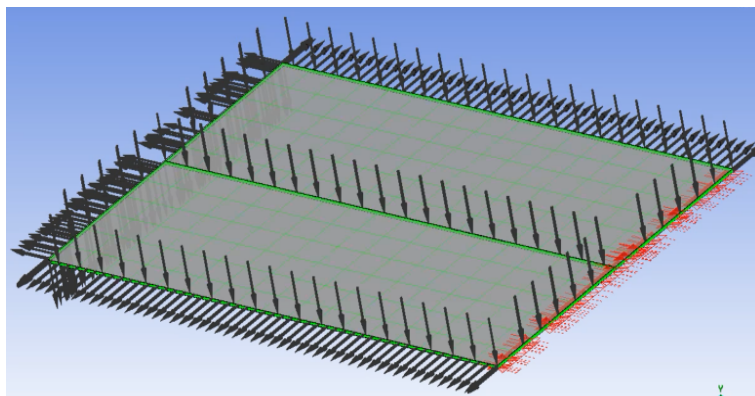


Рисунок 3.24 – Графічне зображення граничної умови SymmW

Тепер створимо граничні умови по твердому тілу, за допомогою контактного меню Insert - Boundary створюємо SymmS. У вкладці Boundary Type автоматично вибралась Wall (Стіна). Гранична умова, яка являє собою щільну стіну через, яку не проходять ніякі частинки. Але її потрібно змінити на граничну умову Symmetry. Графічне зображення граничної умови зображено на (рис. 3.25).

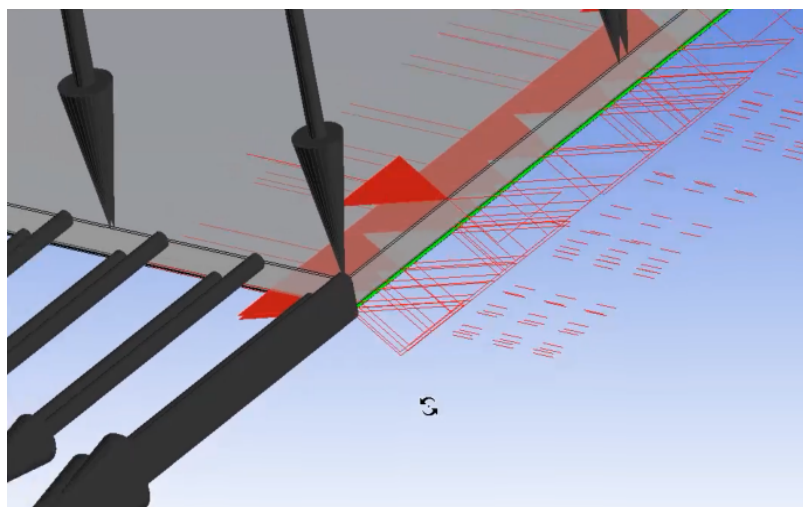


Рисунок 3.25 – Графічне зображення граничної умови Symmetry

Наступним етапом є створення інтерфейсу взаємодії різних елементів рідини. За допомогою контактного меню Insert – Domain Interface створюємо «WW1». У вкладці Basic Settings на пункті Interface Type вибираємо «FluidFluid», у пункті Domain вибираємо Water і автоматично підтягується такий же Domain - Water, у пункті Region List вибираємо «WW 1-1», а інший Region List – «WW 1-2», та підтверджуємо зміни натиснувши кнопку «ОК».

Таким же чином необхідно створити усі необхідні інтерфейси взаємодії. Розрахункова модель зображена на (рис. 3.26).

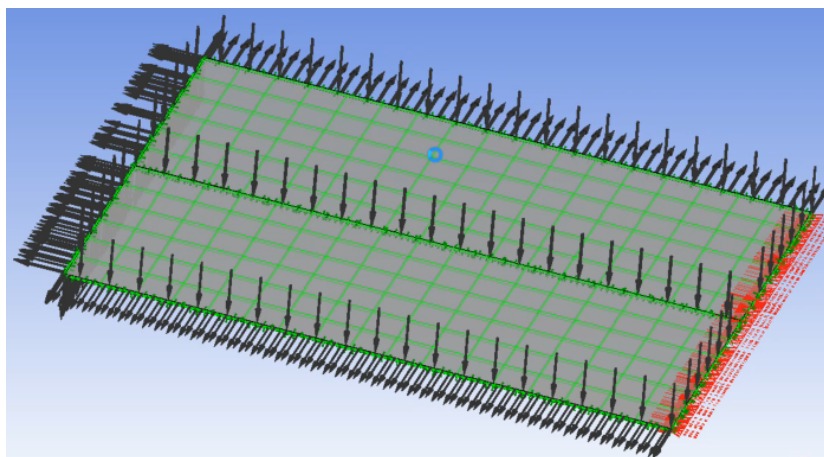


Рисунок 3.26 – Кінцевий результат імітаційної моделі з граничними умовами

Таким чином, було підготовлено імітаційне моделювання елемента обшивки корабля в умовах динамічних збурень навантаження від течії та нестабільністю її швидкості  $\pm 10\%$  від максимуму.

На блоку Solution необхідно визвати контекстне меню та натиснути Update і Display Monitors, після чого почне відображатись процес розрахунку імітаційної моделі.

Останнім кроком є відображення результатів моделювання навантажень від впливу течії. Для цього в шаблоні Fluid Flow (CFX) необхідно вибрати модуль Results (рис 3.27).

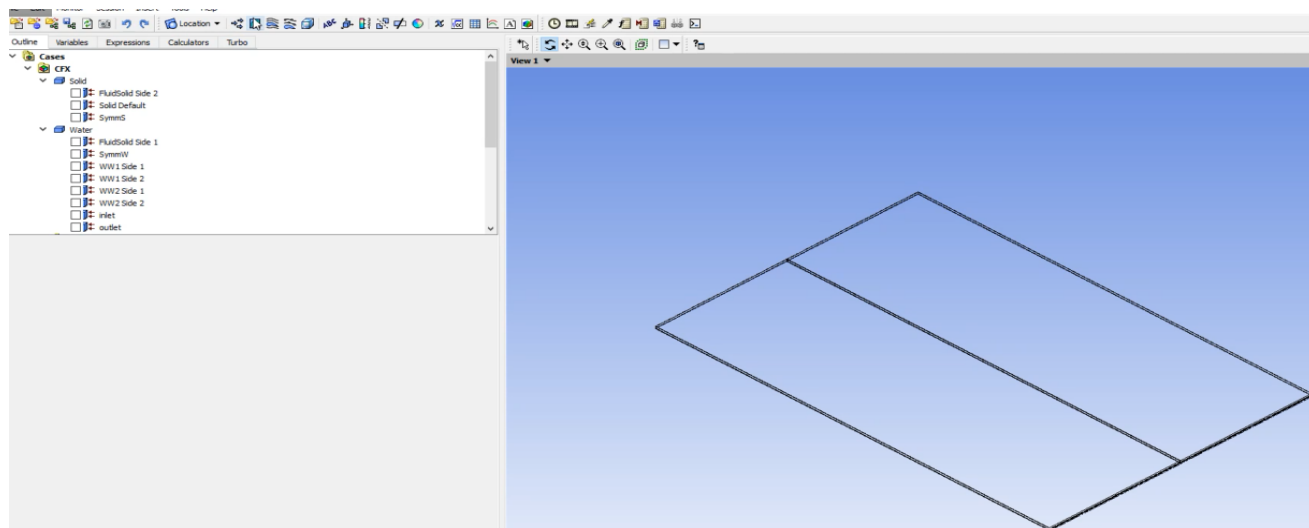


Рисунок 3.27 – Робоча область модуля Results

Для подальшого аналізу потрібно відобразити діаграми контурного поля тиску течії. Для цього створюємо контурне поле, (рис. 3.28) у вкладці Geometry на пункті Locations вибираємо потрібну область FluidSolid Side1, у пункті Variable вибираємо Pressure (Тиск) та натискаємо Apply.

Під діаграмами розумітимемо розподіл внутрішніх зусиль за кольорами по поверхні моделі. У рамках кожного моделювання всі внутрішні зусилля розділяються на 11 секторів, від мінімального значення, котрі позначаються відтінками синього, до максимального, які позначаються відтінками червоного.

На побудованому контурному полі тиску (рис. 3.29) видно, що в межах елемента обшивки величина тиску змінюється від  $-313029$  Па до  $3,44819 \cdot 10^7$  Па. Найбільший тиск зосереджений у центрі правої сторони пластини та поступово зменшується до її лівої сторони. Для подальшого статичного аналізу будемо застосовувати результати моделювання гідрогазодинаміки.





Рисунок 3.28 – Налаштування діаграми контурного тиску

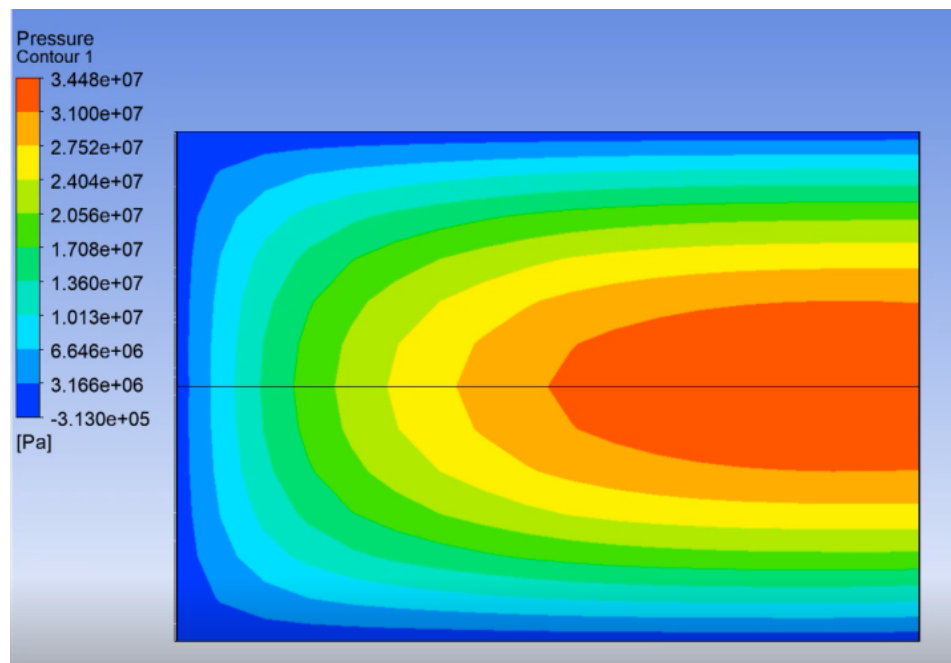


Рисунок 3.29 – Діаграма контурного поля тиску на елемент обшивки корабля

### 3.1.1 Методика побудови розрахункової моделі з тріщиною для розрахунку задачі гідродинаміки

Оскільки буде розглядатися навантаження від дії рідини, то для визначення цього навантаження необхідно виконати розрахунок задачі гідрогазодинаміки скористаємось модулем Fluid Flow (CFX). Для цього необхідно помістити модуль CFX

у вікно проекту. Першим кроком потрібно імпортувати геометричну модель, так як вона була створена за допомогою програмного продукту SolidWorks.

Для більш точного будування сітки необхідно попередньо створити площини та основні розрізи. У першу чергу потрібно вирізати прямокутну пластину в центрі, яка контактує з елементом рідини, що проникає в тріщину, це необхідно для задання граничних умов. Цей елемент також вирізали від загальної моделі та отримали чотири частини. Також решту геометрії було сховано за допомогою кнопки Hide All Other Bodies та знову порізано на певні частини так само як було описано вище.

Наступним кроком має бути дискретизація геометричної моделі, іншими словами побудова сіткової моделі. При побудові сітки потрібно подавити чи виключити з аналізу всі тверді тіла, тобто пластини та шви, залишивши тіла, які являються рідиною.

Щоб сітка краще побудувалась, були додані елементи Body Sizing, тобто змінювання розміру елемента в рамках всього тіла, та поставлено Element Size – 5мм. Також для нижньої частини, яка проникає в тріщину змінили метод побудови скінченних елементів сітки на Hex Dominant Method та Body Sizing розмір скінченного елемента в рамках всього тіла, який дорівнює (Element Size) – 0,25мм. Гексадральна сітка має перевагу в плані часу розрахунку в порівнянні з тетраїдральною в 2-2,5 разів. Перед побудовою сітки вказуємо основні налаштування Adaptive Sizing та Defeature Size (розміри) - 0,125 мм. Результат зображено на рис. 3.30. У результаті побудови сітки було отримано 360852 вузлів та 224276 скінченних елементів.

Перш ніж приступити до безпосереднього аналізу необхідно додати області граничних умов. Створимо так звані іменовані поверхні (Named Selection) для більш простого задання граничних умов, для цього потрібно виділити площину та задати вхідні налаштування.

Для поставленої задачі створимо наступні граничні умови: Inlet (Вхід), Symmetry (симетрія), Outlet (Вихід), Wall (Стіна), «WW 1-1», «WW 1-2», «WW 2-1», «WW 2-2». Цей метод відрізняється від попереднього який був описаний вище тим,

що не створювався інтерфейс між водним середовищем і твердим тілом. У даному методі тиск, який отримає гранична умова Wall буде перенесений на тверде тіло.

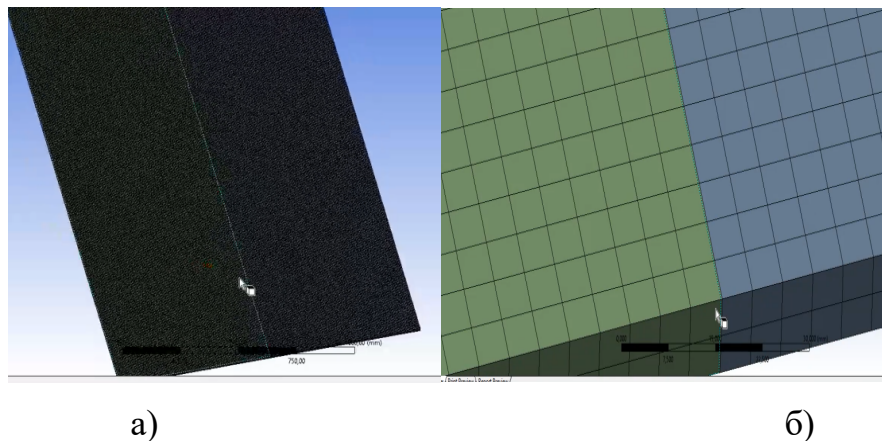


Рисунок 3.30 – Побудована скінчено-елементна сітка: а) в масштабі підлаштованому до розмірів екрану; б) в збільшеному вигляді для покращення візуалізації

Також створили інтерфейси між елементами рідини, щоб рідина могла спокійно проходити з однієї частини в іншу (зліва на право та навпаки) (рис. 3.31, а). Теж самий інтерфейс зробили між іншими центральними частинами, тобто рідина може з центральної великої частини перетікати в малу частину, яка знаходиться в тріщині (рис. 3.31, б).

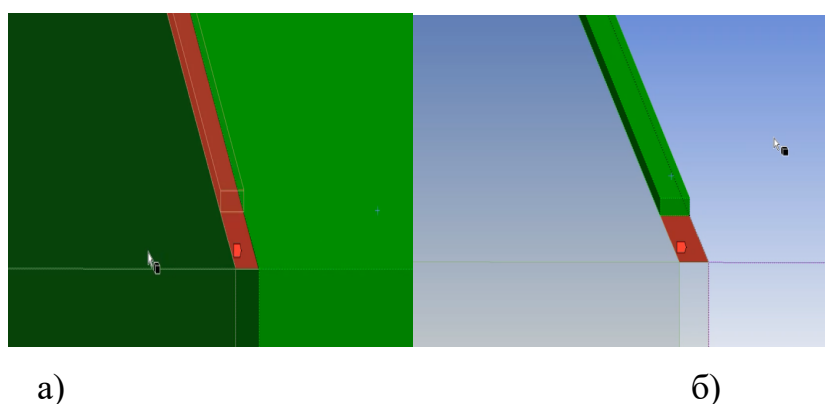


Рисунок 3.31 – а) Створення іменних наборів «WW 1-2» та «WW 1-1»; б) Створення іменних наборів «WW 2-1» та «WW 2-2»

У блоці Setup вже за замовчуванням створився один Default Domain (середовище) дамо йому назву Fluid (рідина). Задамо два інтерфейса між елементами водного середовища, щоб рідина могла вільно перетікати з однієї області і іншу. За допомогою контактного меню Insert - Boundary створюємо Inlet (Вхід). У вікні Boundary Details змінюємо пункт Option на Normal Speed, котрий дорівнює 3 м/с та Turbulence Option ставимо High=10%. Графічне зображення граничної умови зображено на (рис. 3.32).

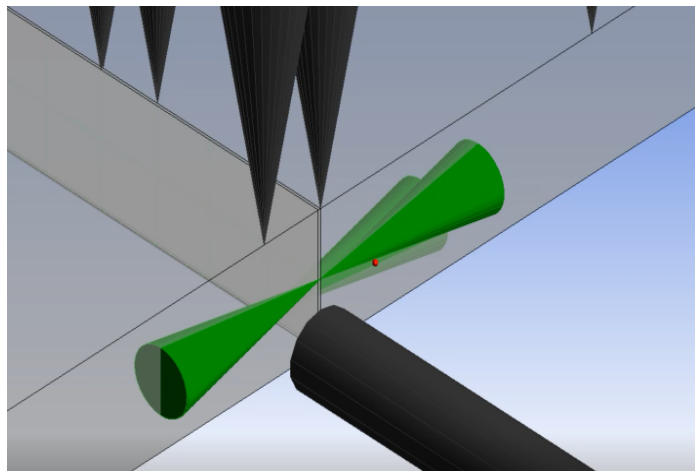


Рисунок 3.32 – Графічне зображення граничної умови WW1, WW2

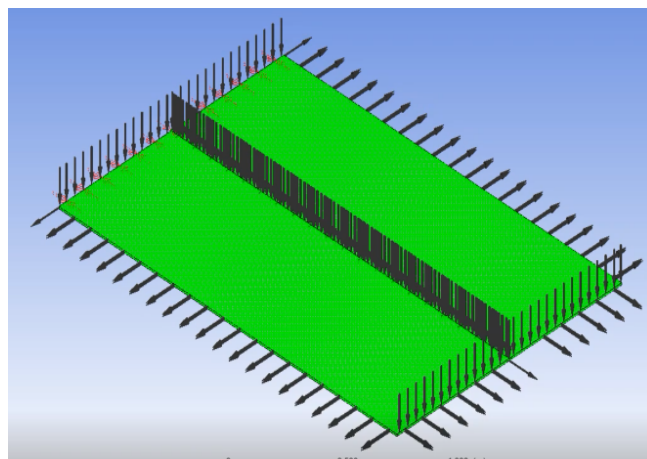


Рисунок 3.33 – Кінцевий результат імітаційної моделі з граничними умовами

На блоку Solution визвемо контактне меню та натиснемо на Display Monitors, у відкритому вікні почне відображатись процес розрахунку імітаційної моделі та графіки по основним величинам, які можна буде оцінити (рис. 3.34). Точність розрахунку регулюється в блоці Setup.

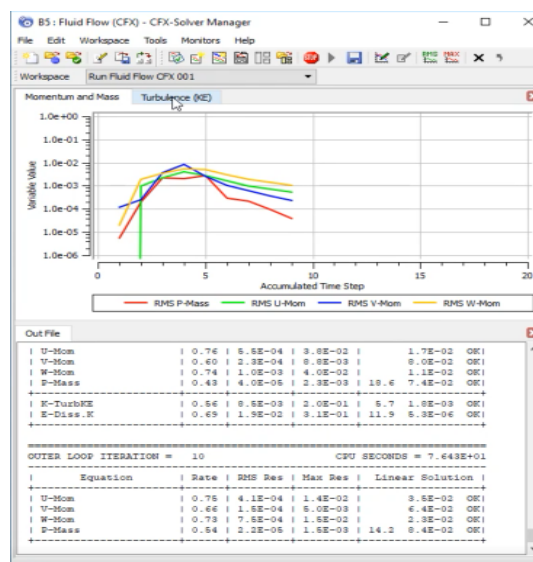


Рисунок 3.34 – Вікно відображень процесу розрахунку імітаційної моделі

Останнім кроком є відображення результатів моделювання навантажень від впливу течії. Для цього в шаблоні Fluid Flow (CFX) необхідно вибрати модуль Results. Для подальшого аналізу потрібно відобразити діаграми контурного поля тиску течії. Подвійним кліком вибираємо граничну умову Wall (Стіна), після чого відкриється вікно детального налаштування. У вкладці Details of Wall в пункті Variable вибираємо Pressure (Тиск).

Для побудови векторного поля швидкості течії необхідно натиснути на положення Contour, після чого у полі Locations створюємо площину Plane1, далі відкриється вікно детального налаштування. Обираємо площину YZ Plane, та визначаємо зміщення цієї площини відносно глобальної системи координат по вісі X візьмемо значення -255,155 мм. Після чого повертаємось знову у векторне поле, де відкриється вікно детального налаштування (рис. 3.35). У полі Locations потрібно

обрати область Plane1. У полі Sampling обираємо Vertex (рівномірне розташування векторів), далі з'явиться поле # of points (кількість векторів), в якому вводимо значення 5000. Результат зображений на (рис. 3.36).

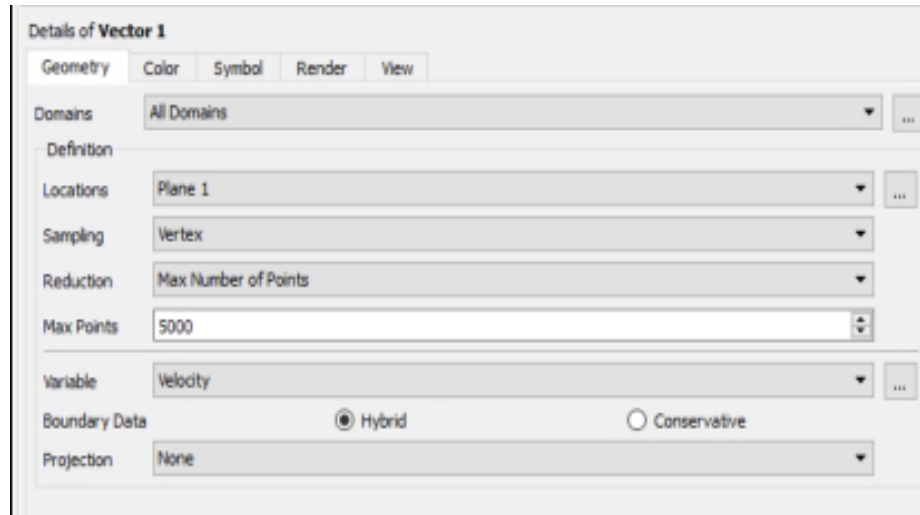


Рисунок 3.35 – Вікно детального налаштування діаграми векторного поля.

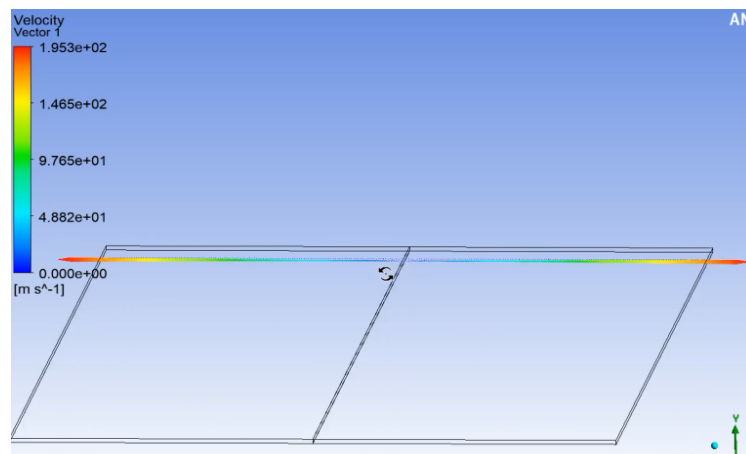


Рисунок 3.36 – Діаграма векторного поля швидкості водного потоку

З отриманого зображення видно, що вектори швидкості рідини від центру не можуть дуже швидко вийти, але тиск рідини вкрай великий, тому всередині швидкість мала, але по краях, де рідина може вільно вийти, швидкість збільшується, тобто рідина прискорюється і досягає позначки 195м/с.

Змінюючи в вікні налаштувань площину ZX Plane, та змістивши цю площину відносно глобальної системи координат по вісі Y зі значенням 890,12 мм побачимо як рідина розходитьсся від центру за межі пластини (рис. 3.37).

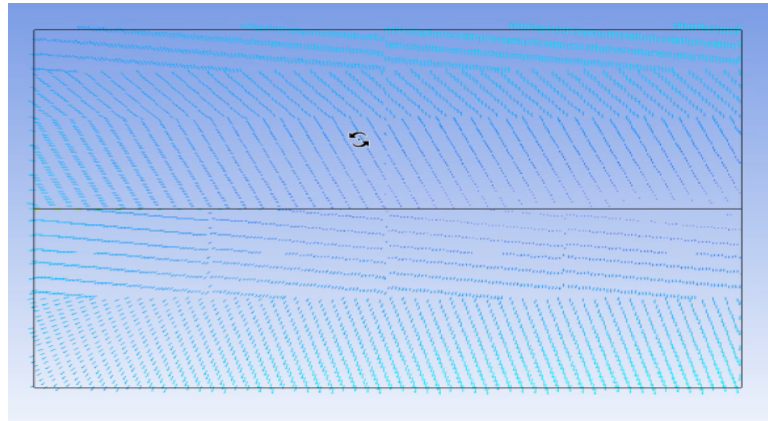


Рисунок 3.37 – Діаграма векторного поля швидкості водного потоку у збільшеному вигляді

### 3.1.2 Статичний аналіз зварного двостороннього Y-подібного шву з тріщиною та без тріщини

Метою статичного аналізу є оцінювання напружено-деформованого стану конструкції, що знаходиться під дією зовнішніх сил. Для моделювання статичного навантаження на елемент обшивки корабля будемо використовувати шаблон Static Structural. Для цього подвійним кліком лівої кнопки мишки або перетягуванням необхідно помістити модуль у вікно проекту.

Структура даного модулю (рис. 3.38) містить сім наступних блоків:

1. Static Structural – назва модуля;
2. Engineering Data – модель матеріалів;
3. Geometry – блок створення/редагування геометричної моделі;
4. Mesh – блок формування скінчено-елементної сітки;
5. Setup – блок попередніх установок таких, як граничні умови та матеріал;
6. Solution – розрахунковий блок;
7. Results – блок відображення результатів моделювання.

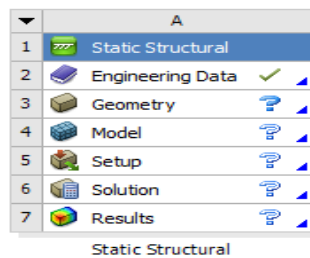


Рисунок 3.38 - Модуль Static Structural

Додамо наступний макет системи, адже без нього не зможемо ввести потрібні дані в Engineering Data. У робочому вікні Engineering Data на панелі розрахункових шаблонів Toolbox додаємо модуль Failure. Цей модуль потрібний для перевірки руйнування. Блок Engineering Data дозволяє працювати як з встановленими так і з своїми моделями матеріалів.

Спочатку потрібно завантажити геометричну модель, тобто тривимірну модель елемента обшивки корабля. Для завантаження геометрії потрібно вибрати метод Import Geometry (рис. 3.39).

Далі потрібно створити скінчено-елементну сітку Mesh. Вибрати пункт Physics Preference та встановити Explicit. Щоб сітка побудувалась, потрібно в Body Sizing вибрати всі елементи пластини = 10 мм, та Body Sizing 2 вибрати всі елементи зварного шва = 0,5мм. Для її побудови оберемо в полі Details of Method Tetrahedrons. Результат побудови зображений на рис. 3.40. У процесі було побудовано 266127 вузлів та 155377 елементів.

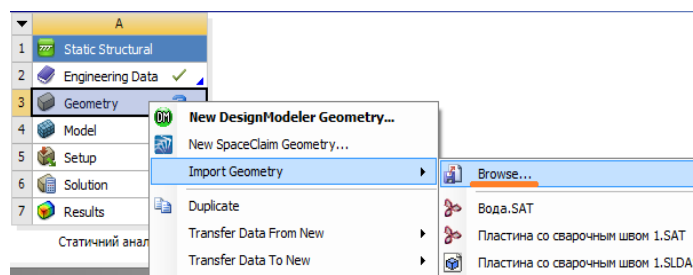


Рисунок 3.39 – Імпортування тривимірної моделі елемента обшивки корабля з подвійним Y-подібним зварним швом



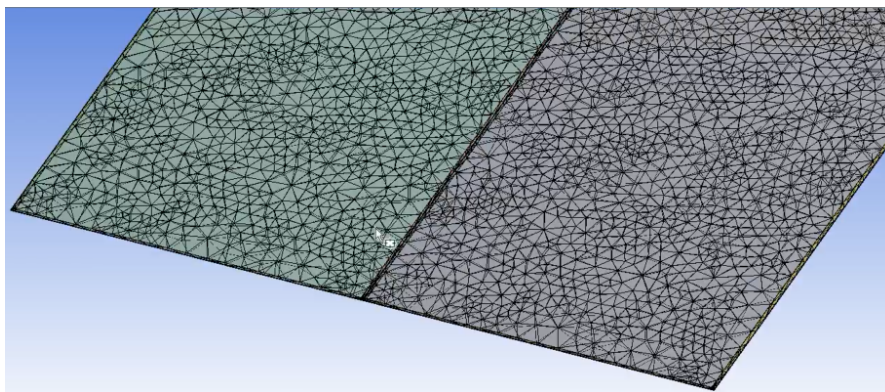


Рисунок 3.40 – Результат побудови сітки корабля з подвійним Y-подібним зварним швом та тріщиною

У рамках даного дослідження також побудуємо сітку для пластини зі зварним швом без тріщин. Побудова моделі така ж сама, як і у моделі з тріщиною, лише у цій моделі розрізано зварні шви, а пластини залишились цільними. Для побудови сітки потрібно в Body Sizing вибрати моделі водного середовища = 5 мм, та вбудований алгоритм сітки Adaptive Sizing = 0,125 мм. Результат побудови зображений на (рис. 3.41). У процесі було побудовано 324012 вузлів, 214668 елементів для елементів без тріщини.

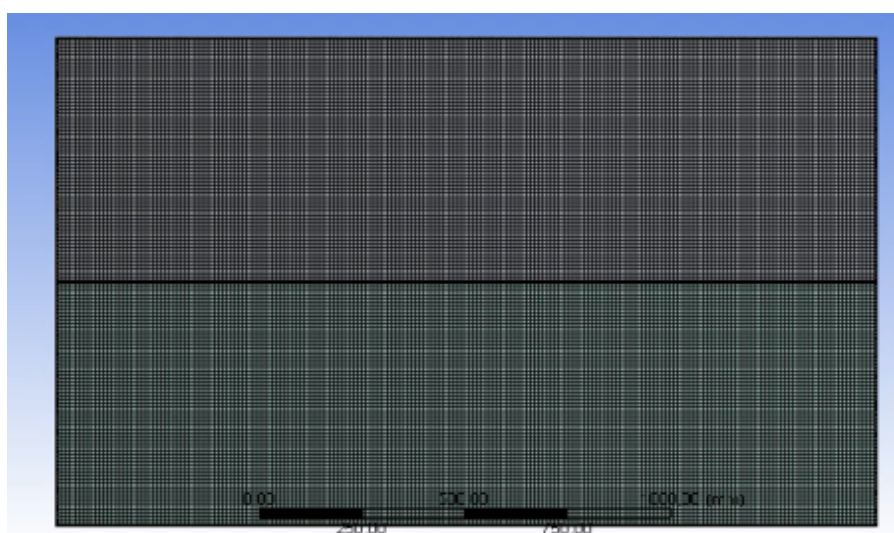


Рисунок 3.41 – Результат побудови сітки елемента обшивки корабля з подвійним Y-подібним зварним швом без тріщини

Для обраної моделі були задані навантаження, у вигляді тиску Pressure. Для розподілення тиску на поверхні пластини, треба обрати всі площини, які стикаються з рідиною, та до яких буде прикладено тиск. На (рис. 3.42, а) зображено необхідні площини, наступним кроком треба визначити величину навантаження. У даній роботі було встановлено граничні умови типу Wall.

За допомогою функції Fixed Support (рис. 3.42,б) для обраної моделі були створені граничні умови, а саме, модель була зафіксована по всіх зварних швах. Було пораховано на таких граничних умовах: Environment Temperature - 5°C та Step End Time рівний 0,0036.

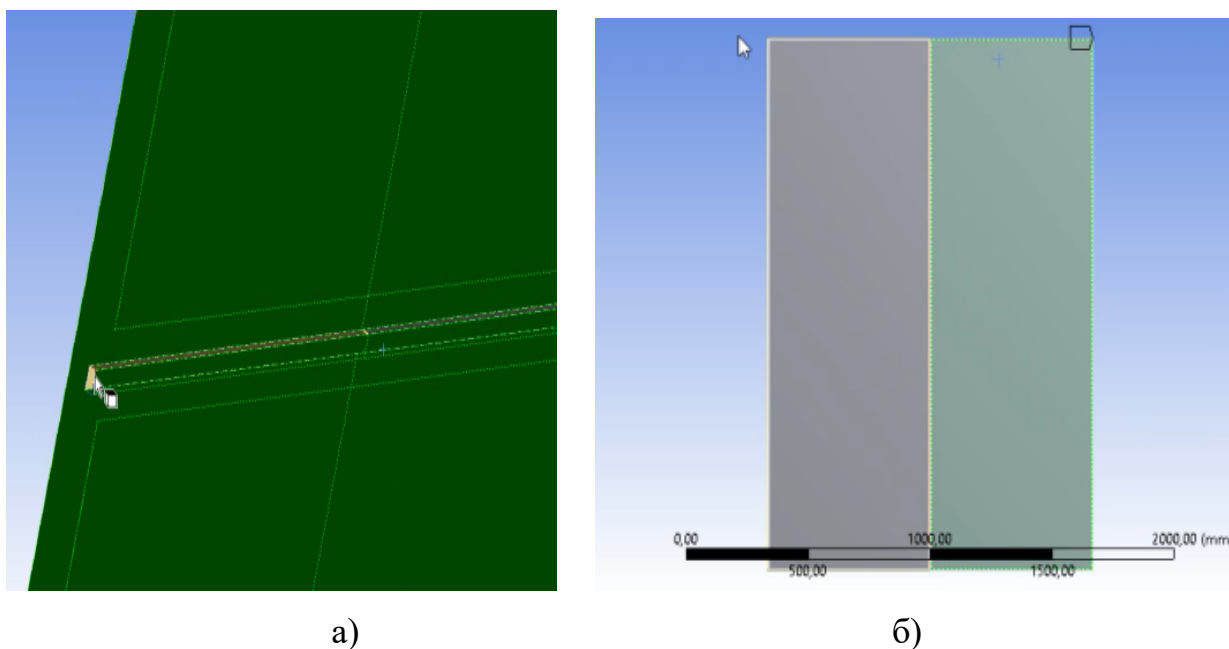


Рисунок 3.42 – а) Граничні навантаження тиск (Pressure); б) Граничні умови Fixed Support

Для подальшого аналізу додано необхідні епюри – переміщення (Total Deformation), деформації (Equivalent Elastic Strain) та напруження (Equivalent Stress) (рис. 3.43). Останнім кроком буде обрахунок доданих епюр. Для аналізу напружень та деформацій елемента обшивки корабля було обрано інструмент Fatigue (рис. 3.44). Далі в інструмент Fatigue було додано епюру Safety Factor, який показує коефіцієнт запасу. Останнім кроком потрібно запустити Static Structural.

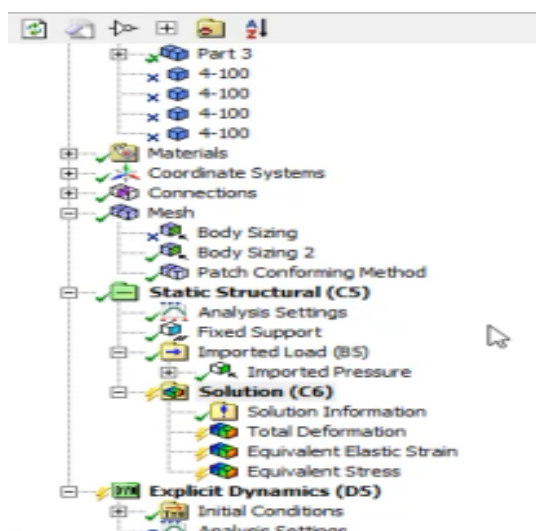


Рисунок 3.43 – Результат додавання необхідних епюр

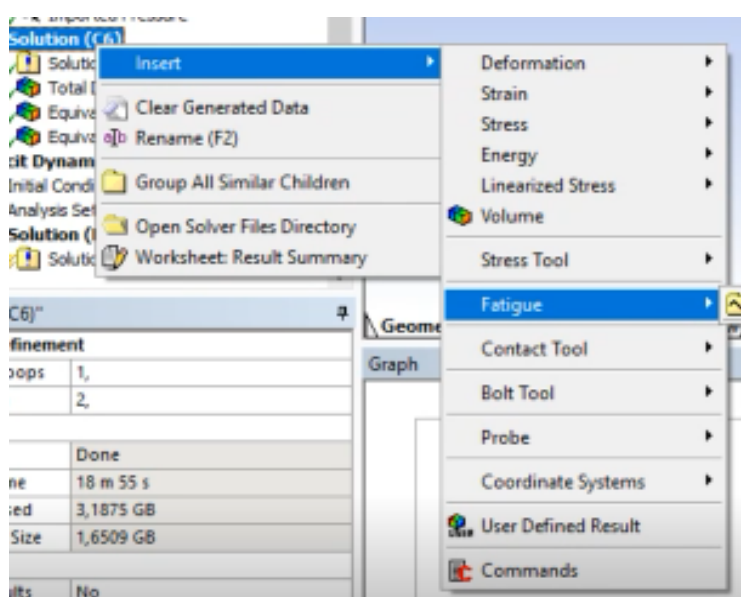


Рисунок 3.44 – Результат додавання інструменту Fatigue

Для пластини з подвійним Y-подібним зварним швом без тріщини в налаштуваннях статичного аналізу використаємо ті ж самі граничні умови та зовнішні навантаження, що були задані вище у розрахунку пластини з подвійним Y-подібним зварним швом з тріщиною.

### 3.1.3 Динамічний аналіз елемента обшивки корабля з тріщиною та без тріщини на зварному двосторонньому Y-подібному шву

Для того, щоб відбулось повне руйнування об'єкту було використано модуль Explicit Dynamics, досліджує накопичення матеріалу при циклічному навантаженні. Проведення спільного аналізу дозволяє використовувати результати структурного аналізу, як вихідних даних для аналізу динаміки. Методика побудови розрахункової моделі для структурного аналізу була наведена вище, тому скористаємося отриманими результатами для проведення аналізу динаміки.

Для цього у вікні проекту необхідно викликати контекстне меню блоку Solution і обрати передачу даних до нового модуля (рис. 3.45).

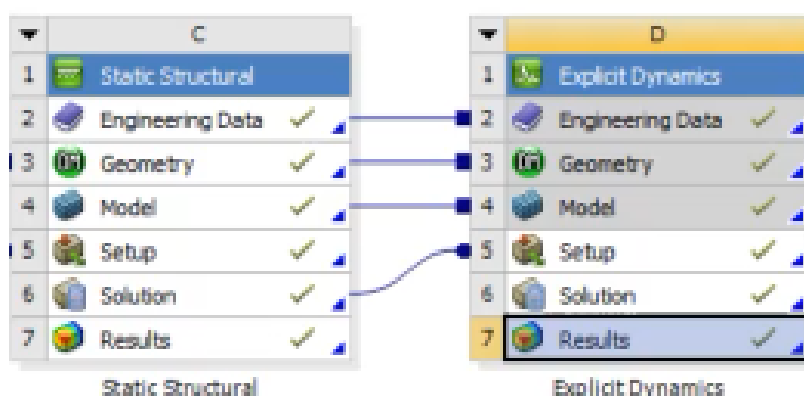


Рисунок 3.45 – Поєднання модулів для проведення спільного аналізу

Дані, які ми отримали для сітки в модулі Static Structural передаємо до модулю Explicit Dynamics. Єдина відмінність – у модулі Mesh необхідно обов'язково вибрати пункт Physics Preference та встановити Explicit. На рисунку 3.46 можна побачити сгенеровану сітку для пластини з тріщиною. Такі ж дії застосовуємо до скінченно-елементної сітки пластини без тріщини.

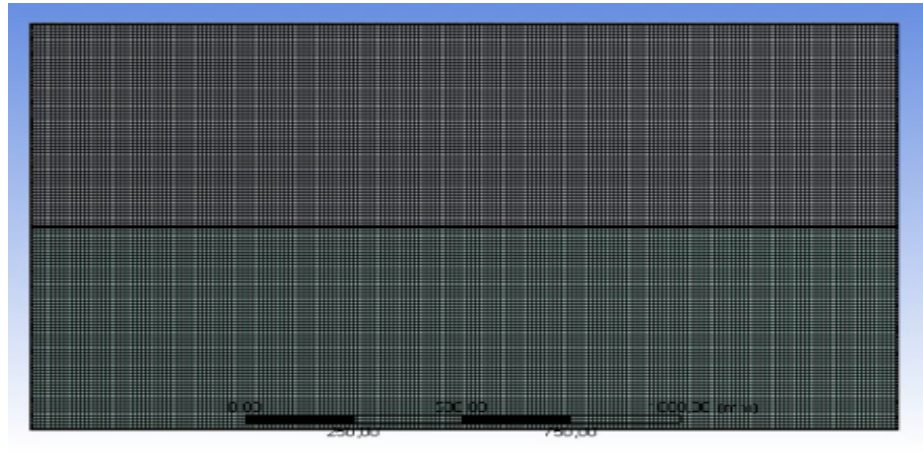


Рисунок 3.46 – Побудова скінченної елементної сітки модуля Explicit Dynamics

Наступним кроком для виконання розрахунку є встановлення навантажень та вибір характеристики граничного умов об'єкту. До основних налаштувань модуля належить: налаштування аналізу Analysis Settings та імпорт навантажень Imported Load. Серед загальних налаштувань слід змінити значення температури на 5°C, максимальне число циклів 10000, End Time = 0.0036 та включили пункт On Material Failure, тобто якщо матеріал зруйнується, то це з'явиться на самій моделі.

За допомогою інструмента Fixed Support було встановлено всі необхідні граничні умови (рис. 3.47). У даному випадку це зводиться до жорсткого закріплення самих зварних швів.

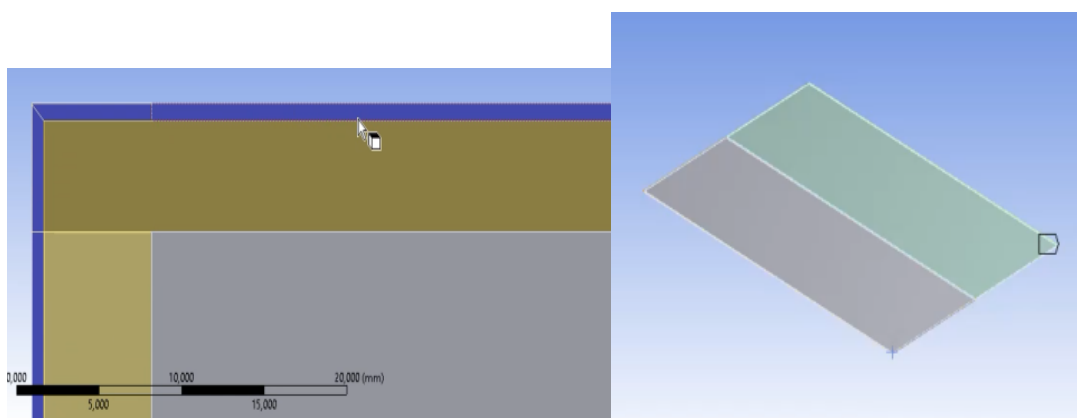


Рисунок 3.47 – Встановлення граничних умов

По аналогії застосуємо такі ж самі граничні умови та зовнішні навантаження, які були описані раніше в статичному аналізі, для проведення аналізу динаміки. За допомогою інструмента Imported Pressure був перенесений з розрахунку гідрогазодинаміки тиск на всі площини, які дотикаються до рідини.

Після закінчення імпорту розподіл векторів навантаження відобразиться на геометричній моделі. Для імпортування навантаження з модуля Static Structural, в дереві моделі потрібно обрати Imported Load, вибрати навантаження статичного модуля. (рис.3.48). Останнім етапом моделювання є встановлення методів обчислення для модуля Explicit Dynamics та відправка задачі на розрахунок.

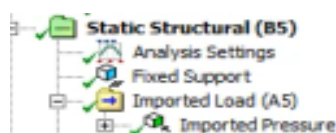


Рисунок 3.48 – Імпорт навантажень з модуля Static Structural.

### 3.2. Результати імітаційного моделювання елемента обшивки корабля

Метою даної роботи є визначення впливу зовнішніх динамічних навантажень на елементи обшивки кораблів, з'єднані між собою у процесі зварювання та при наявності у зварних швах дефектів чи тріщин за допомогою імітаційного моделювання.

Для порівняння результатів, було проведено моделювання двох різних геометричних моделей:

1. Елементу обшивки корабля на зварному двосторонньому Y-подібному шві без тріщини.
2. Елементу обшивки корабля на зварному двосторонньому Y-подібному шві з тріщиною.

За допомогою даних методик було проведено аналіз напружено-деформованого стану обшивки корабля.

Отже, за даними аналізу напружень та деформацій, можна зробити висновок, що найбільші деформації виникають в центральній частині зварного шва, а найбільші напруження розподілені по краю пластини зі сторони дії зовнішнього впливу. Чисельні значення наведено у табл. 3.1-табл. 3.3.

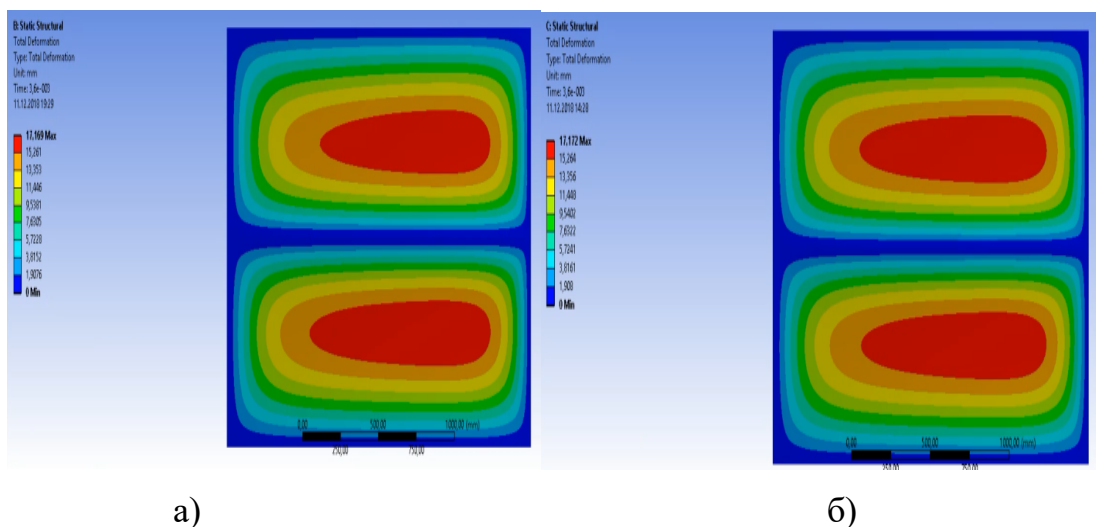


Рисунок 3.49 – Результати моделювання: а) Переміщення в модулі Static Structural елемента обшивки корабля в зварному двосторонньому Y-подібному шві без тріщини; б) Переміщення в модулі Static Structural елемента обшивки корабля в зварному двосторонньому Y-подібному шві з тріщиною

На рис. 3.49 зображено епюри переміщення елементів обшивки корабля зі зварним двостороннім Y-подібним типом шва з тріщиною та без тріщини. Дивлячись на зображення, можна зробити висновок, що максимальні переміщення зосереджені в деяких областях навколо центра пластин та зменшуються при наближенні до зварних швів по краях пластин. Кількісна характеристики майже не змінюється.

Таблиця 3.1 - Результати моделювання (Переміщення)

| Дві різні геометричні моделі | Порогові значення | Статичний аналіз |
|------------------------------|-------------------|------------------|
| 1                            | 2                 | 3                |

Продовження таблиці 3.1

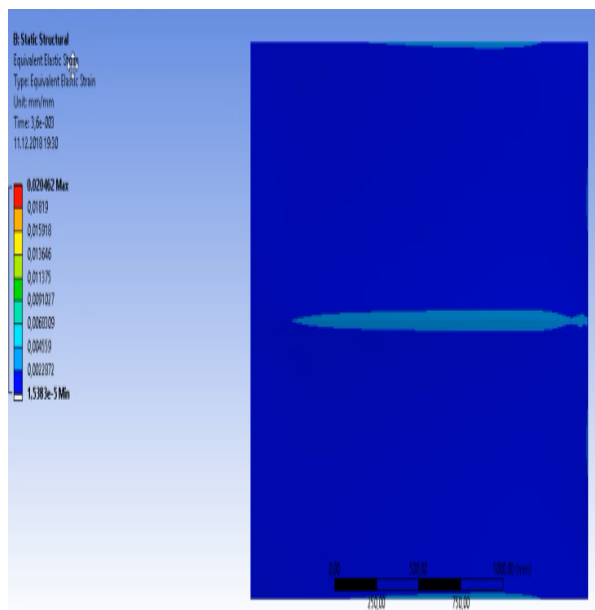
| 1  | 2                              | 3      |
|--|--------------------------------|--------|
| 1. Двосторонній<br>Y-подібний шов без<br>тріщини | Максимальне<br>переміщення, мм | 17,169 |
| 2. Двосторонній<br>Y-подібний шов з<br>тріщиною  | Максимальне<br>переміщення, мм | 17,172 |

Таблиця 3.2 - Результати моделювання (Деформація)

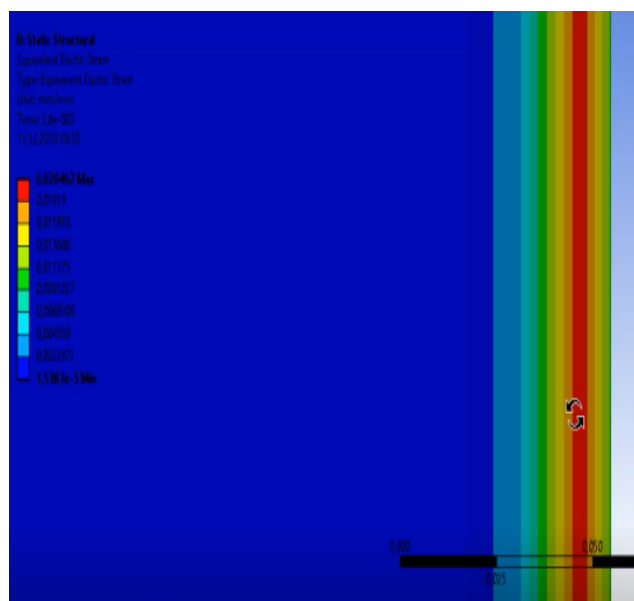
| Дві різні геометричні<br>моделі                  | Порогові<br>значення             | Статичний аналіз       |
|--|----------------------------------|------------------------|
| 1. Двосторонній<br>Y-подібний шов без<br>тріщини | Максимальна<br>деформація, мм/мм | 0,020462               |
|  | Мінімальна<br>деформація, мм/мм  | $1,5383 \cdot 10^{-5}$ |
| 2. Двосторонній<br>Y-подібний шов з<br>тріщиною  | Максимальна<br>деформація, мм/мм | 0,020888               |
|  | Мінімальна<br>деформація, мм/мм  | $1,5119 \cdot 10^{-5}$ |

На рис. 3.50 зображено епюри відносної деформації елемента обшивки корабля зі зварним двостороннім Y-подібним типом шва з тріщиною та без тріщини. З зображень видно, що максимальні зони деформації спостерігаються в області зварного шва від центру до країв шва, але найбільші деформації спостерігаються саме в області тріщини. У випадку епюри зі зварним швом без тріщини, найбільші деформації знаходяться в центрі площини симетрії. Там де знаходиться хрестовина присутні малі деформації, трохи далі від хрестовини ці деформації в площині симетрії доходять до максимуму.

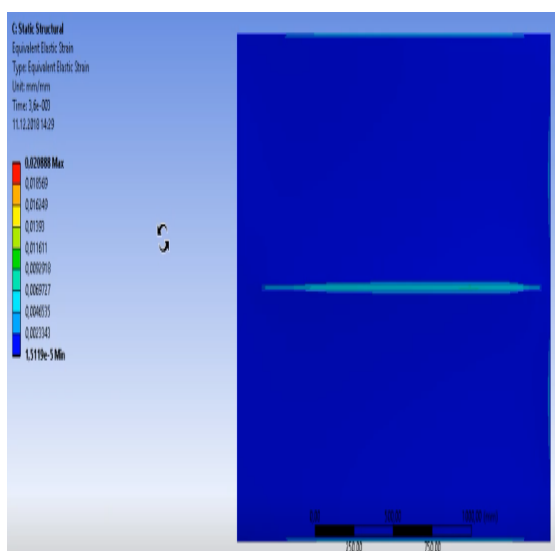




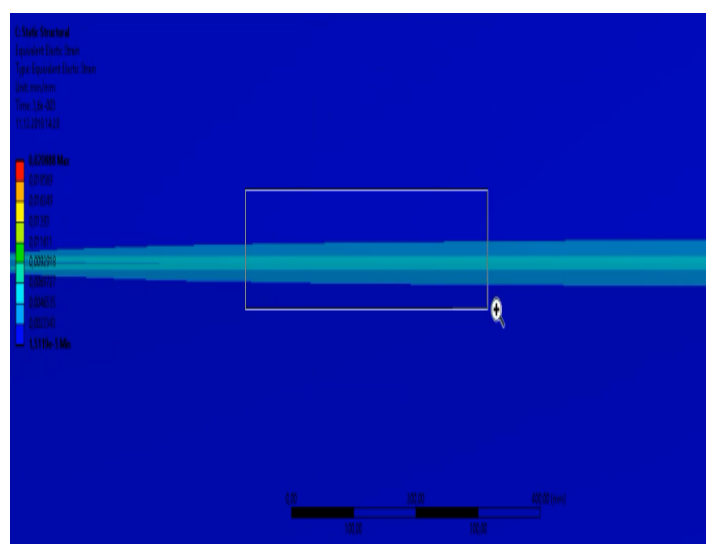
а)



б)



в)



г)

Рисунок 3.50 – Результати моделювання: а) Деформація в модулі Static Structural елемента обшивки корабля в зварному двосторонньому Y-подібному шві без тріщини; б) Деформація в модулі Static Structural елемента зварного двостороннього Y-подібного шва без тріщини у збільшеному виді справа; в) Деформація в модулі Static Structural елемента обшивки корабля в зварному двосторонньому Y-подібному шві з тріщиною; г) Деформація в модулі Static Structural елемента обшивки корабля в зварному двосторонньому Y-подібному шві з тріщиною в збільшеному масштабі

Таблиця 3.3 - Результати моделювання (Напруження)

| Дві різні геометричні моделі               | Порогові значення           | Статичний аналіз |
|--|-----------------------------|------------------|
| 1. Двосторонній Y-подібний шов без тріщини | Максимальні напруження, МПа | 3753             |
|  | Мінімальні напруження, МПа  | 3,0709           |
| 2. Двосторонній Y-подібний шов з тріщиною  | Максимальні напруження, МПа | 3895,2           |
|  | Мінімальні напруження, МПа  | 2,3435           |

На рис. 3.51 зображено епюри напруження елемента обшивки корабля зі зварним двостороннім Y-подібним типом шва з тріщиною та без тріщини. З зображень видно, що у зварному шві без тріщини максимальні напруження спостерігаються в області зварного шва 3753 МПа. З правого боку знаходяться максимальні напруження спостерігаються саме в зварному шві в площині симетрії. Модель зварного шва з тріщиною теж має найбільші напруження в області зварних швів. На зварних швах напруження не перевищує 1732,5 МПа, але цього може бути достатньо, щоб зруйнувати шов.

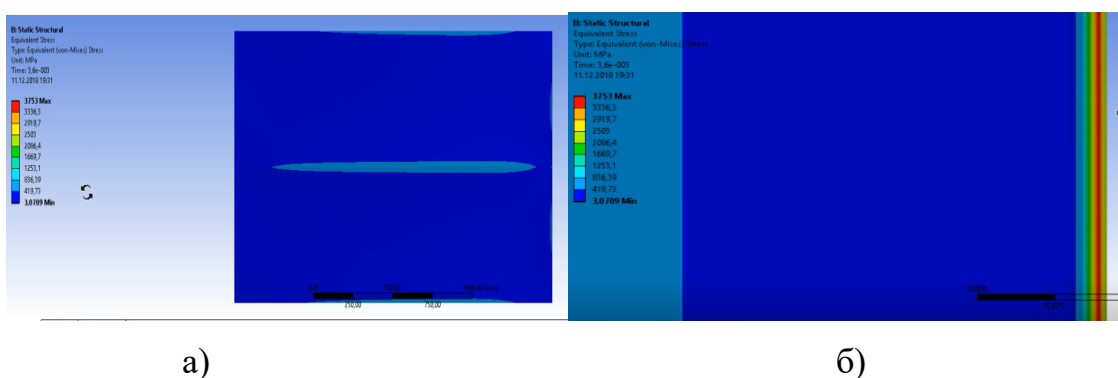


Рисунок 3.51 – Епюри напруження елементів обшивки корабля в модулі Static Structural: а) з Y-подібним двостороннім зварним швом без тріщини; б) Без тріщини у збільшеному виді справа

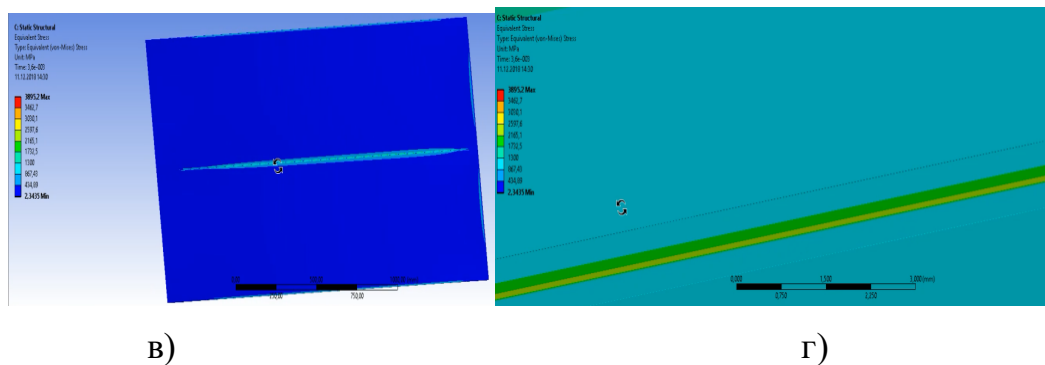


Рисунок 3.51, аркуш 2: в) З Y-подібним двостороннім зварним швом з тріщиною; г) З тріщиною в збільшеному масштабі

З отриманих результатів на рис. 3.52 можна зробити висновок, що коефіцієнт запасу менше одиниці адже всю область займає червоний колір, це означає, що в центрі зварних швів дуже високий шанс, що пластина зруйнується. Трохи гірший коефіцієнт запасу має пластина без тріщини, але все таки по краях пластини коефіцієнт запасу все ще великий. В іншій пластині з тріщиною теж великий шанс руйнування, але в зонах по крайніх частинах зварних швів є достатньо зеленого кольору, це означає, що зварні шви не так швидко зруйнуються. Якщо дивитись на пластину знизу, то в області центрального зварного шва коефіцієнт запасу достатньо великий і шансів зруйнуватися у швів знизу набагато менше, ніж зверху пластини.

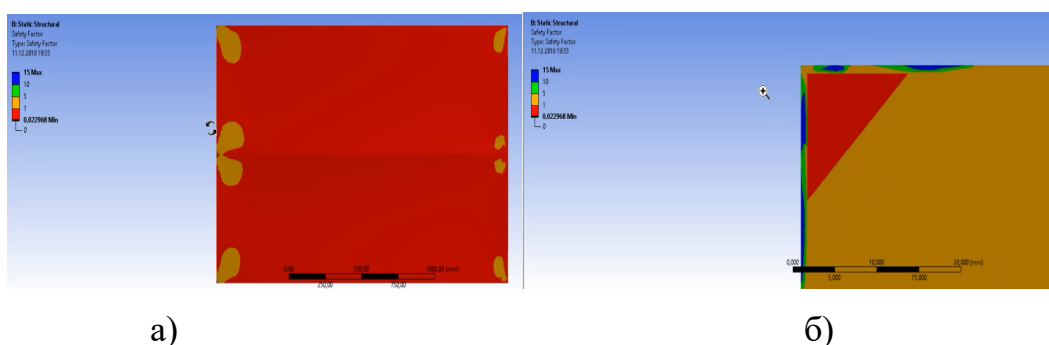
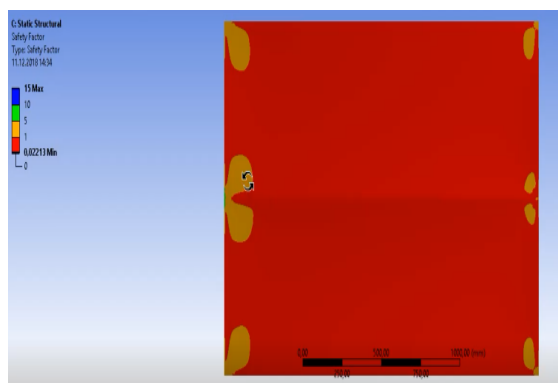
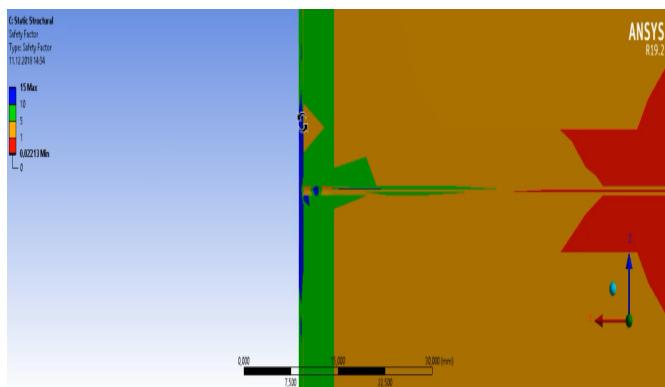


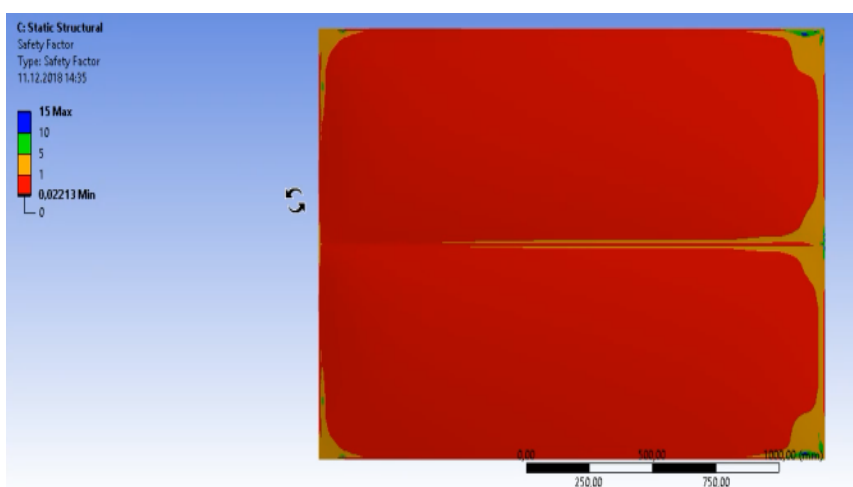
Рисунок 3.52 – Результати моделювання: а) Коефіцієнт запасу елемента обшивки корабля в зварному Y-подібному двосторонньому шві без тріщини; б) Коефіцієнт запасу у збільшеному виді в лівій частині шва без тріщини



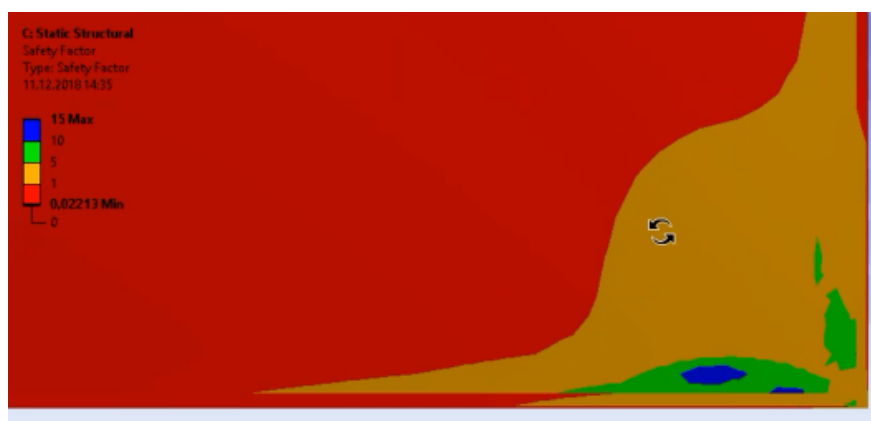
в)



г)



д)



е)

Рисунок 3.52, аркуш 2: в) Коефіцієнт запасу в зварному Y-подібному двосторонньому шві з тріщиною; г) Коефіцієнт запасу у певній збільшеній області в якій руйнування не відбудеться за наявності тріщини; д) Коефіцієнт запасу зі зворотної сторони пластини; е) Коефіцієнт запасу зі зворотної сторони в збільшеному виді

У табл. 3.4-табл. 3.6 наведено результати розрахунку модуля Explicit Dynamics.

Таблиця 3.4 - Результати моделювання (Переміщення)

| Дві різні геометричні моделі               | Порогові значення           | Динамічний аналіз |
|--|-----------------------------|-------------------|
| 1. Двосторонній Y-подібний шов без тріщини | Максимальне переміщення, мм | 17,137            |
| 2. Двосторонній Y-подібний шов з тріщиною  | Максимальне переміщення, мм | 17,166            |

На рис. 3.53 зображено епюри переміщення елементів обшивки корабля зі зварним двостороннім Y-подібним типом шва з тріщиною та без тріщини. Дивлячись на зображення, можна зробити висновок, що максимальні переміщення зосереджені в деяких областях навколо центра пластин та зменшуються при наближенні до зварних швів по краях пластин. Кількісна характеристики майже не змінюється.

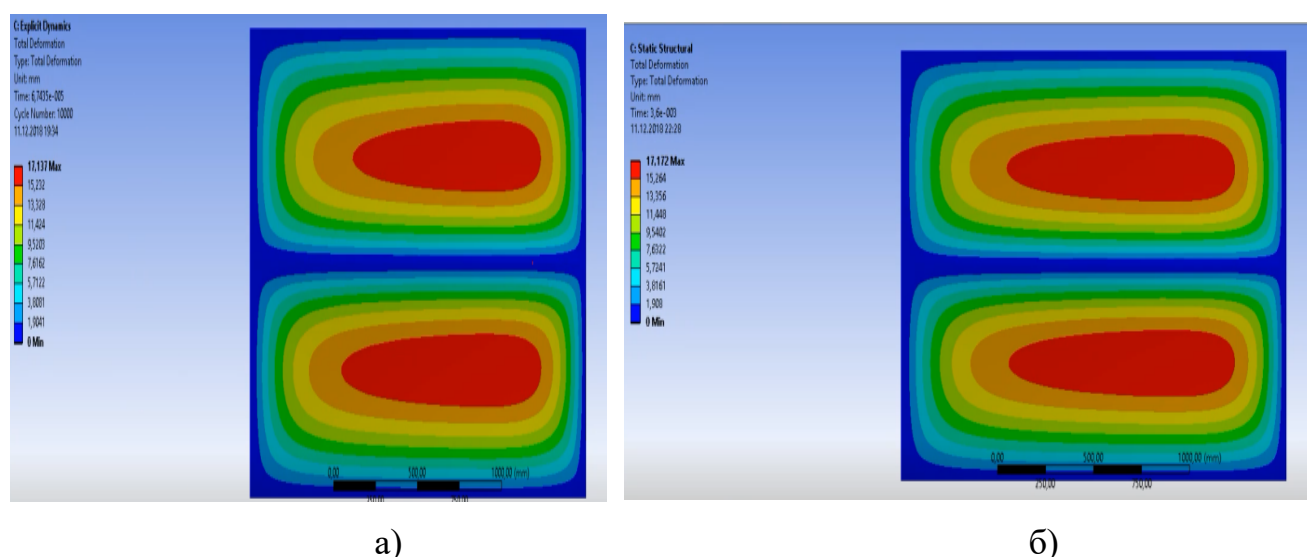


Рисунок 3.53 – Епюри переміщення елементів обшивки корабля в модулі Explicit Dynamics: а) з Y-подібним двостороннім зварним швом без тріщини; б) з Y-подібним двостороннім зварним швом з тріщиною

Таблиця 3.5 - Результати моделювання (Деформація)

| Дві різні геометричні моделі               | Порогові значення             | Динамічний аналіз |
|--|-------------------------------|-------------------|
| 1. Двосторонній Y-подібний шов без тріщини | Максимальна деформація, мм/мм | 0,14087           |
| 2. Двосторонній Y-подібний шов з тріщиною  | Максимальна деформація, мм/мм | 0,0222333         |

На рис. 3.54 зображено епюри відносної деформації елемента обшивки корабля зі зварним двостороннім Y-подібним типом шва з тріщиною та без тріщини. З зображень видно, що у випадку епюри зі зварним швом з тріщиною максимальні зони деформації спостерігаються в області зварного шва, на краях немає руйнувань, але на шві, де була тріщина відбулось руйнування. У випадку епюри зі зварним швом без тріщини, руйнування відбулись саме у зварному шві від центру до країв пластини.

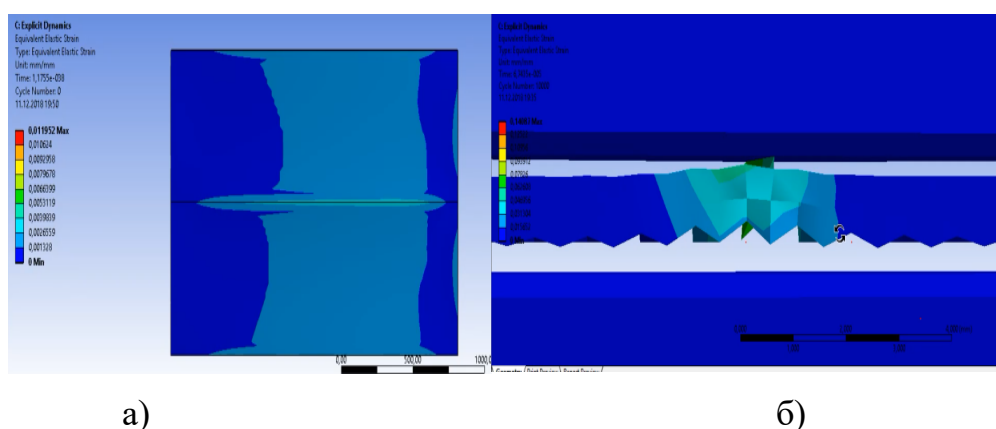


Рисунок 3.54 – Епюри деформації елементів обшивки корабля в модулі Explicit Dynamics: а) У зварному двосторонньому Y-подібному шві без тріщини; б) Руйнування зварного двостороннього Y-подібного шва без тріщини у збільшеному виді

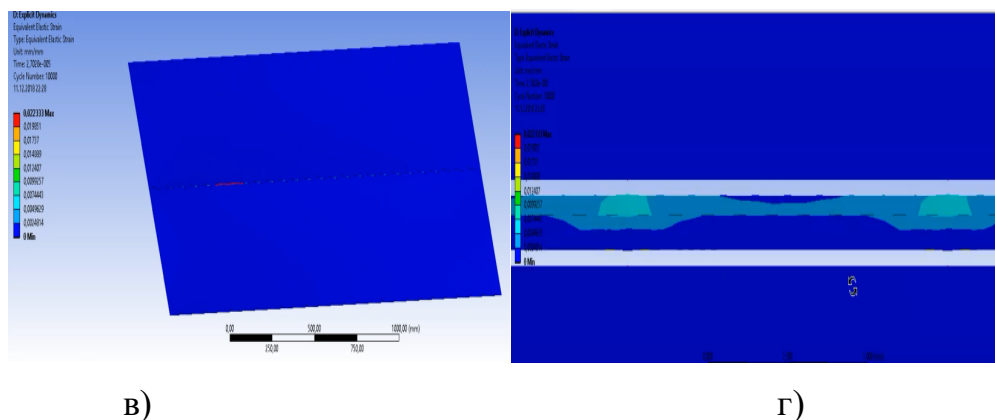


Рисунок 3.54, аркуш 2: в) У зварному двосторонньому Y-подібному шві з тріщиною; г) Руйнування зварного двостороннього Y-подібного шва з тріщиною у збільшеному виді

Таблиця 3.6 - Результати моделювання (Напруження)

| Дві різні геометричні моделі               | Порогові значення           | Динамічний аналіз |
|--|-----------------------------|-------------------|
| 1. Двосторонній Y-подібний шов без тріщини | Максимальні напруження, МПа | 1885              |
| 2. Двосторонній Y-подібний шов з тріщиною  | Максимальні напруження, МПа | 2607,6            |

На рис. 3.55 зображено епюри напруження елемента обшивки корабля зі зварним двостороннім Y-подібним типом шва з тріщиною та без тріщини. З зображень видно, що у зварному шві без тріщини максимально високе напруження спостерігаються в області зварного шва 18853 МПа. З правого боку, де розташована хрестовина в площині симетрії, не відбувається руйнування. По всій довжині присутні деформації та руйнування зварного шва. У моделі зварного шва з тріщиною теж відбулось руйнування зварного шва, в інших частинах, а особливо в області симетрії

такого не спостерігалось. Присутня деформація по вільній частині краю в центральній частині шва. В області зварного шва, де знаходилась тріщина присутнє велике напруження. Руйнування зварного шва починається на  $1,363 \cdot 10^{-5}$  с. У моделі зі зварним двостороннім Y-подібним швом без тріщини руйнування шва починається на  $3,462 \cdot 10^{-5}$  с. Отже, з отриманих результатів моделювання можна зробити висновок, що модель на якій присутня тріщина відбувається руйнування у 2,5 разів швидше.

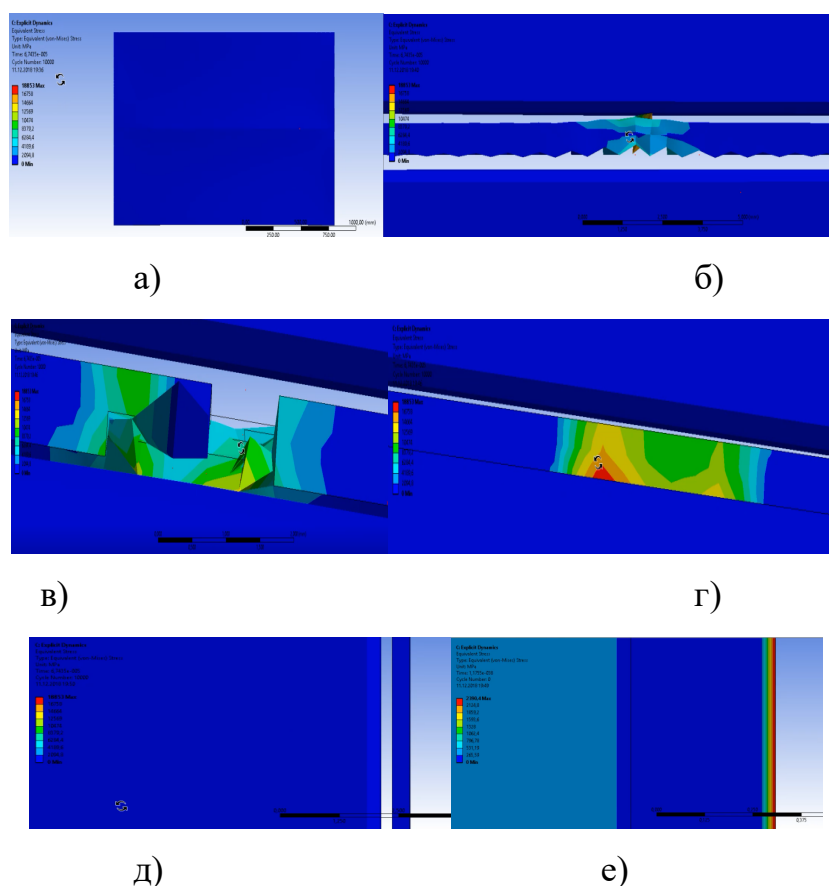


Рисунок 3.55 – Епюри напруження елементів обшивки корабля в модулі Explicit Dynamics: а) з Y-подібним двостороннім зварним швом без тріщини; б) Руйнування зварного двостороннього Y-подібного шва без тріщини у збільшеному виді; в) Y-подібний двосторонній зварний шов без тріщини розсіпається; г) Зруйнований Y-подібний двосторонній зварний шов з іншої сторони пластини; д) Зварний двосторонній Y-подібний шов без тріщини в площині симетрії у збільшеному виді справа; е) Зруйнована пластина відділилась від зварного шва



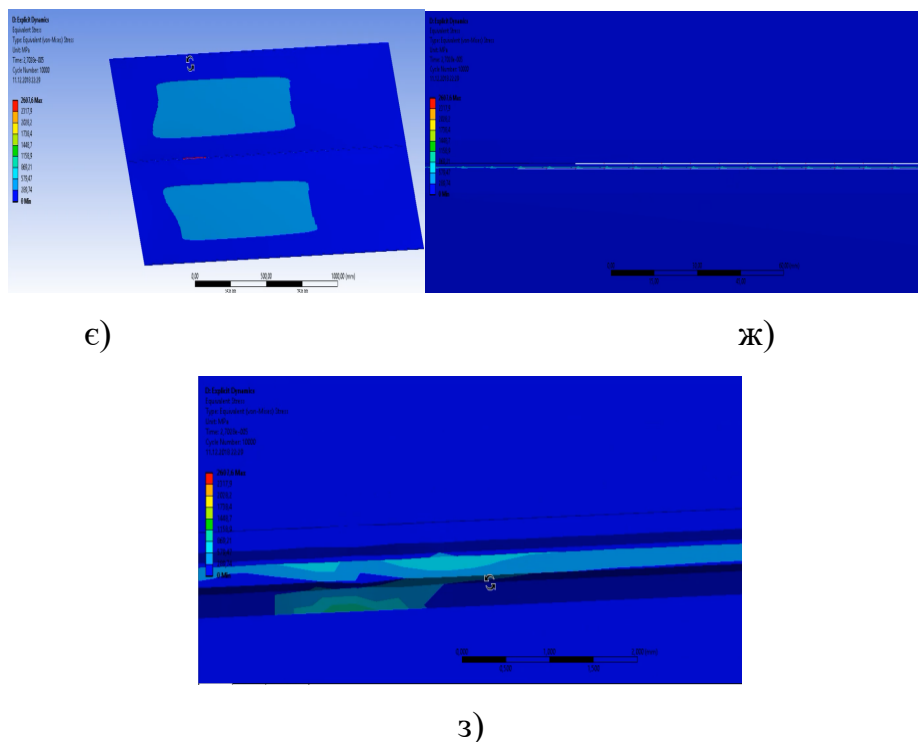


Рисунок 3.55, аркуш 2: а) З Y-подібним двостороннім зварним швом з тріщиною; б) Руйнування зварного двостороннього Y-подібного шва з тріщиною в) Зруйнований Y-подібний двосторонній зварний шов з тріщиною в збільшеному масштабі

### Висновки до розділу 3

Під час виконання даного розділу було отримано наступні результати:

1. Описано методику побудови імітаційної моделі сполученого аналізу рідина-конструкція у програмному середовищі ANSYS Workbench.

2. Проведено аналіз гідрогазодинаміки за допомогою модуля Fluid Flow (CFX). Показано характер розподілу тиску від течії швидкістю 3м/с у межах чотирьох пластин, з'єднаних між собою за допомогою зварювання. Використано геометричні моделі без пошкоджень та з пошкодженнями. Максимальний тиск від рідини складає 38-40МПа.

3. Проведено імітаційне моделювання елементів конструкції корабля під дією статичного навантаження від рідини. Показано, що найбільші напруження зосереджені в області симетрії зварного шва і складають 3753МПа для моделі без

тріщини і 3895МПа для моделі з тріщиною. Показано, що коефіцієнт запасу по міцності у деяких областях зберігається вищим за одиницю.

4. Проведено імітаційне моделювання елементів конструкції корабля під дією динамічного навантаження від рідини. Показано, що під дією змодельованих циклічних навантажень (у межах перших 10000 циклів) відбувається руйнування центрального зварного шва в обох моделях: без тріщини та з тріщиною. Показано, що при наявності тріщини у зварному шві руйнування конструкції відбувається в 2,5 рази швидше.

## РОЗДІЛ 4

### РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ “ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОШКОДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТА ОБШИВКИ КОРАБЛЯ”

Розроблення та виведення стартап-проекту на ринок передбачає здійснення низки кроків, в межах яких визначають ринкові перспективи проекту, графік та принципи організації виробництва, фінансовий аналіз та аналіз ризиків і заходи з просування пропозиції для інвесторів.

Метою розділу є формування інноваційного мислення, підприємницького духу та формування здатностей щодо оцінювання ринкових перспектив і можливостей комерціалізації основних науково-технічних розробок, сформованих у попередній частині магістерської дисертації у вигляді розроблення концепції стартап-проекту в умовах висококонкурентної ринкової економіки глобалізаційних процесів [75].

Завдання розділу полягає в маркетинговому аналізі перспектив реалізації науково-технічних рішень та пропозицій, оцінювання можливостей їх ринкового впровадження

#### 4.1 Опис ідеї проекту

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

Таблиця 4.1. Опис ідеї стартап-проекту

| <i>Зміст ідеї</i>  | <i>Напрямки застосування</i> | <i>Вигоди для користувача</i>  |
|--|------------------------------|--|
| Можливість проведення імітаційного моделювання інженерних розрахунків у різних сферах діяльності | Приладобудування             | Можливість подання імітаційних моделей в 2D і 3D<br>Зменшення витрат на виготовлення<br>Визначення норми напружень та терміну придатності<br>Збільшення нормативного терміну |

Продовження таблиці 4.1

|  |               |   |
|--|---------------|---|
|  | Промисловість | Збільшення нормативного терміну<br>Статистичні моделі, діаграми дозволяють оцінити різні виробничі ситуації, що призводить до прийняття швидких і правильних рішень при плануванні виробництва.<br>Зменшення витрат на поточні огляди |
|  | Будівництво   | Визначення умов небезпеки експлуатації<br>Збільшення нормативного терміну<br>Зменшення витрат на поточні огляди   |
|  | Медицина      | Збільшення нормативного терміну<br>Зменшення витрат на ремонтне обслуговування  |

Висновки: В імітаційному моделюванні виявляють безліч напрямків моделювання, адже тривимірну модель та дефектний розрахунок можна зробити для будь-якої сфери діяльності. Це і є найголовнішою перевагою на ринку послуг. Головними напрямками застосування є промисловість, приладобудування, будівництво, медицина, та ін.

Був визначений перелік слабких, сильних та нейтральних техніко-економічних характеристик (чим відрізняється від існуючих аналогів та заміників) та

властивостей ідеї потенційного товару є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності.

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

Таблиця 4.2. Визначення сильних, слабких характеристик ідеї проекту

| №<br>п/<br>п | Техніко-<br>економіч<br>ні<br><br>характер<br>истики<br>ідеї | (потенційні)<br>товари/концепції<br>конкурентів  |   |  | W<br>(слаб<br>ка<br>стор<br>она) | N<br>(нейт<br>ральн<br>а<br>сторо<br>на) | S<br>(сильн<br>а<br>сторо<br>на) |
|--------------|--|--|---|--|----------------------------------|--|----------------------------------|
|              |  | Мій<br>проект  | AnyLogic  | CAE-Servis   |                                  |  |                                  |
| 1.           | Точність<br>вимірюва<br>ння                                  | Точність<br>результату<br>залежить<br>від<br>дискретизац<br>ії   | Точність<br>результату<br>залежить від<br>дискретизац<br>ії   | Точність<br>результату<br>залежить<br>від<br>дискретизац<br>ії   |                                  |  | ✓                                |
| 2.           | Швидкіст<br>ь<br>проведен<br>ня аналізу                      | Швидкість<br>проведення<br>результатів<br>залежить<br>від<br>геометрії<br>тіла та<br>комп'ютерн<br>ого<br>обладнення | Швидкість<br>проведення<br>результатів<br>залежить від<br>геометрії<br>тіла та<br>комп'ютерн<br>ого<br>обладнення | Швидкість<br>проведення<br>результатів<br>залежить<br>від<br>геометрії<br>тіла та<br>комп'ютерн<br>ого<br>обладнення |                                  |  | ✓                                |

## Продовження таблиці 4.2

|    |   |                                 |                                  |                                  |   |   |  |
|----|---|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---|---|--|
| 3. | Ціна  | Встановлен<br>о лояльна<br>ціна | Конкурентн<br>а ціна на<br>ринку | Конкурентн<br>а ціна на<br>ринку |   | ✓ |  |
| 4. | Розмір<br>початков<br>ого<br>капітало-<br>вкладенн<br>я | Середнє на<br>ринку             | Вище<br>середнього<br>на ринку   | Вище<br>середнього               | ✓ |   |  |
| 5. | Система<br>інформац<br>ії                               | Реклама                         | Реклама                          | Реклама                          |   | ✓ |  |

Висновки: Головною перевагою проекту для користувачів, як видно з таблиці, являється зменшення часу на проведення аналізу. Не менш важливим, є такі техніко-економічні характеристики, як точність вимірювання, ціна та система інформації, що займають нейтральну позицію. Так як на початку будь-якого бізнесу вкладення коштів перевищує результат доходу, слабку позицію займає початкове капіталовкладення.

#### 4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

У таблиці 4.3 проводиться аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту.

Таблиця 4.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

| № п/п  | Ідея проекту   | Технології її реалізації   | Наявність технологій | Доступність технологій |
|--|--|--|----------------------|------------------------|
| 1  | Імітаційне моделювання інженерних розрахунків у різних областях науки та техніки | Імітаційне моделювання за допомогою програмного комплексу ANSYS        | Існуюча технологія   | Доступна технологія    |
| 2  |  | Імітаційне моделювання за допомогою програмного комплексу Abaqus       | Існуюча технологія   | Доступна технологія    |
| 3  |  | Імітаційне моделювання за допомогою програмного комплексу Cosmos Works | Існуюча технологія   | Доступна технологія    |
| Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Імітаційне моделювання за допомогою програмного комплексу ANSYS. ANSYS-це універсальна програмна система кінцево-елементного аналізу. |  |  |                      |                        |

Висновки: за допомогою, технологічного аудиту було обрано технологію реалізації проекту, а саме імітаційне моделювання за допомогою програмного комплексу ANSYS. В наш час, всі існуючі технології є доступними для моделювання, отже, було обрано найточнішу та коректну до результатів розрахунку технологію реалізації проекту. Також, важливу роль, грає час проведення одного аналізу моделювання.

### 4.3 Аналіз ринкових можливостей

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Таблиця 4.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

| <i>№<br/>п/<br/>п</i> | <i>Показники стану ринку (найменування)</i>              | <i>Характеристика</i>                            |
|-----------------------|--|--|
| 1                     | Кількість головних гравців, од                           | 15   |
| 2                     | Загальний обсяг продаж, грн..                            | 100000   |
| 3                     | Динаміка ринку (якісна оцінка)                           | Зростає  |
| 4                     | Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень) | 1.Висока ціна<br>2.Кваліфікованість спеціалістів |
| 5                     | Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації      | Наявність ліцензійного пакету                    |
| 6                     | Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %  | 75-80 %  |

Висновки: Динаміка ринку стрімко зростає на попит даного продукту, це є головними перевагами показників стану ринку, що призведе до підвищення обсягу продаж. Присутні також фактори загрози для виходу на ринок, ось деякі з них: високе ціноутворення та рівень знань у спеціалістів, що виконують імітаційне моделювання. Середня норма рентабельності в галузі (або на ринку) є досить високою – 75-80%, 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, та формується орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи

Таблиця 4.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

| <i>№<br/>n/n</i> | <i>Потреба, що<br/>формує ринок</i>  | <i>Цільова<br/>аудиторія<br/>(цільові<br/>сегменти ринку)</i> | <i>Відмінності у<br/>поведінці різних<br/>потенційних<br/>цільових груп<br/>клієнтів</i> | <i>Вимоги<br/>споживачів до<br/>товару</i>  |
|------------------|--|---|--|---|
| 1                | Пошкодження та руйнування об'єкту під час нормативного строку експлуатації | Будівельні компанії   | Надається перевага ергономіці та точності.   | Висока точність<br>Зручність в експлуатації.<br>Швидкі терміни отримання результату |
| 2                | Визначення строку експлуатації продукції                                   | Приватні та державні виробництва                              | Надається перевага ергономіці, точності розрахунку та швидкості.                         | Висока точність<br>Зручність в експлуатації   |

Висновки: З отриманих результатів аналізу видно дві головні потреби, що формують ринок. Перша це: пошкодження та руйнування об'єкту під час нормативного строку експлуатації, друга: визначення строку експлуатації продукції. В даному випадку, головною перевагою є те, що за допомогою імітаційного моделювання програмним комплексом ANSYS) можливо вирішення даних потреб.

Проведемо аналіз факторів ринкового середовища що сприяють ринковому впровадженню (табл. 4.6.) проекту, та факторів, що йому перешкоджають (табл. 4.7.). Результати введемо до таблиці

Таблиця 4.6. Фактори можливостей

| <i>№<br/>n/n</i> | <i>Фактор</i>   | <i>Зміст можливості</i>           | <i>Можлива реакція компанії</i>  |
|------------------|---|-----------------------------------|--|
| 1                | Продовження строку експлуатації об'єкта                   | Зменшення витрат на ресурс        | Розширення клієнтської бази.<br>Вивчення нових комплексів.             |
| 2                | Дослідження фізичних, технічних, хімічних та ін. процесів | Іншим чином дослідити не можливо  | Розвиток молодих спеціалістів.<br>Встановлення рекламної компанії.     |
| 3                | Дослідження деформації тіла                               | Іншим чином дослідити не можливо  | Встановлення рекламної компанії. Опрацювання нових методик розрахунку. |
| 4                | Дослідження процесів руйнування об'єкта                   | Іншим чином дослідити не можливо  | Закупівля нового обладнання. Встановлення рекламної компанії.          |
| 5                | Визначення нормативних характеристик об'єкта              | Іншим чином дослідити не можливо. | Встановлення рекламної компанії. Вивчення нових комплексів             |

Висновки: Для поліпшення становища даного сегменту ринку головними факторами є те, що на даний момент не знайшли кращого способу вирішення для дослідження фізичних, технічних та хімічних процесів. Головною перевагою та користю для об'єкта дослідження є те, що за допомогою імітаційного моделювання зменшуються витрати на технічну підтримку об'єкта.

Таблиця 4.7. Фактори загроз

| <i>№<br/>n/n</i> | <i>Фактор</i>                | <i>Зміст загрози</i>  | <i>Можлива реакція компанії</i>   |
|------------------|------------------------------|---|---|
| 1                | Ріст конкурентів             | Ріст конкуренто-спроможних фірм                                   | Покращення характеристик продуктів, випуск нових конкуренто-спроможних продуктів. |
| 2                | Висока вартість робіт        | Зменшення кількості замовлень; Перехід до конкурентів             | Встановлення конкуренто-спроможної вартості за виконання розрахунку.              |
| 3                | Не компетентність робітників | Не точність та неадекватність інженерних розрахунків              | Розширення відділу.<br>Курси підвищення кваліфікації для молодих спеціалістів     |
| 4                | Час виконання моделювання    | Зменшити кількість замовлень. Збільшити витрати на електроенергію | Закупівля нового процесорного обладнання.   |
| 5                | Зменшення якості розрахунку  | Не точність та неадекватність інженерних розрахунків              | Встановлення нового пакету ліцензій. Підвищення кваліфікації спеціалістів.        |

Висновки: найбільш впливовими негативними факторами є великий ріст конкурентів на ринку, висока вартість за виконання робіт та некомпетентність фахівців. Існують різні стратегії розвитку компанії, отже ці фактори не є критичними. Також потрібно врахувати такий важливий фактор, як швидкість процесу моделювання. За особистими підрахунками було виявлено, що процес моделювання може займати достатньо багато часу, від 30 секунд до 3х-4х діб, це негативно впливає на техніко-економічні характеристики компанії.

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

Таблиця 4.8. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

| <i>Особливості конкурентного середовища</i>        | <i>В чому проявляється дана характеристика</i>   | <i>Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)</i>                                    |
|--|--|--|
| 1. Тип конкуренції<br>Чиста                        | На ринку існує не багато фірм які пропонують послуги даного типу.  | Потрібно працювати над репутацією компанії, забезпечуючи високу якість та точність результатів.                                  |
| 2. За рівнем конкурентної боротьби<br>національний | Замовниками таких товарів є фірми з різних країн. Доставка товару не відіграє велику роль в цьому сегменті | Ведучи конкуренцію на національному рівні, компанії необхідно прикласти належні зусилля для охоплення всього національного ринку |

Продовження таблиці 4.8

|   |   |  |
|---|---|--|
| 3. За галузевою ознакою міжгалузева                   | Даний вид послуг застосовується в різних галузях виробництва  | Розширювати спектр надання послуг  |
| 4. Конкуренція за видами товарів:<br>- товарно-видова | Конкуренція присутня між товарами одного виду.  | Підвищення якості, точності вимірювання та зменшення похибки пристрою.   |
| 5. За характером конкурентних переваг<br>- цінова     | Ціни на такі послуги дуже високі, за допомогою нового алгоритму та нових компонентів зменшується ціна на пристрій | Підприємство може працювати над покращенням методу обробки тим самим дозволяючи не збільшувати ціну на продукт |
| 6. За інтенсивністю<br>- марочна                      | Велику роль відіграє репутація компанії, що надає розрахунки  | Збільшення кількості реклами та задовільнити потреби споживачів.   |

Висновки: продукцію даного типу випускають на ринку не велика кількість фірм, оскільки ринок є специфічним. При цьому ціни на розрахунки дуже високі, адже з кожним днем розробляються нові алгоритми підвищення точності програмного комплексу, що призводять до якісних результатів моделювання. Точність результату моделювання підвищує строки експлуатації об'єкта.

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

|   | <i>Прямі конкуренти в галузі</i>          | <i>Потенційні конкуренти</i>   | <i>Постачальники</i>                               | <i>Клієнти</i>   | <i>Товари-замінники</i>   |
|---|---|--|--|--|---|
| <i>Складові аналізу</i>   | <i>Навести перелік прямих конкурентів</i> | <i>Визначити бар'єри входження в ринок</i>                               | <i>Визначити фактори сили постачальників</i>       | <i>Визначити фактори сили споживачів</i>                                     | <i>Фактори загроз з боку замінників</i>                                 |
| <i>Висновки: ринок не є заповненим, але конкуренція висока, оскільки компанії які являються конкурентами мають високу репутацію. Недоліком являється необхідний високий рівень капіталовкладень</i> | CAE-SERVIS<br>AnyLogistics                | Висока репутація конкурентних фірм<br>Необхідний розмір капіталовкладень | Зазвичай постачальники не диктують умови співпраці | Споживачі можуть бути чутливими до зміни ціни, Реакція на рекламу конкурента | Імітаційне моделювання геометрії тіла за допомогою більш точних програм |

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

обґрунтовуємо перелік факторів конкурентоспроможності. Аналіз оформлено в табл. 4.10.

Таблиця 4.10. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

| <i>№<br/>n/n</i> | <i>Фактор<br/>конкурентоспроможності</i>  | <i>Обґрунтування (наведення чинників, що<br/>роблять фактор для порівняння<br/>конкурентних проектів значущим)</i>       |
|------------------|---|--|
| 1                | Точність розрахунку програмного комплексу | Підвищення точності вимірювання, підвищує довіру до товару. Чим вище точність розрахунку, тим вище попит на моделювання. |
| 2                | Кваліфікація спеціалістів                 | Від кваліфікації фахівця залежить точність та адекватність розрахунку.   |
| 3                | Лояльне ціноутворення                     | Встановлена ціна за послуги повинна бути адекватною, але не нижче конкурентних.  |
| 4                | Гнучкість                                 | Можливе швидка «адаптація» фахівців при зміні версії програмного комплексу та перепрограмуванні.                         |
| 5                | Швидкість визначення результатів          | Якісний та швидкий результат – це запорука задоволеного клієнта.   |
| 6                | Готова методика моделювання               | При готовій методиці моделювання зменшується час очікування для покупця  |
| 7                | Обслуговування                            | Споживачі потребують консультування  |
| 8                | Репутація                                 | У зв'язку зі специфічністю даного сегменту ринку даний фактор є важливим для остаточного рішення клієнта                 |

Висновки: для даного типу продукції виділяють вісім основних факторів конкурентоспроможності. При якісному обслуговуванні та задовільній кваліфікації

фахівців можливий вихід на конкурентний рівень. При виконанні всіх основних факторів компанія має великі шанси стати лідером на ринку.

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

| №<br>п/п | Фактор<br>конкурентоспроможності          | Бали<br>1-20 | Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з CAE-SERVIS та AnyLogic |    |    |   |    |    |    |
|----------|---|--------------|---|----|----|---|----|----|----|
|          |   |              | -3  | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | +3 |
| 1        | Точність розрахунку програмного комплексу | 20           |   |    |    | ✓ |    |    |    |
| 2        | Кваліфікація спеціалістів                 | 15           |   |    |    |   |    |    | ✓  |
| 3        | Швидкість визначення результатів          | 9            |   | ✓  |    |   |    |    |    |
| 4        | Гнучкість                                 | 16           |   |    |    |   | ✓  |    |    |
| 5        | Лояльне ціноутворення                     | 13           |   |    |    |   | ✓  |    |    |
| 6        | Готова методика моделювання               | 11           |   |    |    |   |    | ✓  |    |
| 7        | Обслуговування                            | 14           |   |    | ✓  |   |    |    |    |
| 8        | Репутація                                 | 6            |   |    |    |   |    |    | ✓  |

Висновки: був проведений порівняльний аналіз стартап-проекту з вже існуючими конкурентами. Було виявлено, що головними перевагами серед конкурентів є обслуговування та точність розрахунків. Якщо побудувати чіткий план конкурентоспроможності та уважно його виконувати, проект має всі шанси стати лідером серед конкурентів, адже майже всі показники, стають на рівні з конкурентами. 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 (табл. 4.11).

Таблиця 4.12. SWOT- аналіз стартап-проекту

|  |   |
|--|---|
| Сильні сторони: можливість моделювання будь-якого об'єкту та у будь-якій сфері діяльності. Висока точність розрахунку, якісне обслуговування | Слабкі сторони: низька репутація підприємства на початку впровадження проекту в життя, слабе самозабезпечення фінансовими ресурсами, висока вартість за послуги |
| Можливості: дослідження складних об'єктів, швидкий розвиток за рахунок, впровадження експлуатації об'єкта.                                   | Загрози: Винайдення кращих програмних комплексів, низька швидкість розрахунку складних процесів, кваліфікованість спеціалістів, зниження попиту на продукцію.   |

Висновки: на основі SWOT-аналізу були виділені слабкі та сильні сторони проекту, а також сформульовані фактори можливостей росту компанії та фактори загрози. Головними чинниками загрози є можливість появи кращих програмних комплексів для імітаційного моделювання. Головними перевагами є те, що на даний момент альтернативи для розрахунку, окрім інших програмних комплексів, не винайдено. За допомогою програмного комплексу можливо зробити імітаційне моделювання будь-якого об'єкту, який знаходиться на етапі розробки чи повноцінно існуючу модель. Дослідити взаємодію об'єкта з факторами руйнування, визначити строк експлуатації, розрахувати найсильніші напруги та ін.

На основі SWOT-аналізу розробимо альтернативи ринкової поведінки для виведення стартап-проекту на ринок та визначимо орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкуренті. Визначені

альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (табл. 4.13).

Таблиця 4.13. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

| <i>№ n/n</i> | <i>Альтернатива<br/>(орієнтовний комплекс<br/>заходів) ринкової<br/>поведінки</i> | <i>Ймовірність отримання<br/>ресурсів</i>   | <i>Строки<br/>реалізації</i>   |
|--------------|---|---|--|
| 1            | Встановлення конкурентоспроможних цін   | Якщо ціни на послуги не будуть значно перевищувати цін конкурентів, буде встановлений більший потік клієнтів. | 2-3 місяці   |
| 2            | Удосконалення методів розрахунку  | При підвищенні якості та точності розрахунків, продукт буде більш конкурентоспроможний.                       | 1 місяць   |
| 3            | Підвищення кваліфікаційного рівня працівників                                     | Завдяки підвищенню кваліфікації працівників компанії, розрахунки будуть більш точними                         | 2 місяць   |
| 4            | Закупівля нового комп'ютерного обладнання   | Закупівля більш потужних процесорів, забезпечить високу швидкість моделювання та розрахунків.                 | В залежності від встановленого фінансування від 1 тижня до 3 місяців |

Висновки: найкращою альтернативою ринкової поведінки буде закупівля ефективного, нового комп'ютерного обладнання, тому що завдяки закупівлі більш потужних процесорів, підвищиться швидкість розрахунків та моделювання. Швидкі результати імітаційного моделювання є успішною умовою для клієнта, а це призведе до збільшення обсягу робіт.

#### 4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розробка ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (табл. 3.4.1).

Таблиця 4.14. Вибір цільових груп потенційних споживачів

| <i>№<br/>n/n</i> | <i>Опис профілю<br/>цільової групи<br/>потенційних<br/>клієнтів</i> | <i>Готовність<br/>споживачів<br/>сприйняти<br/>продукт</i> | <i>Орієнтовний<br/>попит в<br/>межах<br/>цільової<br/>групи<br/>(сегменту)</i> | <i>Інтенсивність<br/>конкуренції в<br/>сегменті</i> | <i>Простота<br/>входу у<br/>сегмент</i> |
|------------------|---|--|--|---|---|
| 1                | Медицина  | Висока   | Середній   | Не інтенсивна                                       | Низька<br>складність                    |
| 2                | Виробництво   | Висока   | Високий  | Не інтенсивна                                       | Низька<br>складність                    |
| 3                | Приладобудування  | Середня  | Середній   | Не інтенсивна                                       | Низька<br>складність                    |
| 4                | Промисловість   | Середня  | Низький  | Не інтенсивна                                       | Низька<br>складність                    |
| 5                | Будівництво   | Середня  | Низький  | Не інтенсивна                                       | Низька<br>складність                    |

*Висновки:* Було обрано цільові групи: виробництво та медицина. На другому місці потенційним клієнтом, орієнтовано може бути, приладобудування. Стратегію охоплення ринку було обрано – диференційований маркетинг. Тому що компанія працює з кількома сегментами, розробляючи для них окремо програми ринкового впливу.

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

Таблиця 4.15 Визначення базової стратегії розвитку

| <i>№<br/>n/n</i> | <i>Обрана<br/>альтернатива<br/>розвитку проекту</i> | <i>Стратегія<br/>охоплення<br/>ринку</i>             | <i>Ключові<br/>конкурентоспроможні<br/>позиції відповідно<br/>до обраної<br/>альтернативи</i> | <i>Базова<br/>стратегія<br/>розвитку</i> |
|------------------|---|--|---|--|
| 1                | Створення нових об'єктів моделювання                | Розроблення швидкого моделювання та якісного аналізу | Наявність ліцензії  | Стратегія диференціації                  |

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

Таблиця 4.16. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

| <i>№<br/>n/n</i> | <i>Чи є проект<br/>«першопрохідцем»<br/>на ринку?</i> | <i>Чи буде компанія<br/>шукати нових<br/>споживачів, або<br/>забирати<br/>існуючих у<br/>конкурентів?</i> | <i>Чи буде компанія<br/>копіювати основні<br/>характеристики<br/>товару<br/>конкурента, і які?</i> | <i>Стратегія<br/>конкурентної<br/>поведінки</i> |
|------------------|---|---|--|---|
|                  |   |   |  |   |

## Продовження таблиці 4.16

|   |   |   |   |                             |
|---|---|---|---|-----------------------------|
| 1 | Ні, існують багато компаній, котрі поширюють даний вид послуг | Компанія буде залучати нових споживачів | Ні, адже кожне моделювання є унікальним та індивідуальним | Заняття конкурентного місця |
|---|---|---|---|-----------------------------|

Висновки: головним планом розвитку проекту є достатньо великий обсяг аудиторії. Проект спрямований на збільшення кількості постійних клієнтів, що дає змогу зробити якісний та швидкий аналіз моделювання. Кожне імітаційне моделювання є унікальним та не належить шаблонному виробництву.

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до продукту та до постачальника, 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

| <i>№ п/п</i> | <i>Вимоги до товару цільової аудиторії</i> | <i>Базова стратегія розвитку</i> | <i>Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту</i> | <i>Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)</i> |
|--------------|--|----------------------------------|---|---|
| 1            | Якість                                     | Стратегія спеціалізації          | Точність, швидкість, гнучкість                                      | Швидкість, гнучкість, точність  |
| 2            | Ціна                                       | Стратегія диференціації          | Доступна ціна для споживачів та висока якість.                      | Якість, гнучкість, доступність  |

|   |                |                         |   |  |
|---|----------------|-------------------------|---|--|
| 3 | Обслуговування | Стратегія диференціації | Легке та швидке обслуговування, гнучке встановлення, надання професійної та технічної консультації. | Адекватність розрахунків, надання інформативної бази |
|---|----------------|-------------------------|---|--|

Висновки: окрім якісного обслуговування та високої точності, компанія потребує вдосконалення системи, а саме: поліпшення конкурентних цін, закупівля потужного обладнання та підвищення кваліфікації працівників. Данні стратегії призведуть до уникнення переходу клієнтів до конкурентів.

#### 4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач табл. 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     | Швидкість | Швидкість процесу моделювання | За рахунок потужного обладнання, значно зростає можливість підвищення швидкості моделювання, що призведе до потоку нових клієнтів та можливості проведення великих кількостей розрахунків. |

## Продовження таблиці 4.18

|   |          |   |   |
|---|----------|---|---|
| 2 | Якість   | Високі показники якості та адекватності розрахунків | Можливість підвищити рівень споживачів, за рахунок гарної репутації.  |
| 3 | Точність | Високі показники точності моделювання               | За рахунок високих показників точності моделювання, клієнт має довіру до компанії. Створення постійної клієнтської бази та хорошої репутації. |

Висновки: головними впливовими критеріями проекту є точність, швидкість та якість результатів. Дані критерії підвищують рівень споживачів, за рахунок хорошої репутації. Це спричинено адекватністю вимірювань та виконаними у відповідний термін результатами. За рахунок даних умов оцінки моделювання, підвищення терміну експлуатації об'єкта значно зростає.

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             | Точність в проведенні імітаційного моделювання інженерних розрахунків у різних сферах діяльності. |                    |
| II. Товар у реальному виконанні | Властивості/характеристики  |                    |
|                                 | 1. Параметри геометрії об'єкта  | мм                 |
|                                 | 2. Швидкість проведення моделювання   | Від 30 с до 70 год |
|                                 | 3. Вісь   | 0...360°           |

## Продовження таблиці 4.19

|  |   |                    |
|--|---|--------------------|
|  | 4. Сила тяжіння   | Н                  |
|  | 5. Навантаження   | Па                 |
|  | 6. Густина речовини   | кг/м <sup>3</sup>  |
|  | 7. джерело живлення   | 100В~240V, 50/60Гц |
|  | Якість: виконання моделювання на ліцензійному обладнанні, кваліфікованим інженером. |                    |
|  | Пакування: надсилається в електронному вигляді, або за допомогою флеш-пам'яті.      |                    |
|  | Марка: ANSYS WORKBENCH  |                    |
| III. Товар із підкріпленням  | До продажу: встановлення програмного комплексу на ЕОМ                               |                    |
|  | Після продажу: Оновлення програми до нової версії та встановлення ліцензії          |                    |
| Потенційний товар за рахунок логотипу буде захищений від копіювання, патент, введення комерційності на розрахунки. |   |                    |

Висновки: було здійснено трьох рівневий опис моделі товару (корисної моделі). Розкриті основні елементи моделювання та вказані основні моменти пакування та якості об'єкту корисної моделі.

Наступним кроком визначимо цінові межі (табл. 4.20).

Таблиця 4.20 - Визначення меж встановлення ціни

| №<br>n/n | Рівень цін<br>на товари-<br>замінники | Рівень цін<br>на товари-<br>аналоги | Рівень доходів<br>цільової<br>споживачів групи | Верхня та нижня межі<br>встановлення ціни на<br>товар |
|----------|---------------------------------------|-------------------------------------|--|---|
| 1        | 100000                                | 300000                              | 1000000  | 100000-250000   |

Висновки: при збільшенні кількості клієнтів, знижується ціна на послуги ніж на сучасні аналоги. Головними та найбільш впливовими перевагами методу розрахунку



моделювання є якість, точність та адекватність вимірів. Дані властивості відіграють важливу роль та конкурентні серед продуктів-аналогів.

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається 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 | Оптимальна система збуту |
|-------|---|---|----------------------|--------------------------|
| 1     | Попереднє замовлення з підписанням контракту        | Моделювання проводиться чітко у визначені терміни     | Прямий               | Прямий                   |

Висновки: у зв'язку з тим, що обслуговується достатньо вузький напрямок ринку тому варто не використовувати посередників, а використовувати прямий канал збуту. Головними умовами збуту для постачальника є виконання терміну готового моделювання.

#### Висновки до розділу 4

У процесі виконання даного розділу було з'ясовано основні маркетингові аспекти створення стартапу, визначення перспектив реалізації проекту та розроблення маркетингової стратегії.

Головною метою створення стартапу є вихід продукту на конкурентний ринок в якості відокремленої компанії. Процес створення вимагає детальних прорахунків та врахування ряду внутрішніх та зовнішніх факторів.

За допомогою аналізу, було обрано ідею проекту, яка полягає в створенні можливості проведення імітаційного моделювання інженерних розрахунків. Ця ідея дає змогу споживачу отримати складні та водночас точні розрахунки, що в перспективі встановлюють оптимальний нормативний термін, зменшують витрати споживача на виготовлення та ремонт будь-якого об'єкту, а також визначають умови небезпеки експлуатації об'єкта. При даних параметрах оцінки моделювання строк експлуатації об'єкта значно зростає.

Головними критеріями проекту є точність, якість та швидкість результатів. Вказані критерії можуть підвищити рівень споживачів, за рахунок репутації. Це спричинено точністю вимірювань та адекватністю, які виконані у встановлений термін.

Визначено головні потреби споживачів та заходи їх реалізації. Також була проведена оцінка сильних та слабких сторін проекту та розрахована собівартість виробу та можливий прибуток. Також виконано порівняльний аналіз конкурентів.

При розробці стартап-проекту було оцінено та сформульовано різні заходи ринкового впровадження. Якщо дотримуватись чіткого плану дій, то за даним аналізом, можна дійти висновку, що проект є рентабельним та має всі шанси стати конкурентоспроможним.

## ВИСНОВКИ

За той період часу, який корабель проводить у плаванні на нього діє сукупність зовнішніх навантажень, які негативно впливають на стан елементів його конструкції. Зміну основних характеристик елементів конструкції дуже складно відстежити під час плавання. Саме тому було проведено геометричне та імітаційне моделювання елементів обшивки корабля і отримано основні науково-технічні результати:

1. Проведено огляд стану проблеми, під час якого було виявлено, що проблема руйнування елементів конструкції корабля під час плавання є невирішеною. Основне коло задач, які інші дослідники вирішують за допомогою імітаційного моделювання включає в себе покращення технологічних процесів зварювання та дослідження основних характеристик нових матеріалів.

2. Проведено огляд можливих варіантів з'єднань елементів конструкції кораблів з алюмінієвих сплавів та легких металів. Показано, що основним видом з'єднань для металевих конструкцій кораблів є зварювання.

3. Проведено огляд основних програмних комплексів, які доступні на ринку програмного забезпечення інженерного розрахунку. Наведено основні плюси і мінуси цих програмних комплексів у порівнянні з іншими.

4. Проведено геометричне моделювання елементів обшивки корабля, які складаються з пластин та зварних швів. Створено декілька геометричних моделей з різними типами зварних швів, а також з пошкодженнями у вигляді тріщин.

5. Проведено імітаційне моделювання без та при наявності пошкоджень у елементах обшивки корабля, а саме у зварних швах. У якості зовнішнього навантаження обрано потік рідини, представленої водою, зі швидкістю 3м/с та нестабільністю потоку, що складає 10% від максимальної швидкості течії. Показано, що навіть при 10000 циклів навантаження відбувається руйнування зварних швів незалежно від наявності в них тріщин.

6. Установлено вплив наявних у зварних швах пошкоджень у вигляді тріщини на результати імітаційного моделювання. Показано, що при наявності тріщин у

зварних швах руйнування елементів конструкції корабля відбувається в 2,5 рази швидше ніж у бездефектному стані.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Решения для судостроения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.arguslimited.com.ua/upload/pdf/Broshyura\\_po\\_sudostroeniyu\\_\(Last\\_version\).pdf](http://www.arguslimited.com.ua/upload/pdf/Broshyura_po_sudostroeniyu_(Last_version).pdf)
2. Износ и повреждение корпуса судна [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.stroitelstvo-new.ru/sudostroenie/rk/remont-korporusa-sudna.shtml>
3. Контроль сварных соединений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://tool-land.ru/kontrol-svarnykh-shvov.php>
4. Карпухин, Илья Николаевич Исследование и реализация систем дискретно-событийного имитационного моделирования на основе графовых моделей. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dissercat.com/content/issledovanie-i-realizatsiya-sistem-diskretno-sobytiinogo-imitatsionnogo-modelirovaniya-na-os#ixzz5ZYHEMnyn>
5. Karpukhin I. N., Korablin Yu. P., Neznanov A. A. The Models of Time in Simulation / Automatic Documentation and Mathematical Linguistics, № 3, стр. 133-137, 2012.
6. Охота, Б.О. Моделювання елемента обшивки літака в умовах динамічних збурень. [Текст] : дип. робота ... бакалавр: 6.051003: захищена 21.06.17 / К., 2017. – 63с.
7. Jeom Kee Paik. Mechanical properties of friction stir welded aluminum alloys 5083 and 5383 // Int. J. of Nav. Arch. and Oc. Eng. – 2009. – Volume 1, Issue 1 – Pages 39-49.
8. Sarjito Jokosisworo, Pengaruh besar arus listrik dengan menggunakan elektroda smaw terhadap kekuatan sambungan las butt joint pada plat mild steel // Kapal – 2012. - Vol 6, № 2.
9. Сварка металла [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.barbecue-vip.ru/svarka.html>

10. Способы соединения деталей корпуса судна [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://flot.com/publications/books/shelf/chainikov/33.htm?print=Y>
11. Дефекты сварных соединений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://weldering.com/defekty-svarnyh-soedineniy>
12. Корабли и морские суда [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.seapeace.ru/gallery/ships/>
13. Корабль [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D1%80%D0%B0%D0%B1%D0%BB%D1%8C>
14. Типы суден. Флотська енциклопедія типи суден [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://jak.magey.com.ua/articles/tipi-suden.html>
15. Применение HSC и FSW в авиакосмической промышленности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.sergeev-hsc.de/68214/68335.html>
16. Износ и повреждение корпуса судна [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.stroitelstvo-new.ru/sudostroenie/rk/remont-korporusa-sudna.shtml>
17. Цибульник, С.О. Використання засобів чисельного моделювання у діагностичних системах. [Текст] : дис. ... магістр : 8.090901 : захищена 23.06.12 : затв. 23.06.12 / Цибульник Сергій Олексійович. – К., 2012. – 176 с. – Бібліогр.: с. 168-174.
18. Метод моделювання [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://buklib.net/books/35332/>
19. Томашевский В.М. Моделирование систем [Текст] / В.М. Томашевский. – К.: Видавнича група BVH, 2005. – 352 с.: іл.
20. Компьютерное моделирование [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.twirpx.com/file/28140/>
21. Фізичне моделювання [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Фізичне\\_моделювання](https://uk.wikipedia.org/wiki/Фізичне_моделювання)

22. ГОСТ 34.003-90 Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Термины и определения [Текст]. – Введ. 01.01.1992. – М.: Издательство стандартов, 1997. – 14 с.
23. ГОСТ 23501.101-87 Системы автоматизированного проектирования. Основные положения [Текст]. – Введ. 01.07.1988. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 10 с.
24. Методические указания. Автоматизированные системы. Основные положения [Текст]: РД 50-680-88: утверждено Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам 28.12.88; введ. в действие с 01.01.90.
25. Программный комплекс SolidWorks [Электронный ресурс]. – Режим доступа:  
[http://www.solidworks.ru/index.php?option=com\\_content&view=article&id=174&Itemid=34](http://www.solidworks.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=174&Itemid=34)
26. Проектирование и оформление конструкторской документации [Электронный ресурс]. – Режим доступа:  
[http://www.solidworks.ru/index.php?option=com\\_content&view=article&id=16&Itemid=38](http://www.solidworks.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=16&Itemid=38)
27. Система автоматизированного проектирования SolidWorks [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://seniga.ru/index.php/sapr/ssapr/62-solidworks.html>
28. Система трехмерного моделирования КОМПАС-3D [Электронный ресурс]. – Режим доступа:  
<https://machinery.ascon.ru/software/developers/items/?prpid=7>
29. AutoCad для чайников. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:  
<http://on-line-teaching.com/autocad/>
30. 3D шагает в массы с AutoCAD 2011 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sapr.ru/article/21379>

31. «Бесплатный» Inventor Fusion в составе AutoCAD 2012 кардинально меняет расклад на рынке трехмерных САПР [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://isicad.ru/ru/articles.php?article\\_num=14316](http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=14316)
32. AutoCad [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/99546>
33. Программный комплекс FlowVision | FlowVision - система моделирования движения жидкости и газа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.techgidravlika.ru/view\\_post.php?id=51](http://www.techgidravlika.ru/view_post.php?id=51)
34. Официальный сайт компании ANSYS Inc. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ansys.com/>
35. Программные продукты ANSYS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.cadfem-cis.ru/products/ansys/>
36. Программный пакет ANSYS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sites.google.com/site/komputernoemodelirovanie/home/stati/programmnyj-paket-ansys>
37. Аппаратная поддержка проектирования в ANSYS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://ko.com.ua/apparatnaya\\_podderzhka\\_proektirovaniya\\_v\\_ansys\\_51004](http://ko.com.ua/apparatnaya_podderzhka_proektirovaniya_v_ansys_51004)
38. Ускорение ANSYS на графических процессорах Tesla [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.nvidia.ru/object/tesla-ansys-accelerations-ru.html>
39. Железо [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.ansysolutions.ru/index\\_print.php?id=43](http://www.ansysolutions.ru/index_print.php?id=43)
40. Произведены тесты производительности компьютеров для решения задач инжиниринга с помощью ANSYS и LS-DYNA [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cadpoint.ru/news/1-latest-news/530-produced-benchmarks-computers-to-solve-engineering-problems-using-ansys-and-ls-dyna.html>



41. Dudzik Krzysztof, Jurczak Wojciech. Influence of Friction Stir Welding (FSW) on Mechanical and Corrosion Properties of AW-7020M and Aw-7020 Alloys // Polish Maritime Research – 2016 – Vol. 23, Issue 3.
42. Sung-Jo Park, Hyun-Woo Lee. A study on the fatigue strength characteristics of ship structural steel with gusset welds //International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering - 2012 - Volume 4, Issue 2, June 2012, Pages 132-140.
43. Kozak Janusz, Kowalski Jakub. Problems Of Determination Of Welding Angular Distortions Of T - Fillet Joints In Ship Hull Structures // Polish Maritime Research – 2015 - Vol. 22, Issue 2.
44. Rogalski Grzegorz, Fydrych Dariusz, Łabanowski Jerzy. Underwater Wet Repair Welding of API 5L X65M Pipeline Steel // Polish Maritime Research – 2017 - Volume 24, Issue s1.
45. Imam Pujo Mulyatno, Sarjito Jokosisworo. Analisis kekuatan sambungan las smaw (shielded metal arc welding) pada marine plate st 42 akibat faktor cacat porositas dan incomplete penetration //Kapal – 2012- Vol 5, № 2 (2008).
46. LU Yabing, WANG Deyu. Assessment of residual ultimate strength of cracked plates under biaxial compression // Zhongguo Jianchuan Yanjiu – 2017 - Vol. 12, Issue (5): 75-83.
47. I. Samardžić, B. Mateša, I. Kladarić. The influence of heat treatment on properties of three-metal explosion joint: AlMg-Al-Steel // Metalurgija – 2011- Vol.50, Issue (3), P. 159-162.
48. Моделирование гидродинамических течений и расчет буксировочного сопротивления модели подводной лодки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cae-services.ru/catalog/by-industry/marine>
49. Моделирование гидродинамических течений со свободной поверхностью и расчет буксировочного сопротивления судна лодки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cae-services.ru/catalog/by-industry/marine>

50. Желанное и действительное в геометрическом моделировании [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://adem.ru/press/articles/2002-01-27/>
51. Геометрическое моделирование на современном этапе развития [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.valve-industry.ru/pdf\\_site/77/77\\_bykow.pdf](http://www.valve-industry.ru/pdf_site/77/77_bykow.pdf)
52. Компьютерное моделирование [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://window.edu.ru/catalog/pdf2txt/827/74827/54903>
53. Пилюгин В.В., Сумароков Л.Н., Фролов К.В. Машинная графика и автоматизация научных исследований // Вестник, 1985, №10, с.50-58.
54. ГОСТ 22487-77 Проектирование автоматизированное. Термины и определения. – М. : Издательство стандартов, 1978. – 14 с.
55. Чумаков О. А. Основы систем автоматизированного проектирования: учеб. – метод. пособие / О. А. Чумаков, Н. А. Стасевич. – Минск : БГУИР, 2012, – 95 с
56. Основные понятия геометрического моделирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studizba.com/lectures/10-informatika-i-programmirovaniye/286-vvedenie-v-kompyuternuyu-grafiku/3637-7-geometricheskoe-modelirovaniye.html>
57. Геометрическое моделирование [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mathnet.ru/links/5c946e945656df571bc0375333a6296c/mm1864.pdf>
58. Техническое и программное обеспечение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.geograf-stud.ru/lektsii-dlya-gek-po-spetsialnosti-geoinformatika-i-gis/412-tehnicheskoe-i-programmnoe-obespechenie-gis.html>
59. Компьютерная геометрия и графика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.e-biblio.ru/book/bib/kgig/index.html>

60. Хейфец А. Л. О реорганизации курса начертательной геометрии на основе 3d компьютерного геометрического моделирования / А. Л. Хейфец // Вестник ЮУрГУ. Серия: Образование. Педагогические науки. – 2012. – № 14 (273). – С. 96 - 100.
61. Комп'ютерна графіка [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mmi.stu.cn.ua/wp-content/uploads/2016/09/MatsenkoKompGrafyka.pdf>
62. Системи автоматизованого проектування [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://posibnyky.vntu.edu.ua/k\\_m/t1/173..htm](https://posibnyky.vntu.edu.ua/k_m/t1/173..htm)
63. Норенков И. П. Основы автоматизированного проектирования : учеб. Для ВУЗов / И П. Норенков. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. – 430с.
64. Райковська Г. Геометричне моделювання – основа конструкторськотехнологічних здібностей / Г. Райковська, В. Головня // Нова пед. думка : наук.- метод. журн. - 2013. - № 1 ч. 2. - С. 68-70.
65. Геометрические модели и их назначение [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://interneturok.ru/lesson/informatika/8-klass/bglava-1-sistemy-schisleniyab/modeli-ih-naznachenie-svoystva-i-vidy>
66. Материал и конструкция корпуса [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.motolodka.ru/material.htm>
67. Creating Pads [Електронний ресурс]. – Режим доступу:[http://catiadoc.free.fr/online/prtug\\_C2/prtugbt0501.htm](http://catiadoc.free.fr/online/prtug_C2/prtugbt0501.htm)
68. Ansys Workbench - универсальная платформа, объединяющая продукты Ansys для моделирования задач гидрогазодинамики [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.techgidravlika.ru/view\\_post.php?id=61](http://www.techgidravlika.ru/view_post.php?id=61)
69. Описание подсистемы ANSYS Workbench [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://studbooks.net/2194693/tehnika/opisanie\\_podsistemy\\_ansys\\_workbench](https://studbooks.net/2194693/tehnika/opisanie_podsistemy_ansys_workbench)
70. Цибульник, С.О. Вдосконалення засобів функціональної діагностики та захисту резервуарів на основі імітаційного моделювання [Текст] :

дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук : захищена 31.05.16 : затв. 31.05.16/ Цибульник Сергій Олексійович. – К., 2015. – 186 с.

71. Океанические течения - следствие суточного вращения Земли [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.randewy.ru/gml/kosarev.html>

72. Мировой океан. Океанские течения [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://znaniya-sila.narod.ru/solarsis/zemlya/earth\\_ocean\\_04.htm](http://znaniya-sila.narod.ru/solarsis/zemlya/earth_ocean_04.htm)

73. Холодное течение Западных ветров [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://fb.ru/article/223366/holodnoe-techenie-zapadnyih-vetrov>

74. Приливы и отливы-результат прецессии водоворотов [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://globalinform.livejournal.com/25572.html>

75. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.