

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХЕРСОНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет комп'ютерних наук, фізики та математики  
Кафедра комп'ютерних наук та програмної інженерії**

**РОЗРОБКА ДОДАТКУ НАВЧАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ДЛЯ  
ДОСЛІДЖЕННЯ ОСТІЙНОСТІ СУДНА SUNRAY ЗАСОБАМИ 3DS  
MAX ТА UNREAL ENGINE 4**

**Кваліфікаційна робота (проєкт)  
на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»**

Виконала студентка 4 курсу 441 групи  
Спеціальності 121 Інженерія програмного  
забезпечення  
Освітньо-професійної програми «Інженерія  
програмного забезпечення»  
Мошковська Софія Павлівна  
Керівник к.п.н., доцент кафедри комп'ютерних  
наук та програмної інженерії Кушнір Н.О.  
к. ф.-м. н., доктор педагогічних наук, професор  
Співаковський О. В.  
Рецензент: директор ІТ компанії «InStandart»,  
Толстопят К.В.

Херсон – 2022

<b>ЗМІСТ</b>	
<b>ВСТУП</b> .....	3
<b>РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНИЙ ОГЛЯД ПІДСТАВ ЗАСТОСУВАННЯ 3D МОДЕЛЮВАННЯ У ПРОЦЕСІ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ</b> .....	6
1.1 3D моделювання як невід’ємна частина діджиталізації освітньої галузі .....	6
1.2 3D моделювання у формуванні професійних компетенцій .....	10
<b>РОЗДІЛ 2 РЕАЛІЗАЦІЯ 3D МОДЕЛІ НА ПРИКЛАДІ СУДНА SUNRAY ЗАСОБАМИ 3DS MAX</b> .....	14
2.1 Огляд тривимірних редакторів .....	14
2.2 Коректна топологія та стилі тривимірного моделювання.....	18
2.3 Аналіз та моделювання тривимірної моделі судна SUNRAY .....	20
2.4 Створення UV-розгортки та текстурювання моделі .....	27
<b>РОЗДІЛ 3 РЕАЛІЗАЦІЯ РОБОТИ 3D МОДЕЛІ НА ПРИКЛАДІ СУДНА SUNRAY ЗАСОБАМИ UNREAL ENGINE 4</b> .....	34
3.1 Використання системи контролю версій Git.....	34
3.2 Порівняльний аналіз ігрових рушіїв .....	35
3.3 Створення водного середовища та плавучість судна .....	37
3.4 Система візуального скриптингу.....	39
3.5 Математична модель та її реалізація .....	42
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	48
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....	50
<b>ДОДАТКИ</b> .....	54

## ВСТУП

**Актуальність теми дослідження** обумовлена необхідністю запровадження діджитал-складових, які широко застосовуються у підготовці майбутніх фахівців.

В умовах пандемії COVID-19 та відкритої військової агресії проти України майже всі сфери суспільства перейшли в дистанційний режим роботи. Особливо це зачепило освітню галузь, де істотно важливу роль відіграє 3D моделювання, яке вирішує проблеми унаочнення прикладних знань та умінь та моделювання процесів їх застосування, а також є засобом створення кінцевого продукту інженерних та архітектурно-дизайнерських галузей.

Використанню можливостей 3D технологій для підготовки фахівців присвячено багато наукових праць. Зокрема С. Онищенко досліджує особливості 3D друку в освітньому процесі, М. Гриц та І. Федосова розглядають можливості використання 3D технологій в освітньому процесі, О. Кириченко окреслює критерії готовності до професійної діяльності майбутніх інженерів на основі 3D технологій.

Дослідники наголошують, що використання технологій 3D моделювання для підготовки фахівців дозволяє, з одного боку, розвивати просторову уяву здобувачів освіти, а, з іншого – дослідити виробничі процеси та ситуації, які неможливо реалізувати в реальному часі, через зависоку вартість обладнання, небезпеку для здоров'я, життя та довкілля тощо.

Отже, проведений аналіз джерел показав широкий спектр використання 3D технологій в світній галузі та продемонстрував відсутність 3D додатку навчального призначення для підготовки фахівців морської галузі.

**Метою роботи** є розробка додатку навчального призначення для дослідження остійності судна SUNRAY засобами 3ds Max та Unreal Engine 4.

Згідно з поставленою метою в роботі вирішуються наступні **завдання**:

1. провести теоретичний та порівняльний аналіз стану діджиталізації в Україні та світі й дослідити можливості використання 3D моделювання в освіті;

2. провести порівняльний аналіз тривимірних редакторів для створення 3D моделей та обрати оптимальний, на основі проаналізованих наукових джерел розробити модель судна SUNRAY засобами редактора 3ds Max;

3. провести порівняльний аналіз ігрових рушіїв та обрати оптимальний;

4. проаналізувати математичну модель, на її основі розробити навчальний застосунок для вивчення динамічної остійності судна.

**Об'єктом дослідження** є застосування навчальних застосунків із використанням технологій 3D моделювання у підготовці здобувачів вищої освіти.

**Предметом дослідження** є створення застосунку навчального призначення для вивчення остійності судна SUNRAY із використанням тривимірного редактора 3ds Max та Unreal Engine 4.

У процесі виконання роботи були використані наступні **методи дослідження**:

- теоретичні: аналіз науково-теоретичних джерел, що забезпечує ознайомлення з сучасним станом об'єкта дослідження з метою встановлення вихідної концепції предмета дослідження й визначення його поняттєвого апарату;

- емпіричні: порівняльний аналіз, з метою визначення оптимального програмного забезпечення для вирішення проблеми дослідження.

**Структура роботи.** Робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків загальним обсягом 54 сторінки, 3 з яких – додатки.

# РОЗДІЛ 1

## ТЕОРЕТИЧНИЙ ОГЛЯД ПІДСТАВ ЗАСТОСУВАННЯ 3D МОДЕЛЮВАННЯ У ПРОЦЕСІ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ

### 1.1 3D моделювання як невід’ємна частина діджиталізації освітньої галузі

Четверта промислова революція, яка відбувається в світі сьогодні, спонукає до тотальної діджиталізації усіх сфер сучасного суспільства. Це призводить до нарощуванням потужностей технологій та збільшення кількості інформації, а також вимагає зміни підходів до її збереження та обробки. Отже, стає неминучою повна цифрова трансформація усіх сфер, а саме: державні послуги, наука, бізнес, освіта, соціальне та повсякденне життя громадян.

Ставлення багатьох країн світу до процесу цифровізації сфер повсякденного життя спонукало формування Індексу діджиталізації економіки й суспільства DESI [1], який розраховується на основі 5 показників:

1. «Підключення» країни до результатів діджиталізації (Connectivity);
2. Людський капітал (Human Capital/Digital skills);
3. Використання інтернету громадянами (Use of Internet by citizens);
4. Інтеграція цифрових технологій у бізнес (Integration of Digital Technology by businesses);
5. Цифрові публічні послуги (Digital Public Services).

Нижче наведено рейтинг країн за значенням індекса діджиталізації DESI [1].

Першою в рейтингу DESI (рис. 1.1) є Фінляндія. Саме в цій країні було вперше було розроблено застосунок для моніторингу контактів із

хворими однією під час епідеміологічної ситуації, пов'язаної з COVID-19. Країна лідирує в цифровізації послуг у сферах бізнесу, охорони здоров'я та державних послуг [1].

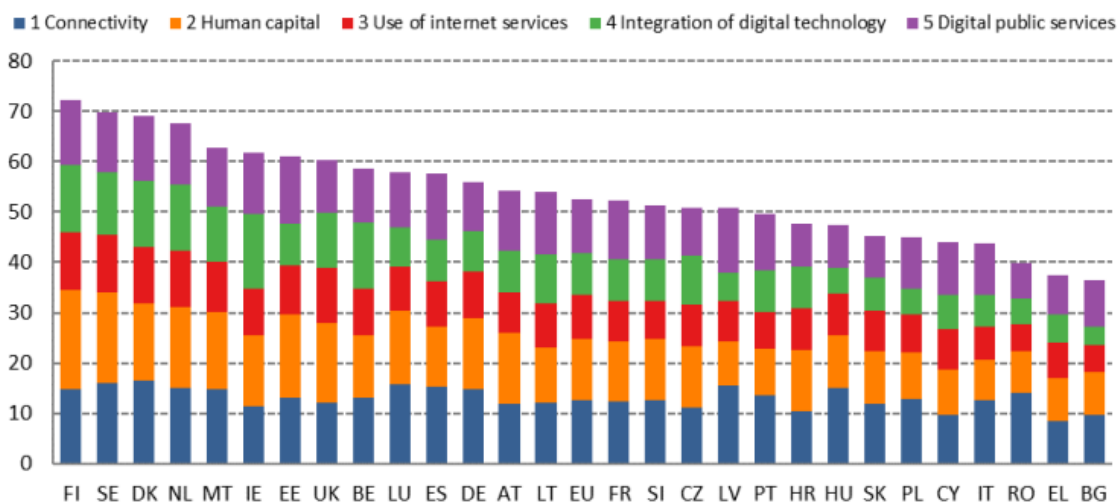


Рисунок 1.1 Рейтинг країн ЄС у 2020 році за індексом DESI

Також значної уваги заслуговує сервіс e-Estonia, яки успішно впроваджується в Естонії. До цього сервісу входять додатки «держава у смартфоні» та X-road – додаток, який забезпечує зашифровану комунікацію між урядовими установами. Досвід цієї країни показує, що 99% послуг можна зробити онлайн. До таких послуг належать сплата податків, документообіг, онлайн реєстрація громадянства для іноземців, а також голосування на виборах [2].

В Україні процесом діджиталізації керує Міністерство цифрової трансформації України, яке регулює створення «цифрової держави» такими документами:

- Розпорядженням Кабінету Міністрів України «Про схвалення Концепції розвитку цифрової економіки та суспільства України на 2018-2020 роки та затвердження плану заходів щодо її реалізації» №67-р від 17.01.2018 р. [3];

- Положенням Кабінету Міністрів України про Єдиний державний веб-портал електронних послуг та Єдиний державний портал адміністративних послуг №1137 від 04.12.2019 р. [44];

- Постановою Кабінету Міністрів «Про затвердження загальних вимог до програмних продуктів, які закуповуються та створюються на замовлення державних органів» №860 від 12.08.2009 р. [5].

На думку Голови Верховної Ради України Руслана Стефанчука «діджиталізація є важливим чинником, який впливає та визначає темпи розвитку нашої країни» [6]. Задля забезпечення інноваційного розвитку «цифрової держави» вищезазначеним міністерством було розроблено мобільний застосунок та портал «Дія», у якому доступні усі документи особи, 27 державних послуг та інформація з шести реєстрів. Засобами «Дії» сьогодні здійснюється соціальна підтримка тимчасово переміщених осіб, людей, які втратили роботу, майно чи бізнес через військову агресію Росії над Україною.

Також, у зв'язку з воєнним станом в нашій країні, активно використовується проект «Всеукраїнська школа онлайн», впроваджено е-журнали та е-щоденники для закладів середньої освіти, онлайн підвищення кваліфікації для вчителів та модернізація ЄДЕБО [7].

Зростання попиту на послуги ІТ-сфери, як наслідок світової діджиталізації, зумовило щорічне зростання експорту ІТ послуг України на 20-25%, а за 2019 рік - на рекордні 30,2%. Це вивело Україну на перше місце серед країн Європи за об'ємами експорту ІТ послуг [8].

Одними із вагомих світових споживачів ІТ послуг є освітня галузь. Особливо це стало помітним в умовах військової агресії проти нашої, коли вся освіта була змушена перейти у дистанційний режим. Ринок освітніх послуг надав значну кількість навчальних курсів та ресурсів для їх створення, як платних так і безкоштовних, що дозволило слухачам продовжити навчання. Але питання реалізації практичної підготовки



слухачів залишилися не вирішеними, адже більшість виробничих підприємств закрили доступ для проходження практики. Це підвищило попит на навчальні 3D моделі, як цифрові так і надруковані за допомогою 3D принтера [9].

Підвищений попит на 3D моделі прототипів виробу, а також їх використання в освітньому процесі сприяють створенню навчальних колекцій для унаочнення навчального процесу, та підвищити мотивацію до навчання у слухачів [10].

Навчальні 3D моделі використовуються для підготовки фахівців медичної галузі, представників професій пов'язаних з небезпекою для життя, архітекторів тощо.

Використання 3D моделей у навчальному процесі забезпечує реалізацію основних дидактичних принципів, а саме:

1. *Наочність* – 3D моделі легко досліджувати без страху їхнього пошкодження.
2. *Оптимізація навчання* – 3D моделі надають студентам необмежений час для навчання.
3. *Доступність* – 3D моделі можна легко розповсюджувати серед викладачів та здобувачів освіти.
4. *Динамічність* – 3D моделі можна анімувати, масштабувати, проводити з ними різноманітні маніпуляції, тощо.
5. *Науковість* – 3D моделі можна досліджувати й аналізувати [9].

Оскільки 3D моделі прототипу є дуже точним та не займають фізичного простору, до них можна застосувати методи аналізу, що недоступні у фізичному світі. Наприклад, дві моделі можна буквально накласти одна на одну, щоб дослідити будь-які відмінності. Вимірювання конструкцій можна зробити кількома кліками. У випадку обробленої деталі випробування матеріалу на навантаження можна проводити багаторазово без необхідності заміни деталі [9].

Отже, виходячи з вищесказаного зробимо висновок, діджиталізація входить в усі сфери людського життя та стає невід'ємною його частиною. Особливе значення застосування діджиталізації спостерігається в освітній галузі для підвищення якості підготовки фахівців, унаочнення навчального процесу, та можливість її застосування як для очного, так і для дистанційного навчання.

### 1.2 3D моделювання у формуванні професійних компетенцій

Доречність застосування 3D моделей для підготовки майбутніх фахівців зумовлена необхідністю формування у них просторового мислення та уяви, підтримання стійкого інтересу до майбутньої професії, та формування професійних компетентностей.

Створення та використання 3D моделей виступає одним зі способів пізнання. 3D моделювання допомагає розв'язувати деякі завдання, які не можуть бути вирішені безпосередньо на об'єкті, який досліджується, або якщо для вирішення таких завдань необхідно долати значні труднощі різного характеру [11]. 3D моделі широко застосовують у підготовці спеціалістів багатьох галузей, а саме: медичні працівники (хірурги, стоматологи), фахівці судової та слідчої експертизи, географія та метеорологія, історія, біологія, моряки, інженерні фахівці тощо [12].

Процес 3D моделювання передбачає створення тривимірних об'єктів за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення. Основним завданням якого є розробка візуального об'ємного образу бажаного об'єкта. При цьому, модель може, як відповідати реально існуючим об'єктам, так і бути повністю абстрактною [13].

Незважаючи на складність, 3D моделювання дозволяє розвивати творчість, підвищити ефективність та продуктивність, якість роботи, яка виконується.

У процесі роботи з 3D моделями здобувач освіти навчається поєднувати реальний світ з віртуальним. Але для вдалої реалізації проектів з 3D моделювання фахівцю необхідно мати високорозвинені професійні компетентності.

Сформовані професійні компетентності передбачають виконання фахових обов'язків, які вимагають відповідального ставлення до довкілля, життя та здоров'я людини, збереження цінного обладнання тощо.

Існують моменти, коли у процесі навчання, необхідно розглянути можливу робочу ситуацію з різних позицій. Наприклад, неправильно складений вантажний план судна та проведені згідно з ним вантажні операції можуть спричинити аварію із суттєвими наслідками. Для цього здобувачі освіти, під час навчання, неодноразово моделюють різні ситуації та їх наслідки, використовуючи необхідні тренажери.

На сьогодні існують тренажери як віртуальної так й імерсійної реальності для навчання фахівців. Вони використовуються в навчальному процесі підготовки фахівців на різних етапах. Наприклад, віртуально-реальний тренажер «Heavy lift», який дозволяє відпрацювати вантажні операції на судні, та вимагає вже сформованих відповідних компетенцій, які у здобувачів формуються на попередніх етапах навчання.

Також, у процесі навчання, здобувачі можуть скористатися безкоштовним застосунком «MARINE SURVEYOR CALCULATOR», вигляд якого проілюстровано на рисунку 1.2. За допомогою такого застосунку можна перевірити правильність розміщення палива, провізії, питної води та баластних вод вантажів у трюмах для суховантажних суден, та в танках для наливних суден. За допомогою даного застосунку можна проконтролювати крен та диферент судна, а також побудувати інтерпольовану діаграму статичної остійності.



Рисунок 1.2 Marine Surveyor Calculator

Але, нажаль, ці тренажери не дозволяють візуалізувати процедуру завантаження/розвантаження судна. Здобувач освіти не бачить, що відбувається з судном після прийняття/зняття вантажу і тому не може оцінити критичність значень диференту та крену та їх вплив на морехідність судна.

Саме тому та на запит викладачів Херсонської морської академії було розроблено навчальний застосунок.

Підбиваючи підсумки, стає зрозуміло, що тривимірне моделювання це складний багатогранний процес, що потребує від спеціаліста не абияких технічних та соціальних навичок. Хоча результат моделювання широко застосовується у багатьох галузях освіти та допомагає у розвитку просторового мислення, уяви та здобутті практичних знань майбутніх фахівців. Аналіз доступних користувачеві рішень показав, що існує необхідність у розробці прикладного навчального застосунку із використанням технологій 3D моделювання та візуалізації, оскільки

наявні «на ринку» програми не задовольняють потребу здобувачів освіти в унаочненні впливу фізичних величини на морехідні якості судна.

## РОЗДІЛ 2

### РЕАЛІЗАЦІЯ 3D МОДЕЛІ НА ПРИКЛАДІ СУДНА SUNRAY ЗАСОБАМИ 3DS MAX

#### 2.1 Огляд тривимірних редакторів

Стрімкий розвиток напряму 3D моделювання супроводжувався зростанням й кількістю програмних продуктів, які можуть бути застосовані для виконання широкого спектру поставлених завдань. Звісно, ігрові рушії надають певний інструментарій для створення та анімації тривимірних моделей, проте його замало для створення складних полігональних об'єктів. Рушії мають лише набір стандартних об'єктів-примітивів (наприклад, сфера, куб, тор чи чайник) та зовсім відсутні засоби змінення полігональної сітки об'єкта. Тому з метою розробки високоякісної моделі та подальшого програмного забезпечення з її використанням загальноприйнятим процесом роботи є такі етапи:

- створення 3D моделі у 3D редакторі;
- розгортання UV та запікання текстурних мап;
- пост-обробка та анімації 3D моделі в ігровому рушії.

Величезне різноманіття програмного забезпечення, що представлене на ринку, та активний попит на продукт індустрії 3D моделювання сприяли природньому формуванню категорії редакторів-лідерів за популярністю серед користувачів. До таких редакторів відносяться:

- Blender;
- ZBrush;
- Autodesk Maya;
- Autodesk 3ds Max.

Таким чином доцільно порівняти ключові характеристики зазначених програмних пакетів для 3D моделювання, результати чого наведено у табл. 2.1 нижче.

Таблиця 2.1

Порівняльна характеристика 3D редакторів

Критерій відбору	3ds Max	Maya	Blender	ZBrush
Операційна система	Microsoft Windows	Mac OS, Microsoft Windows, Linux	Mac OS, Microsoft Windows, Linux	Mac OS, Microsoft Windows, Linux
Об'єм пам'яті	1 ГБ	2 ГБ	90.8 МБ	755.44 МБ
Вартість	3 варіанти придбання ліцензії [14]: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3-річна за 4590\$;</li> <li>• річна за 1700\$;</li> <li>• місячна за 215\$.</li> </ul> Можливе користування студентською ліцензією з обмеженням на продаж результатів її користування.	3 варіанти придбання ліцензії [15]: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3-річна за 4590\$;</li> <li>• річна за 1700\$;</li> <li>• місячна за 215\$.</li> </ul> Можливе користування студентською ліцензією з обмеженням на продаж результатів її користування.	Розповсюджується безкоштовно [16].	3 варіанти придбання ліцензії [17]: <ul style="list-style-type: none"> <li>• звичайна за 895\$;</li> <li>• 6-ти місячна за 179.95\$;</li> <li>• місячна за 39.95\$.</li> </ul> Можливе користування безкоштовною пробною версією редактора.
Особливості створення тривимірних моделей	Представлені усі необхідні інструменти – Editable Poly, Editable Mesh, Editable Patch, Editable Spline. Додатково об'єкт можна змінити за допомогою великої кількості модифікаторів.	Представлені стандартні інструменти роботи з кривими та полігонами, складні механізми роботи з текстурами та можливість їх оформлення без використання сторонніх програм.	Підтримка різноманітних геометричних примітивів, режим subdivision surface (SubSurf) для швидкого моделювання, метасфери, скульптурне моделювання та векторні шрифти.	Абсолютно унікальний спосіб моделювання, схожий на роботу з «діджитал» глиною зі збереженням топології - DynaMesh.

Продовження табл. 2.1

Критерій відбору	3ds Max	Maya	Blender	ZBrush
Доступність навчального матеріалу	Вважаючи 3ds Max доволі складним редактором, процес його опанування порівняно легкий та швидкий. Є можливість знайти безліч навчального матеріалу в Інтернеті, ураховуючи відео-уроки на платформі YouTube.	В Інтернеті присутня достатня кількість матеріалів, покрокових прикладів та відео-уроків на платформі YouTube для опанування цього редактора. Проте слід зауважити, що Maya є доволі складною у вивченні.	Blender є найскладнішим серед обраних редакторів для опанування, хоча Інтернет має пре достатню кількість матеріалів, покрокових прикладів та відео-уроків на платформі YouTube.	В Інтернеті присутня достатня кількість матеріалів, покрокових прикладів та відео-уроків на платформі YouTube для опанування цього редактора. Проте слід зауважити, що ZBrush є доволі складною у вивченні.
Розширення функціоналу	Є можливість встановлення сторонніх плагінів для розширення стандартних можливостей редактора.	Є можливість встановлення сторонніх плагінів для розширення стандартних можливостей редактора.	Є можливість встановлення сторонніх плагінів для розширення стандартних можливостей редактора.	Є можливість встановлення сторонніх плагінів для розширення стандартних можливостей редактора.

Проведений порівняльний аналіз у табл. 2.1 та огляд офіційних сайтів-дистриб'юторів обраних тривимірних редакторів [14], [15], [16], [17] продемонстрував схожість суттєвих характеристик, притаманних вузькоспеціалізованому програмному забезпеченню, до яких відносяться:

- набір стандартних інструментів для роботи з полігонами та кривими;
- значна кількість об'єктів-примітивів;
- набір функцій та модифікаторів для роботи з волоссям, хутром і тінню;



- можливості додаткового розширення функціоналу за допомогою встановлення сторонніх плагінів;
- інструментарій для створення анімації розроблених 3D моделей.

Незважаючи на загальну схожість програмних пакетів, кожен з них демонструє переваги у виконанні конкретних завдань, які розбіжні з тими, що поставлені у даному дослідженні.

Редактор Maya здобув репутацію програми, яку найліпше обрати для роботи з анімацією героїв в іграх, мультфільмах та кіно.

Редактор ZBrush зайняв нішу створення високо- та низькополігональних моделей об'єктів органіки, які знайшли широке застосування в іграх, кіно та мультфільмах. До того ж, характерною особливістю ZBrush є скульптинг – створення об'єктів за допомогою графічних планшетів та пензлів, що робить процес схожим на ліпку з глини.

Blender є майже аналогом 3ds Max та має велику кількість переваг, до яких відноситься безкоштовне розповсюдження. На противагу Blender найскладніший у вивченні, має порівняно менше бібліотек моделей, не є оптимальним для використання у створенні архітектурних моделей та найменш популярний серед великих компаній.

Підсумовуючи усе зазначене вище, стрімке масштабування сфери 3D моделювання спричиняє виникнення нових програмних рішень, що можуть бути використані. Проте, кожний представлений на ринку програмний продукт знайшов своє застосування у виконанні вузькоспеціалізованих завдань. Тож, проведений у ході дослідження порівняльний аналіз тривимірних редакторів сприяв виділенню їх функцій та критеріїв доцільності застосування кожного з них та дозволив обрати найоптимальніший - Autodesk 3ds Max.

## 2.2 Коректна топологія та стилі тривимірного моделювання

Для чіткого розуміння принципів, стилів чи правил тривимірного моделювання необхідним є введення наступних дефініцій:

- 3D модель/полігональна сітка/меш («mesh») – набір вершин, ребер та полігонів, що задають форму об'єкта;
- полігон (polygon, poly) – сукупність 3 і більше вершин на поверхні моделі;
- топологія – спосіб представлення 3D моделі; те, як розташовані вершини, ребра та полігони на її поверхні.

Саме топологія є характерною ознакою, за якою можна вирізнити якісно та професійно розроблену модель. Одна і та ж сама модель, спроектована з та без дотримання правил коректної топології, матиме кардинально різний вигляд та поведінку у кінцевому проекті, а саме це помітно в анімації, якості UV-розгортки, текстурованні, відображенні тіней тощо. Створення коректної топології має на увазі дотримання певних правил:

- усі полігони мають мати форму чотирикутника або трикутника, оскільки за таких форм полігонів ігрові рушії працюють найкраще [18];
- в одній точці не може бути більше однієї вершини;
- за відсутності обґрунтованої необхідності, бажано розділяти об'єкти для уникнення зайвого ускладнення топології;
- бажано уникати вузьких та довгих полігонів, та тих, які ніяким чином не впливають на форму меша;
- усі вершини полігона повинні лежати на одній площині – якщо квадратний полігон згинається, то на етапі рендеру виникне некоректне відображення текстур. У такому випадку квадратний полігон необхідно розділити на два трикутних;

- на помітних місцях згину (такі як суглоби персонажів або шарніри) необхідно контролювати розмір полігонів та округлювати полігональну сітку.

Як було зазначено у попередньому параграфі, 3D моделювання за кількістю полігонів поділяється на три стилі, приклад який зображено на рисунку 2.1:

- high poly (високополігональне) – спосіб створення моделі з найбільшою деталізацією, намагання створити точну копію реального об'єкта. Найчастіше високополігональні моделі застосовуються для рендерингу зображень чи відео, або для створення текстурних мап для низькополігональних моделей в іграх. Нерідко для high poly застосовується скульптинг, особливо для обличчя, одягу та волосся [19], [18];

- low poly (низькополігональне) – спосіб створення моделі у якому, на відміну від високополігонального моделювання, основною метою є створення спрощеної моделі, використовуючи мінімальну кількість полігонів при збереженні впізнаваності моделі. При цьому, для досягнення реалістичного вигляду на зображенні або у грі створюється і high poly модель, текстурні мапи якої використовуються для low poly моделі. Такий стиль моделювання дозволяє зберегти ресурси техніки не втративши реалістичність зовнішнього вигляду об'єкта;

- mid/middle poly (середньополігональне) – спосіб, який об'єднує у собі принципи високополігонального та низькополігонального моделювання. Основною метою є баланс між реалістичним зовнішнім виглядом та кількістю полігонів, яку ще здатен обробити ігровий рушій. Такий стиль моделювання найбільш доцільним є у проектах з порівняно невеликою кількістю моделей у сцені.

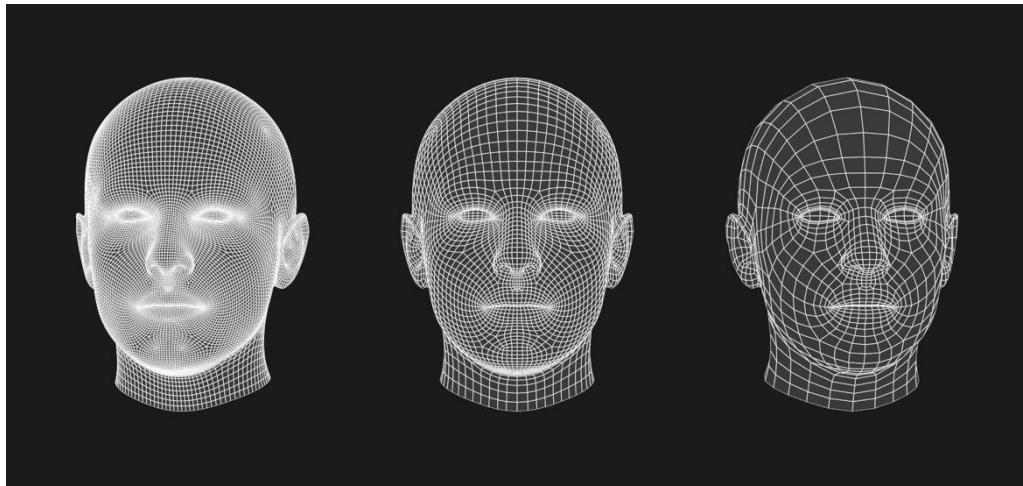


Рисунок 2.1 Приклад high, mid та low poly моделі

Не існує чітких значень кількості полігонів для кожного стилю, тому моделі mid poly часто відносять до інших стилів.

Оскільки проектом у межах дипломної роботи є об'єкт з великими геометричними параметрами без дрібних деталей та для якого немає необхідності у фотореалістичній деталізації, було прийнято рішення дотримуватись саме стилю mid poly.

Отже, підсумовуючи усе вищезазначене, у тривимірному моделюванні може бути виділено три основних стилі - high, mid та low poly – які було охарактеризовано у параграфі.

### 2.3 Аналіз та моделювання тривимірної моделі судна SUNRAY

Будь-який процес 3D моделювання починається з пошуку референсів – зображень об'єкта, що моделюють, для точності відтворення його стилістики та деталей. Зібрані зображення дають чітке уявлення про матеріали, колір, пропорції, розмірності й особливості форми об'єкта та інше (рисунок 2.2, додаток Б, В).



Рисунок 2.2 Зовнішній вигляд судна SUNRAY [20]

Основною технікою моделювання, яка застосовувалася при створенні моделі судна є *box modeling*, яка полягає у поетапному ускладненні топології певного об'єкта-примітива (зазвичай таким примітивом є куб – «*box*», звідки й назва) за допомогою наступних інструментів [21]:

- *видавити (extrude)* – дозволяє змінити глибину обраної грані з утворенням нової топології;
- *вставити (inset)* – утворює новий полігон усередині/за межами початкового пропорційно до його форми;
- *зв'язати (bridge)* – утворення тунелю між обраними полігонами чи побудова полігону між ребрами;
- *фаска (bevel)* – «зрізання» гострих ребер;
- *зварити (weld)* – злиття усіх скупчень сусідніх точок в одну із заданим радіусом;
- *вирізати (cut)* – ручний режим створення ребер чи точок;

- з'єднати (connect) – утворення заданої кількості ребер (на певній відстані між один одним та зі зміщенням відносно центра) між двома паралельними ребрами.

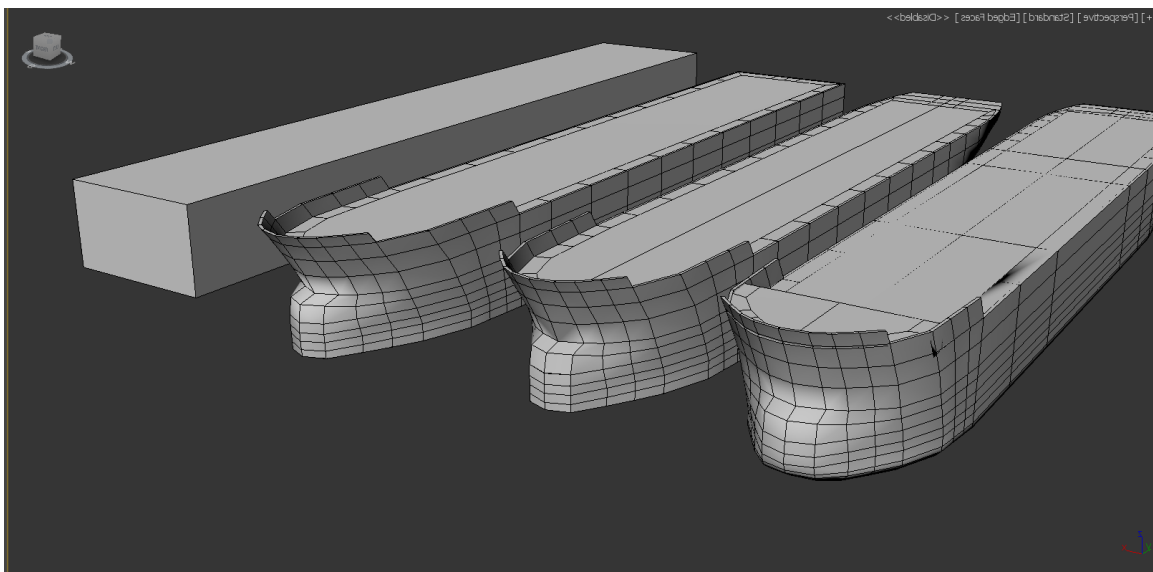


Рисунок 2.3 Початок моделювання. Проміжні моделі, вид спереду

Згідно з визначенням техніки box modeling початковим примітивом для моделі є паралелепіпед, як видно з рисунку 2.3. Точне моделювання носової частини судна неможливе, оскільки моделі «не вистачає геометрії», тобто відсутня достатня кількість точок/ребер/полігонів для відтворення форми. Тому застосовуючи інструмент Connect, створюємо більш щільну полігональну сітку в цій частині моделі. У режимі роботи з точками та у проєкціях front/left/right, за допомогою інструментів переміщення, утворюємо гладку поверхню необхідної форми. Опуклу частину борту спереду – бульб – утворюємо інструментом Extrude.

Дотримуючись аналогічних кроків моделюємо форму задньої частини судна, що проілюстрована на рисунку 2.4.

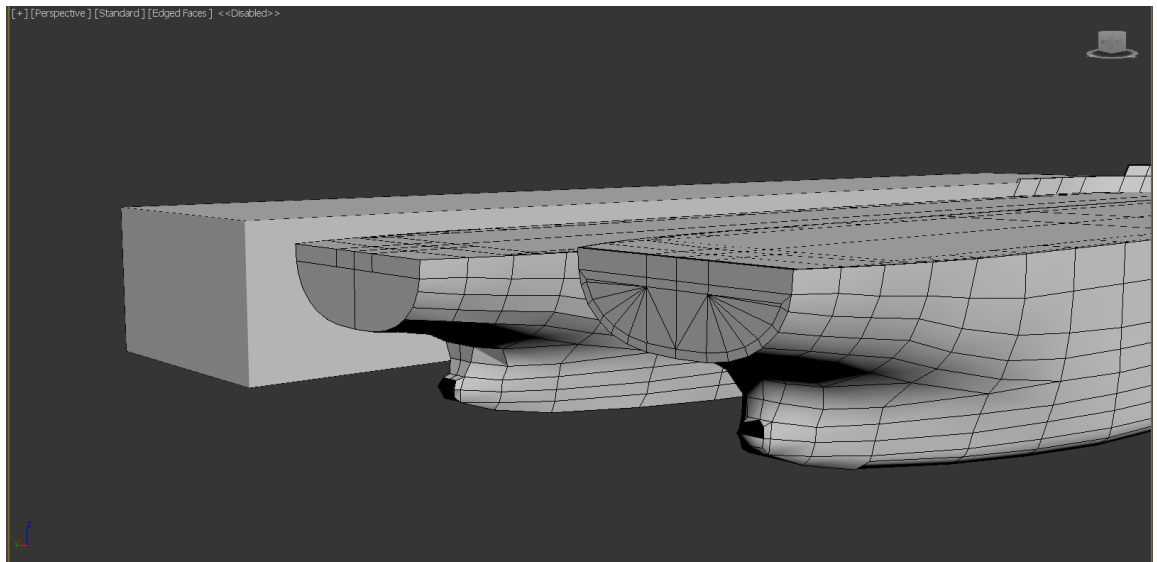


Рисунок 2.4 Початок моделювання. Проміжні моделі, вид ззаду

Надбудова судна, у якій знаходяться навігаційний місток, житлові приміщення та кухня, створюється з примітива-куба додаванням кілець ребер та видавлюванням полігонів інструментом Extrude. Для створення віконних заглиблень знову недостатньо геометрії – ущільнення можливо виконати не тільки інструментом Connect, а й Swift Loop. «Розумна петля» ніби обходить модель по колу та утворює одразу кільце ребер, що значно зручніше, ніж створення ребер поштучно.

Описані у попередньому параграфі правила якісної топології стверджують, що створення усієї моделі з одного примітива не є доцільним, тому що створює занадто складну топологію. Тому дрібні повторювані деталі, – фальшборт, вікна, кабестани, опори кришок та труби – необхідно виділяти як окремі об’єкти та згодом приєднувати до основної моделі надбудови. Уся надбудова теж складається з таких частин:

- чотирьохповерхова будівля жилих й складських приміщень;
- навігаційний місток над нею;

- труби, для відводу вихлопних газів двигуна, що розташовані позаду.

Вигляд моделі на етапі початку роботи з примітивом та наприкінці моделювання показано на рисунку 2.5.



Рисунок 2.5 Початковий та кінцевий вигляд надбудов та вихлопної труби

Широко застосованим засобом пришвидшення та полегшення роботи 3D художників є модифікатори – певні системні функції, які видозмінюють модель за деякими внутрішніми алгоритмами. Оскільки багато частин моделі мають вісь симетрії – до яких відносяться борт, будівлі, крани, та, навіть, гвинт – то ефективним підходом у проектуванні є створення лише однієї сторони. Подальшим кроком у такому випадку є симетричне віддзеркалення моделі модифікатором Symmetry за осями X/Y/Z.

Іншим модифікатором, який було широко застосовано у проекті, є FFD («free form deformation» – деформація за вільною формою). Суть його роботи полягає у створенні каркасу навколо об'єкта із 8/27/48 контрольних точок, за кожною з яких можливо деформувати модель. У



процесі розробки моделі даного дипломного дослідження використовувався FFD  $2 \times 2 \times 2$ , тобто з 8-а точками контролю. Частини моделі, до яких було застосовано цей модифікатор, зображено на рисунку 2.6 (а,б).

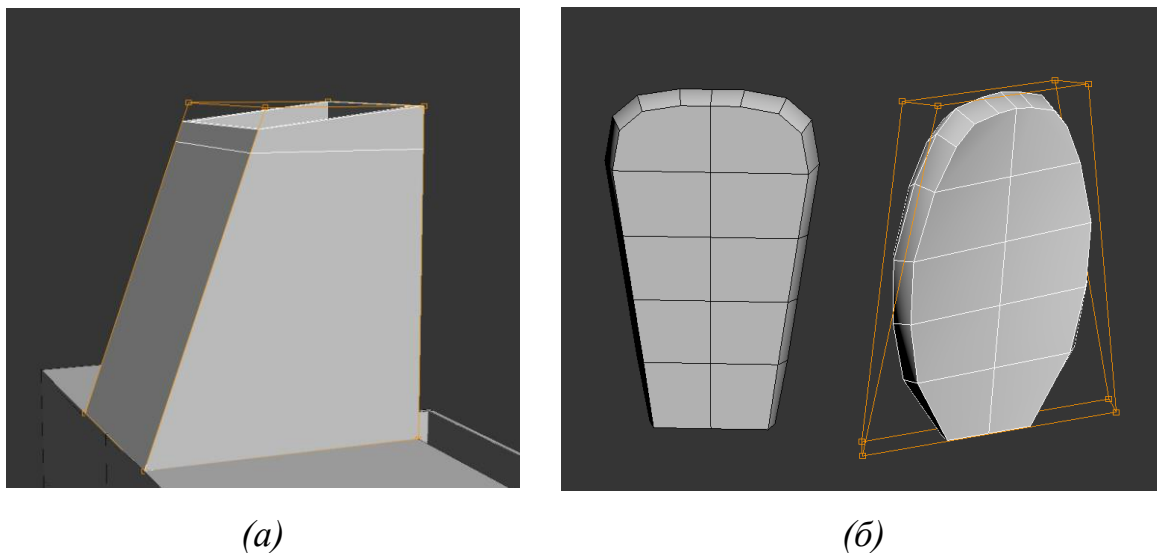


Рисунок 2.6 Приклади використання модифікатора FFD  $2 \times 2 \times 2$  – вихлопна труба двигуна (а) та лопасть гвинта (б)

У відповідності з поставленими завданнями, а саме з точністю відтворити модель реального судна, необхідним є створення трюмів. Для цього усі полігони створеної моделі кожного трюму потрібно розвернути лицьовою стороною усередину. Це зумовлено їх особливістю – коли нормаль полігона розвернута від глядача або камери, то полігон є прозорим (для зручності роботи в редакторі такі полігони мають чорний або тьмяний колір). Вивертання полігонів та їх нормалей здійснюється за допомогою інструменту Flip («перевернути») та виділення необхідної групи полігонів. Приклад застосування Flip зображено на рисунку 2.7.

Дотримуючись описаних кроків з використанням охарактеризованих інструментів та модифікаторів, продовжуючи

створення усіх інших складових моделі, маємо кінцеву 3D модель судна SUNRAY, яку зображено на рисунку 2.8.

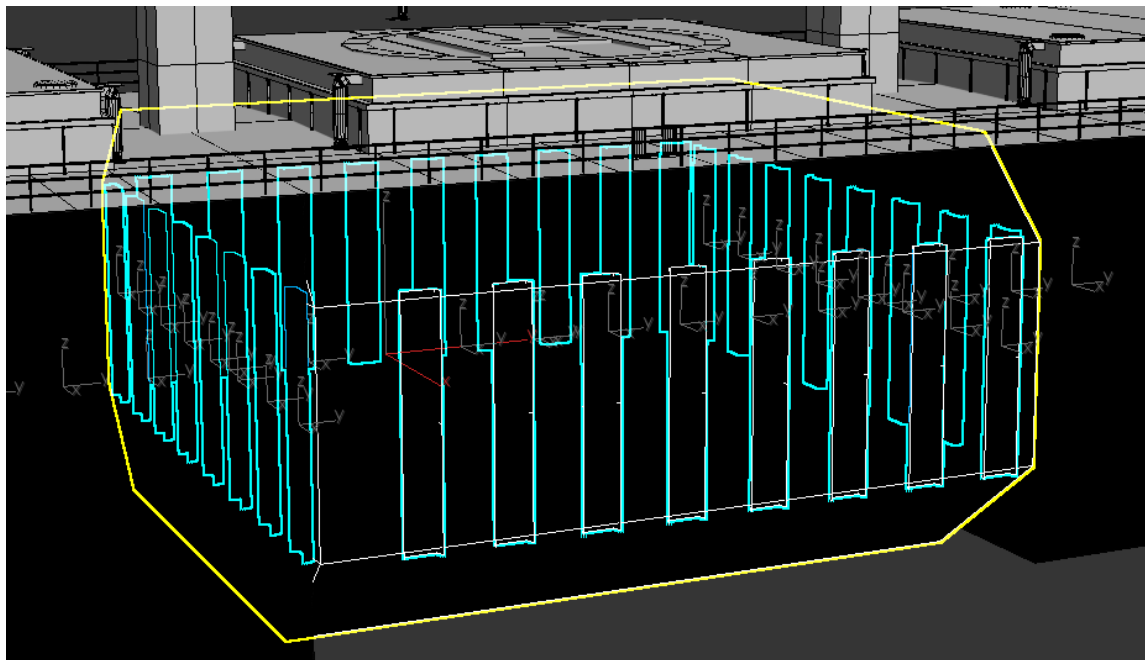


Рисунок 2.7 Вигляд трюмів усередині судна

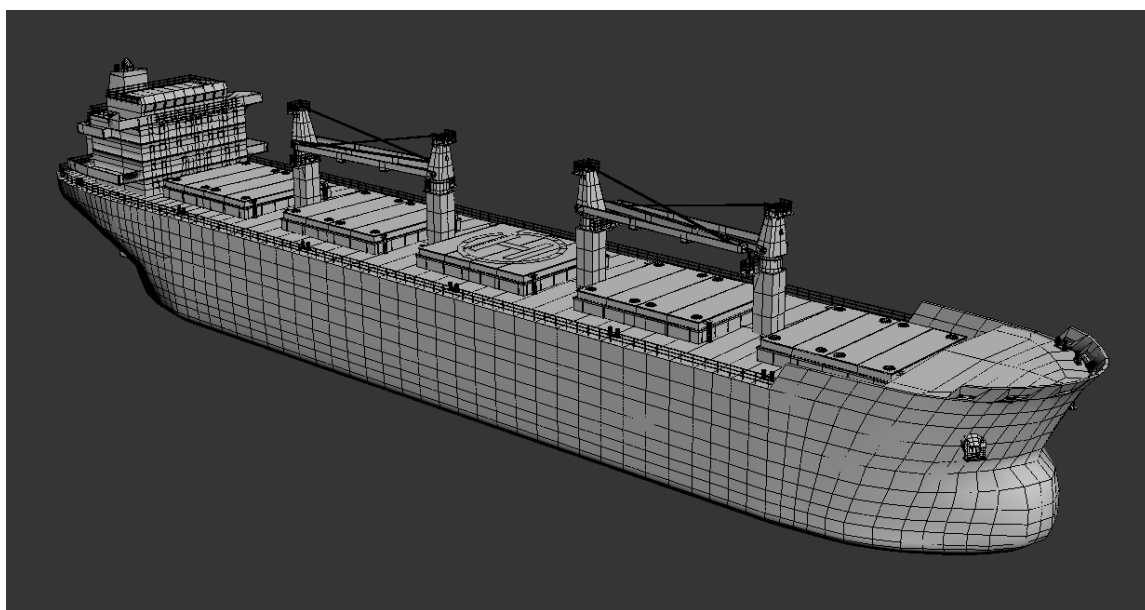


Рисунок 2.8 Модель судна SUNRAY

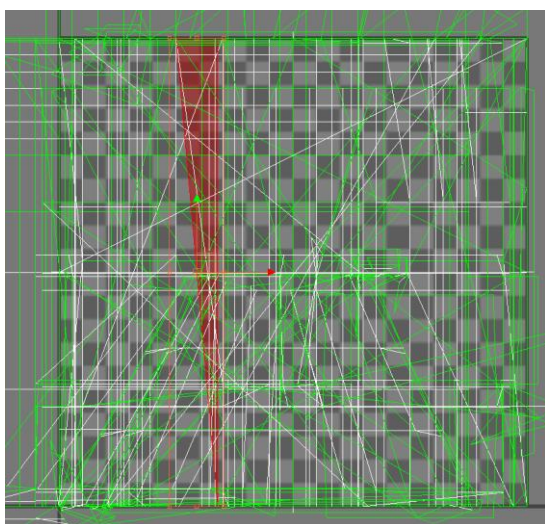
Підбиваючи підсумки, у параграфі стисло охарактеризовано техніку моделювання box modeling та застосовані інструменти тривимірного редактора. Описано хід роботи та його особливості під час створення

моделі судна. Приділено увагу основним модифікаторам, які були використані у процесі роботи.

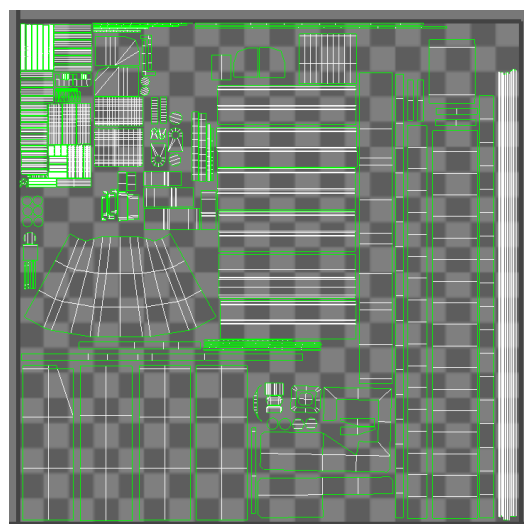
#### 2.4 Створення UV-розгортки та текстурування моделі

Розроблена 3D модель не є завершеною, оскільки представляє собою лише безбарвний меш. Таким чином, фінальним етапом у створенні тривимірної моделі є процес її текстурування, який неможливий без утворення UV-розгортки. UV називають двовимірні текстурні координати, які зберігають інформацію про кожну вершину геометрії моделі. Вони є найважливішою складовою процесу текстурування оскільки фактично зв'язують полігональну сітку поверхні з тим, як на неї накладається необхідне зображення. Кожен піксель текстурної мапи відповідає певній точці тривимірної моделі [22].

За замовчуванням, будь-яка створена тривимірна модель має автоматично згенеровану UV-розгортку для неї для подальшого текстурування та анімації.



(a)



(б)

Рисунок 2.9 Приклад UV-розгортки – автоматично згенерованої (а) та упорядкованої вручну (б)

Зазвичай, згенеровані автоматично розгортки не задовольняють вимоги у коректності відображення 2D зображення на 3D об'єкт, а саме можливо зіштовхнутися з такими проблемами, як втрата якості та чіткості зображення, дивне розташування зображення на моделі, або так звані артефакти при пост обробленні моделі в ігровому рушії.

Після остаточного завершення моделювання об'єкта (будь-яка зміна в геометрії спричинить автоматичне пере генерування UV-розгортки за замовчуванням) має місце процес створення й упорядкування UV-розгортки [23]. На рисунку 2.9 на прикладі суднового вантажного крана порівняно автоматично згенеровану та впорядковану розгортки.

Розповсюдженою практикою серед багатьох компаній з розробки ігор, мультфільмів та фільмів, та анімаційних студій є наявність певних внутрішніх стандартів з оптимізації вигляду UV-розгортки. Зокрема, до таких правил можна співвідносити й інструкцію зі створення героїв для гри Dota 2 від Valve – компанії її розробників [24]:

- те, які саме деталі повинні займати більшість місця на UV-розгортці, обирається в залежності від найвірогіднішого кута камери у кінцевому проекті;
- для збільшення деталізації текстур можливим є накладання частин UV із зсувом на +1 (по осі U чи V ) одна на одну. Описаний метод упорядкування UV називається тайлінгом;
- використання симетрії на максимум – усі деталі, які повторюються, мають посилатися на одну й ту саму частину UV-розгортки;
- зменшення границь – порожніх місць між UV частинами – до 5-10 пікселів;

- зберігайте пропорції моделі навіть зважаючи на кут камери гравця – великим деталям моделі відводиться більше місця на UV-розгортці;
- групуйте полігони для розгортання зважаючи на групи згладжування – групи виділених (вручну або автоматично) полігонів, які за певним алгоритмом обробки утворюють гладку поверхню між собою та різкий перехід між іншими групами згладжування.

Застосувавши до моделі модифікатор Unwrap UVW, отримаємо доступ до її UV-розгортки та усього необхідного функціоналу для обробки UV. Відкривши редактор UV, поетапно упорядковуємо частини розгортки – виділяємо бажані полігони на моделі, функцією швидкої планарної мапи (quick planar map) отримуємо їх проекцію на координатний простір UVW, та дотримуючись правил оптимізації, розміщуємо її на атласі UV. Для коректного відображення 2D зображення на 3D об'єкті необхідно «розгладити» проекцію полігонів інструментом Relax («розслабити», для випрямлення проекції) та Break («зламати», аби відділити зв'язані полігони по спільному ребру та розгорнути циліндр на площину). Приклад застосування цих інструментів для розгортання циліндричних чи опуклих частин моделі зображено на рисунку 2.10.

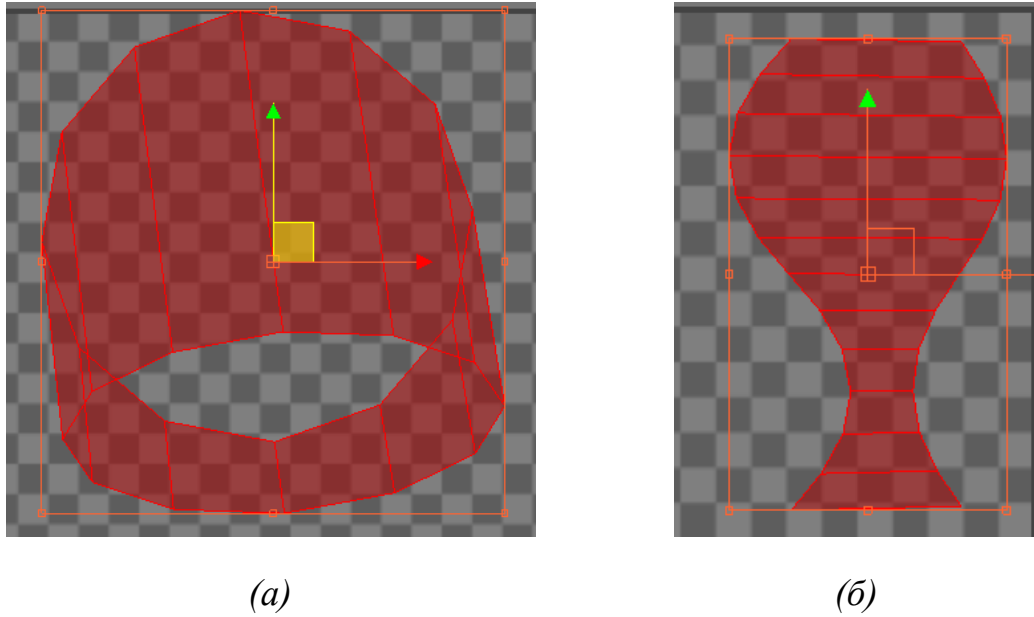


Рисунок 2.10 Приклад розгортання циліндричних частин моделі на площину – до (а) застосування інструментів break і relax та після (б)

Як було зазначено у попередніх абзацах, існує кілька способів організації частин UV-розгортки, кожен з яких доцільно застосовувати для об'єктів різного типу, а саме це [25], [26]:

- UV атлас – підхід до створення UV, у якому усі її частини мають бути розміщені на одній клітині текстурної мапи. Даний підхід знайшов своє застосування у розгортанні порівняно невеликих об'єктів, у яких багато унікальних частин, нескладна топологія, або деталізацією текстур яких можна знехтувати (наприклад, у грі Dota 2 у режимі «вид згори» рівень деталізації не є суттєвим [24]);

- Тайлінг (tiling) – підхід до створення UV, у якому використовується її перевага – повторюваність текстурної клітини в усі сторони. Таким чином, текстурування повторюваних об'єктів чи частин об'єктів можливе завдяки розміщенню їх полігонів із посиланням на однакові частини текстурної клітини із зсувом на  $N$  клітин за осями  $U$  чи  $V$ . Даний стиль має широке застосування у розгортанні геометрично великих об'єктів, для моделей з великою кількістю повторюваних

деталей (наприклад, деталі одягу, колони будівлі, ліва й права сторони персонажів та інше).

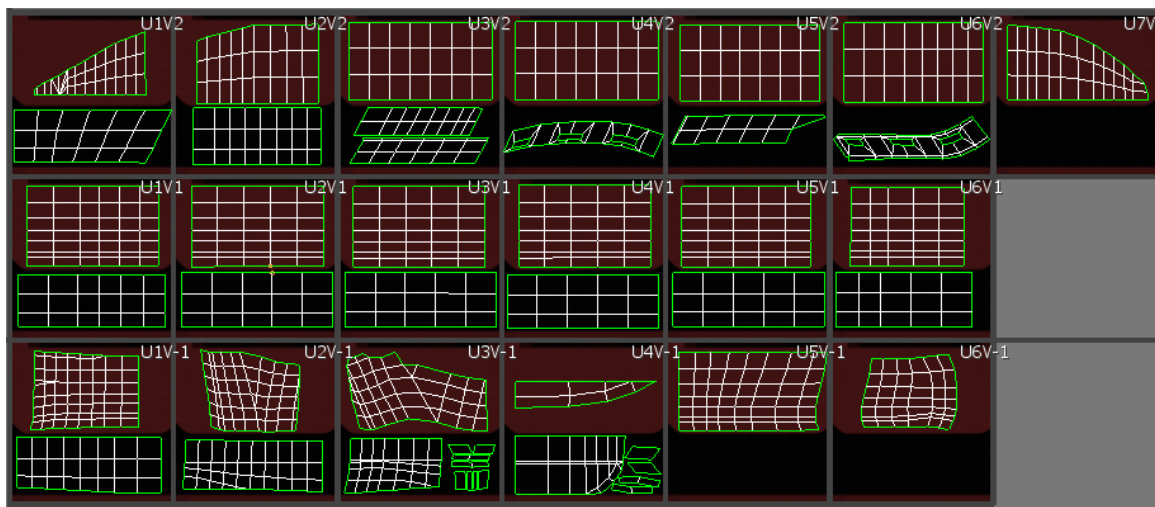


Рисунок 2.11 Приклад застосування тайлінгу для розгортки борту судна

Під час виконання нашого дипломного дослідження тайлінг застосовувався саме для створення розгортки борту судна. Адже судно має повздовжню вісь симетрії (права та ліва сторони борту є симетричними), задля економії ресурсів та завдяки унеможливленню одночасно бачити ці дві сторони доречно, аби їх текстура повторювалася.

Використання обох стилів створення розгорток проілюстроване на рисунку 2.8 (б) та 2.11.

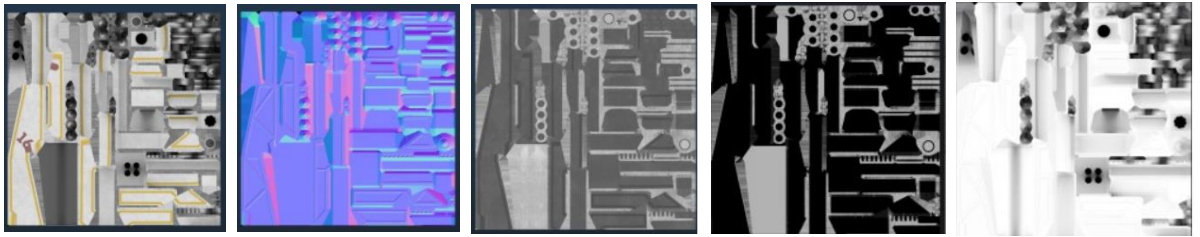
Обраний у ході порівняльного аналізу у параграфі 2.1 тривимірний редактор має недостатню кількість функціоналу для подальшої роботи з розгорткою, тому ми скористалися редактором Substance Painter, який користується великим попитом серед 3D художників завдяки його можливості малювати одразу на 3D моделі. Подальшим кроком є накладання на кожну деталь моделі текстури необхідного матеріалу, а саме фарбованої сталі, використання масок та генераторів, щоб зімітувати ефекти подряпин й пилу. Далі необхідною є генерування

службових мап, що у подальшому будуть застосовані при відображенні текстур в ігровому рушії. Загальноприйнятим набором основних мап, які генеруються на етапі текстурування на основі скомпонованої UV-розгортки, є такі:

- мапа базового кольору (base color) – має колір чи текстуру поверхні моделі у RGB форматі. Це може бути текстура матеріалу (наприклад, шкіра/пластик/дерево/метал), заливка фарбою, або комбінована мапа кольорів для усієї моделі ігрового персонажа;
- мапа нерівностей (roughness) – відображає те, чи є гладкою або шорсткою поверхня матеріалу;
- мапа металевості (metallic) – визначає наскільки певна частина моделі є металевою, оскільки світло та пошкодження мають різну поведінку на металевих та не металевих поверхнях;
- мапа затінення (ambient occlusion) – мапа обчислених значень кількості світла, яке доходить до поверхні. Призначення цієї мапи – додаткова інформація комп'ютеру про поведінку та інтенсивність світла у заглибленнях і на згинах моделі із урахуванням навколишнього середовища сцени. У реальності такого виду освітлення не існує;
- мапа нормалей (normal) – основна мапа, що визначає рельєф й додаткові деталі без ускладнення геометрії моделі. Основний спосіб її використання – перенесення мапи нормалей high poly моделі на low poly об'єкт. Широко застосовується в іграх задля економії ресурсів комп'ютера.

Приклад вигляду текстурних мап зображено на рисунку 2.12.





(a)

(б)

(в)

(г)

(д)

Рисунок 2.12 Мапи базового кольору (а), нормалей (б), нерівностей (в), металевості (г) та затінення (д)

Отже, дано визначення та характеристику UV-розгортки і перелік необхідних інструментів для роботи з нею. Зазначено вимоги до упорядкування частин UV на прикладі внутрішніх стандартів компанії Valve. Додатково дано пояснення двох методів створення UV – UV атлас й тайлінг. Приділено увагу подальшим крокам у роботі з текстурами моделі – службовим текстурним мапам базового кольору, нормалей, нерівностей, металевості та затінення, пояснено значення кожного виду мап у текстурованні моделей.

## РОЗДІЛ 3

### РЕАЛІЗАЦІЯ РОБОТИ 3D МОДЕЛІ НА ПРИКЛАДІ СУДНА SUNRAY ЗАСОБАМИ UNREAL ENGINE 4

#### 3.1 Використання системи контролю версій Git

У практиці розробки програмних продуктів значну роль відіграють системи контролю версій – стороння система, що дозволяють отримати контроль над версіями початкового коду, 3D моделі, текстового документу тощо. Цей потужний інструмент дозволяє декільком розробникам/командам одночасно працювати над проектом, не заважаючи один одному.

Найбільш поширеними з таких є Subversion (SVN), Microsoft Visual Source Safe (VSS), Concurrent Versions System (CVS), Git та Mercurial.

Git – це розподілена система контролю версій, у якій клієнти не просто отримують лише змінені файли, а повністю клонують репозиторій. Таким чином, якщо один із серверів вийде з ладу, та система колаборує через нього, то будь-який з клієнтських репозиторіїв може замінити.

Система контролю зберігає усі версії файлів та повну інформацію про зміни (автор змін, час і дата, що саме змінено), що полегшує розуміння структури проекту на кожній стадії розробки. Місце зберігання даних файлів називають репозиторієм. В середині кожного з репозиторіїв можуть бути створені паралельні лінії розробки — гілки.

Під час дослідження було використано Git з віддаленим репозиторієм на сервісі GitHub та автоматизованим оновленням коду завдяки вбудованим інструментам Unreal Engine 4.

### 3.2 Порівняльний аналіз ігрових рушіїв

Уважається, що ігровий рушії це програмне забезпечення, яке дозволяє створювати відеоігри. Його основне завдання – це абстрагування спільних характеристик відеоігор для повторного використання коду та ігрових асетів [27]. До типового функціоналу рушіїв належить наступне: обробка 2D та 3D графіки, обробка користувацького введення (натискання клавіатури та миші, геймпади, VR окуляри та інше), симуляція фізики та зіткнень, штучний інтелект, звукові ефекти, менеджмент пам'яті, анімація, кросплатформеність тощо [27].

Як було зазначено у попередньому розділі, ігрові рушії є кінцевим етапом у процесі створення ігор, анімації, відеоматеріалів чи додатків різного призначення, до яких залучено 3D моделювання. Розмаїття проектів, які можуть бути створені за допомогою рушіїв, та їх цілепокладання є підґрунтям для розробки великої кількості програмного забезпечення для користувачів різного рівня підготовки, а саме:

- рушії, які не потребують навичок програмування;
- рушії, які використовують веб-технології;
- open-source рушії, які можуть бути розширені чи доповнені досвідченими користувачами;
- професійні рушії [28].

Основними тенденціями розвитку, що спостерігаються останнім часом, є використання високорівневих мов таких, як Java/C#/C++/Python, та експорту проекту для різних платформ використовуючи однакову базу з коду.

У публікаціях [27], [28] було проведено порівняльне дослідження 9 ігрових рушіїв за такими критеріями, як аудіовізуальна точність, функціональна точність, компонування з 3D редакторами, доступність,

платформи експорту та особливості розробки. Підбиваючи підсумки доволі ґрунтового дослідження, автори обрали два найпопулярніші та найбільш потужні рушії – Unity та Unreal Engine 4 – для детального порівняння.

Для порівняння за критеріями зручності користування, експорту гри на девайси, якості гри та пам'яті й загального враження було розроблено дві однакові міні-гри на кожному з рушіїв. Кінцеві результати дослідження наведено у табл. 3.1 нижче.

*Таблиця 3.1*

Результати порівняння Unity та Unreal Engine 4

Критерій	Unity	Unreal Engine 4
Рівень користувача	Підходить для користувачів початкового рівня; простий інтерфейс; велика кількість навчального матеріалу та готових ассетів.	Підходить для досвідчених користувачів; складніше опанування при великій кількості матеріалу в онлайн-доступі; маркет готових ассетів.
Засоби розробки	Використовує C# JavaScript подібні мови для розробки.	Використовує C++ та Blueprints (візуальні скрипти) для розробки.
Застосування	Графіка нижчого рівня та не має потреби у потужному обладнанні, тому сфера застосування – невеликі мобільні ігри. Через кращу оптимізацію використання ресурсів обладнання спостерігається оптимізація роботи з пам'яттю кінцевого проекту.	Високорівнева кінематографічна графіка вимагає потужностей обладнання та навичок роботи з нею. Тому здебільшого проекти Unreal Engine 4 – це сюжетні довгі ігри з відкритим світом для ПК та консолей й численні сцени в кінофільмах. Звісно ж такий проект займає більше пам'яті девайсу.

Проаналізувавши табл. 3.1 та наукові джерела [27], [28], було обрано Unreal Engine 4 для виконання поставлених завдань.

### 3.3 Створення водного середовища та плавучість судна

Плагін Water System дозволяє створювати річки, озера та океани, які працюють разом з ландшафтом (Landscape terrains). Ця система води об'єднує та уніфікує робочий процес із затіненням й рендерингом мешів та поверхнями, які підтримують фізичні взаємодії та симуляцію поведінки поверхні рідини у геймплеї, як-от брижі, викликані кроками або слідом за човном, що рухається по воді.

Перш ніж створити водний об'єкт у сцені потрібно додати до неї будь-який ландшафт, причому площа утвореної поверхні повинна перевищувати розмірність 8×8 квадратів, оскільки за меншого розміру можливе утворення артефактів при відображенні води. Також обов'язковою умовою є підключення до ландшафту шарів (layers) – водне тіло виступає окремим шаром, як-от і текстури. За бажанням, або необхідністю, можливо утворити рельєф за допомогою таких інструментів, як скульптурувати (Sculpt), згладити (Smooth), розрівняти (Flatten) та інші. Приклад вигляду ландшафту без текстури ґрунту в Unreal Engine 4 зображено на рисунку 3.1.

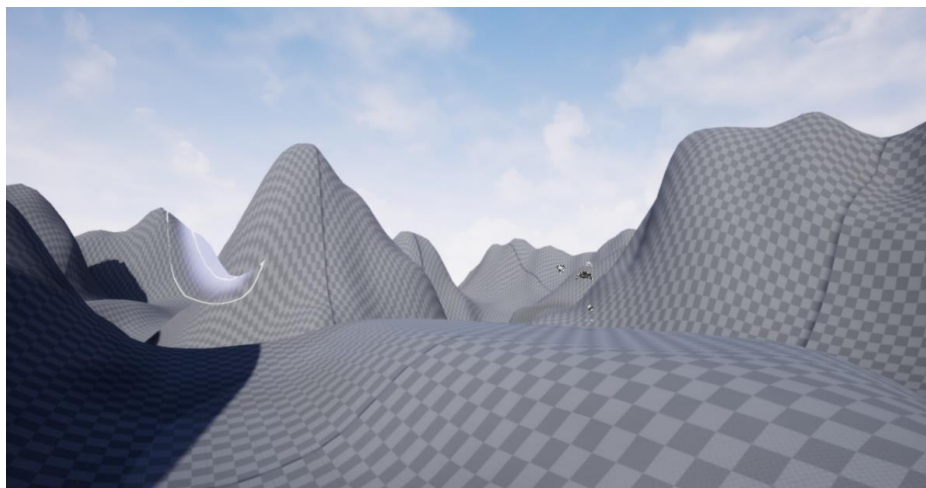


Рисунок 3.1 Ландшафт

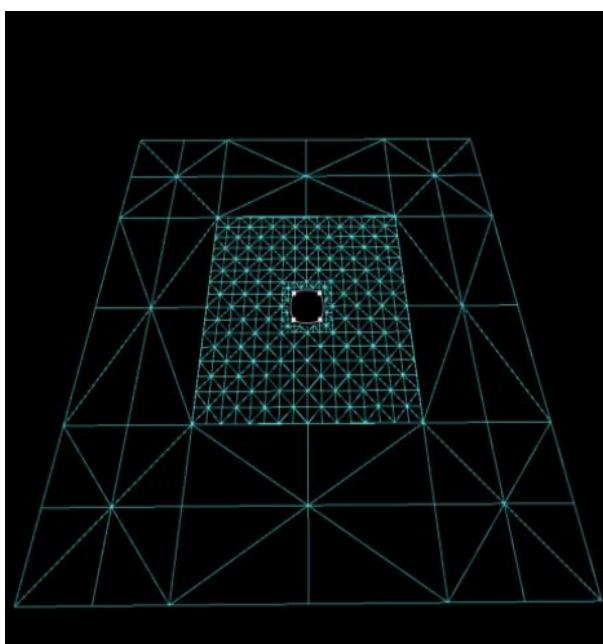
Water System має власну систему мешингу, яка визначає частини створеного світу, які мають містити воду. До неї входять Water Mesh Actor, який слугує для визначення параметрів та характеристик (якість

рендерингу та деталізованість водної поверхні), які застосовуються до усіх Water Body Actor – річок, озер та океану.

Після розміщення Mesh Actor у сцені з'явиться позначення об'єму навколо ландшафту, усередині якого буде згенеровано воду, оскільки Mesh Actor не слугує для її рендерингу. Простим перетягуванням (drag and drop) Body Actor у сцені з'являються чи зникають тайли (tilies), що представляють поверхню води. Оскільки усі Body Actors використовують один меш для генерації, то при перетині двох чи більше об'єктів не виникає видимої межі між ними. Наприклад, річка, що впадає в океан, матиме ніби одну суцільну поверхню води.

Для позначення зон, що відображають воду, Body Actor використовує систему сплайнів (splines) – ліній з зазвичай замкненим початком і кінцем, до яких можна додати будь-яку кількість точок, що й задає форму сплайну.

За замовчуванням, Water Body Actor відображається лише у межах Water Mesh Actor, тобто створюється ефект літаючого куба води довкола острова. Реалістичне генерування води у далечині на горизонті регулюється параметром Far Distance Mesh Extend, який задає відстань на яку додатково згенерується вода.



### Рисунок 3.2 Робота параметра Far Distance Mesh Extend

Оскільки на поверхні реального океану неможливо розглядити будь-які деталі зі збільшенням відстані від спостерігача до них, то в Unreal Engine використовується метод тайлінгу, який схожий на той, що використовується для роботи з UV і зображень на рисунку 3.2 – з віддаленням від берега розмір текстурної частини збільшується, а з тим зменшується його якість. Додатково в рушії передбачена відсутність рендерингу води поза тим, що видно в камері, що дозволяє значною мірою економити ресурси комп'ютерного обладнання.

Компонент плавучості (Buoyancy) є частиною Water System та відповідає за відтворення поведінки плавучого об'єкту. Завдяки призначенню мешу масиву з  $n$  точок – понтонів (Pontoons) – визначається відстань до води та симулюється поведінка об'єкта на її поверхні. Компонент дозволяє налаштувати такі параметри як коефіцієнт плавучості, швидкість занурення та максимальне значення виштовхувальної сили, що забезпечує створення поверхні максимально схожої на справжню воду.

Отже, створення об'єктів Water System вимагає попереднє утворення ландшафту у сцені. Самі ж об'єкти мають доволі гнучку систему налаштування, яка дозволяє максимально наблизити їх зовнішній вигляд до справжньої води, та компонент, необхідний для створення плавучих тіл, - Buoyancy.

### 3.4 Система візуального скриптингу

Unreal Engine 4 використовує систему візуального скриптингу, що має назву The Blueprint Visual Scripting System (Blueprints), яка застосовує інтерфейс на основі вузлів (nodes) для створення об'єктно-орієнтованих класів чи об'єктів. Ця система дійсно є неймовірно

гнучким та потужним інструментом, оскільки значно розширює кількість користувачів ігрового рушія, надаючи доступ зовсім новачкам чи то дизайнерам до інструментів, які зазвичай опановують лише досвідчені програмісти.

Існує велика кількість типів блюпринтів, які можуть бути реалізовані у проекті, проте під час дослідження було застосовано наступні:

- рівневий блюпринт (level blueprint) – спеціальний тип графа подій, виконання якого є поширюється в межах рівня. Відповідно кожен рівень має свій блюпринт;
- віджет блюпринт (widget blueprint) – частина Unreal Motion Graphics для забезпечення відображення елементів інтерфейсу на екрані користувачів;
- структура (structure) – вид блюпринта, який використовується для роботи з даними – а саме зчитування інформації з таблиці та розбиття її за структурою – як частина стилю розробки, який керується даними (data driven development).

Перш ніж розглянути основні види вузлів, слід зазначити, що зв'язок між вузлами називають дротами (wires), які представляють порядок виконання чи потік даних.



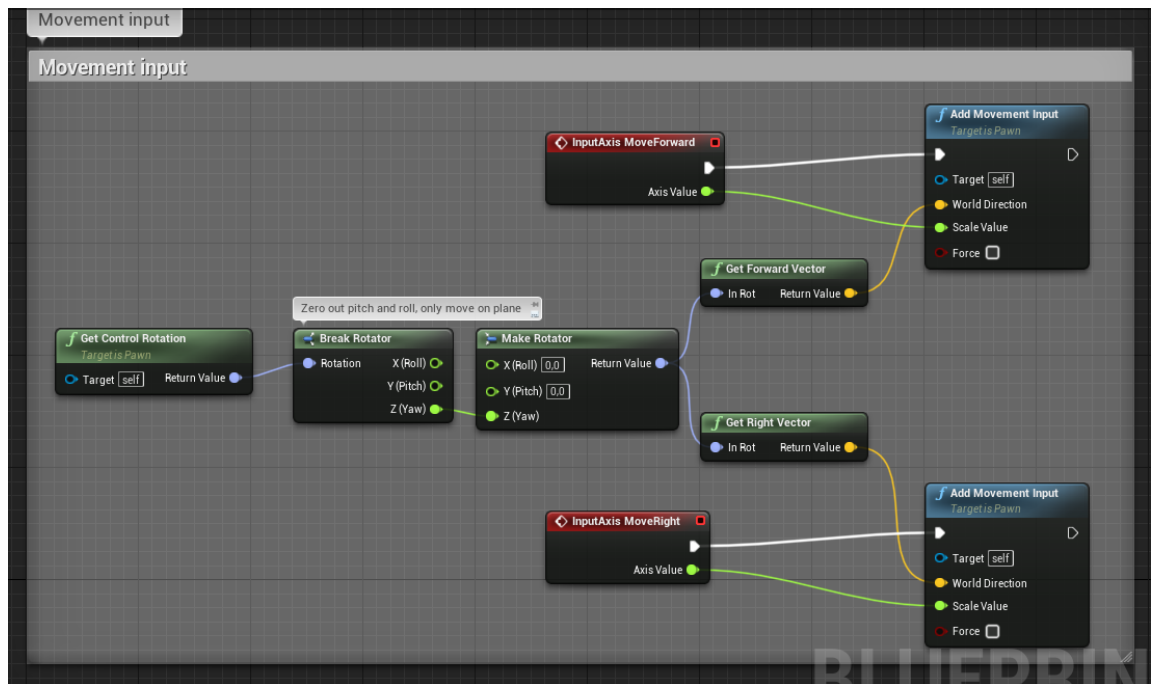


Рисунок 3.3 Приклад вигляду blueprint

На рисунку 3.3 зображено стандартний блюпринт обробки переміщення персонажа (character) на прикладі якого можливо виділити деякі типи вузлів, до яких належать:

- події (events) – червоні вузли, які призначені для обробки подій – початок/кінець гри, натискання кнопок інтерфейсу, перетин межі тригерів тощо;
- функції (functions) – блакитні вузли (як для стандартних, так і для створених користувачем), мають input та output параметри зліва та справа відповідно;
- get/set – зелені вузли для доступу до певних атрибутів об'єкта;
- у більшості випадків при створенні data flow wires виконується автоматичне перетворення типів, за необхідності;
- коментарі можуть бути розміщені як на один вузол (відображаються як стікери зверху), так і на блоки вузлів у вигляді кольорового фону із підписом;

- декілька вузлів можуть бути згорнуті в один (чи розгорнуті) з метою збереження чистоти та легкості розуміння коду.

Підсумовуючи вищезазначене, було розглянуто The Blueprint Visual Scripting System, основні типи блюпринтів та вузлів.

### 3.5 Математична модель та її реалізація

Однією з основних морехідних якостей судна є його остійність. Остійність судна - це здатність судна повертатися в «пряме» положення після припинення дії зовнішніх сил, яка забезпечується під час складання коректного вантажного плану судна. У процесі складання цього плану першим завданням є визначення крену (*heel* та *list*) та диференту (*trim*) судна, які суттєво впливають на остійність, а другим – корегування плану задля їх усунення. Вищезазначена вплив диференту на остійності може бути описана такими формулами:

$$trim = \frac{\Delta (LCG - LCB)}{100 * MCT}$$

$$d_A = d - \frac{trim * LCA}{L_{pp}}$$

$$d_F = d + \frac{trim(L_{pp} - LCA)}{L_{pp}},$$

де *trim* - диферент,  $\Delta$  - водотонажність, *LCG* – повздовжній центр мас судна, *LCB* – повздовжній центр мас зануреної частини судна, *LCA* – повздовжній центр плавучості, *d* - осідання, *d<sub>A</sub>* – осідання носом, *d<sub>F</sub>* – осідання кормою, *L<sub>pp</sub>* – довжина судна між перпендикулярами.

Частина даних, необхідних для розрахунків, знаходяться в *loading manual* судна (додаток Б). Для того, щоб отримати до них доступ у проекті Unreal Engine, об'єм даних зберігається у форматі *.csv* та

завантажується за допомогою структури даних *S>Loading\_manual*, у якій кожен її елемент відповідає стовбцю таблиці за назвою та типом збереженої інформації.

Доступ до таблиці здебільшого забезпечується функціями *Get data table row* та *Get data table column as String*, оскільки Unreal Engine надає доступ до таблиць лише на читання та не має достатньо гнучких інструментів у порівнянні зі звичайними мовами програмування.

Розраховане у процесі роботи значення водотоннажності (*displacement*) за формулою

$$Disp = Light\ ship + Deadweight$$

використовується для пошуку табличних значень параметрів *LCA*, *LCB*, *T* (*d*, осідання) та *MCT*. Для визначення цих параметрів використовується подвійна інтерполяція. Оскільки значення *T* змінюються з кроком 0.05м (інші параметри розраховані для кожного значення *T*), то воно має бути інтерпольовано відповідно до поточної водотоннажності. А далі відповідно до інтерпольованого *T* проводиться інтерполяція *LCA*, *LCB* та *MCT*.

Оскільки водотоннажність не є величиною постійною, а змінюється під час вантажних операцій, які передбачають завантаження та розвантаження судна, то значення параметрів *displacement*, *T*, *LCB*, *trim*, *d*, *d<sub>A</sub>*, *d<sub>F</sub>* обчислюється щоразу після зміни ваги вантажу, розміщеного у трюмах (рис. 3.4 та рис. 3.5).

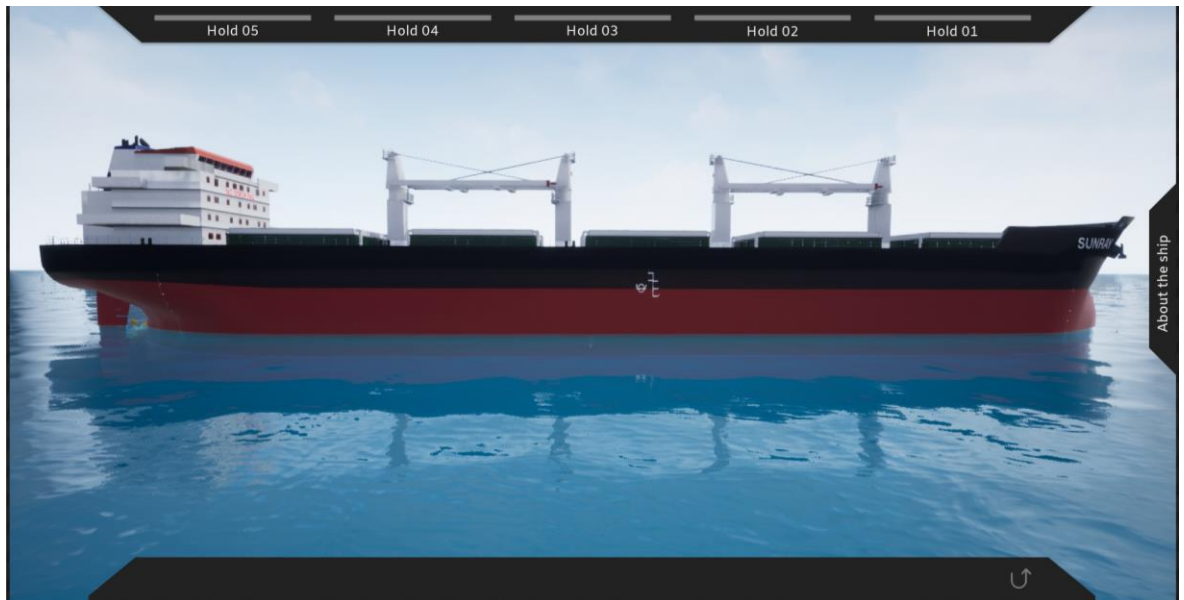


Рисунок 3.4 Трім відсутній



Рисунок 3.5 Трім на ніс судна

Таке динамічне відстежування параметрів, що відображені на екрані користувача, реалізоване за допомогою функцій bind, що автоматично кожен фрейм перевіряють чи було змінено їх значення.

Для досягнення поставлених у дослідженні завдань, а саме розробка функціоналу, що дозволить унаочнити поняття остійності судна, було створено модулі, які відповідають за:

- анімацію вантажних операцій;

- перехід між декількома меню;
- перемикання камер;
- розрахунок та відображення параметрів;
- отримання даних з .csv файлу;
- корегування осідання судна в залежності від розрахованих параметрів.

Реалізація візуальної частини програми, яку становлять модель судна та віджети на екрані користувача, відбувалася наступним чином. Оскільки, для збереження високої якості текстур кожної частини моделі (принципи високоякісного текстуровання були описані у параграфі 2.4) та з метою запобігання зайвого перевантаження топології, суцільну модель було розділено на декілька повторюваних типів (вікна, огорожі, трюми, крани) та унікальних типів об'єктів (надбудови, корпус та палуба, гвинт). Загальна кількість об'єктів у сцені становить 374, кожен з яких за замовчуванням взаємодіє окремо та не змінює свою позицію під час гри. Для їх об'єднання в один встановлюється тип мобільності Movable, який уможливорює динамічність у процесі гри, динамічне прорахування тіней та є найбільш ресурсовитратним та повільним. Кожна самостійна модель має асоційований з нею набір текстур й службових мап та є дочірнім від основного об'єкту моделі – корпусу судна (frame). Немає необхідності у застосування компоненту `Blueprint` до кожного елемента сцени, адже завдяки зв'язкам його додають лише до батьківського об'єкту.

Для виконання поставленого завдання унаочнення вантажних операцій на судні було використано функцію `SpawnActorFromClass` для спавну куба (який є узагальненням вантажу) у заданій точці сцени, а також `Timeline` для анімації відкриття й закриття кришок трюмів та опускання куба в трюм. При цьому бага «вантаж» задається користувачем у `SpinBox` на екрану, а трюм, який необхідно

завантажити/розвантажити, обирається за допомогою чекбоксів. Під час кожної такої операції перераховується значення у відповідних ProgressBars, а за перевищення допустимої ваги вантажу у трюмі – яка регламентована loading manual – користувач отримає попереджувальний тег.

Уся візуальна частина, доступна користувачеві на екрані, створена за допомогою віджет блюпритну, що має дві складові частини – панель для розміщення й дизайну елементів інтерфейсу та граф для описання їх поведінки. Загальний вигляд інтерфейсу, а саме верхню/нижню/бокову панельі видно на рисунку 3.5.

Додаток, розроблений у процесі підготовки кваліфікаційного проекту, є навчальним, тому має бути передбачена можливість рестарту рівня при допущенні студентами помилок у завантаженні судна. Такими помилками є затоплення судна, що означає неправильне складання вантажного плану. При їх допущенні модель відображає реальні фізичні процеси та потопає, перетинаючи простір триггеру – TriggerBox, за обробку якого відповідає подія onOverlap. При цьому викликається функція Restart Level.

Доступний користувачеві функціонал та загальний порядок роботи додатку проілюстровано на рисунках 3.6 та 3.7 відповідно.

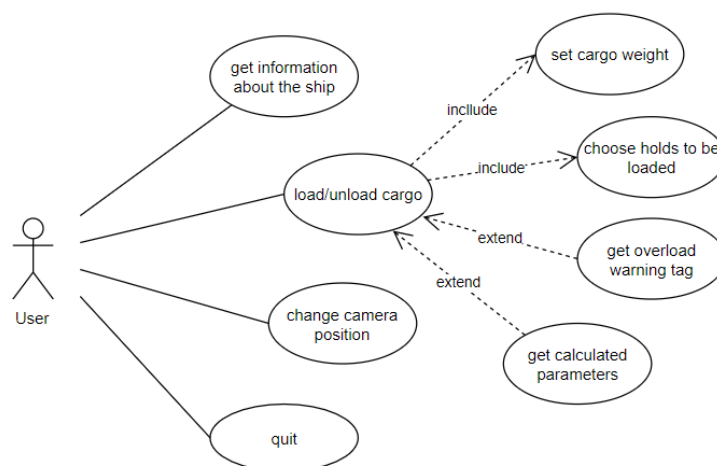


Рисунок 3.6 Use case diagram

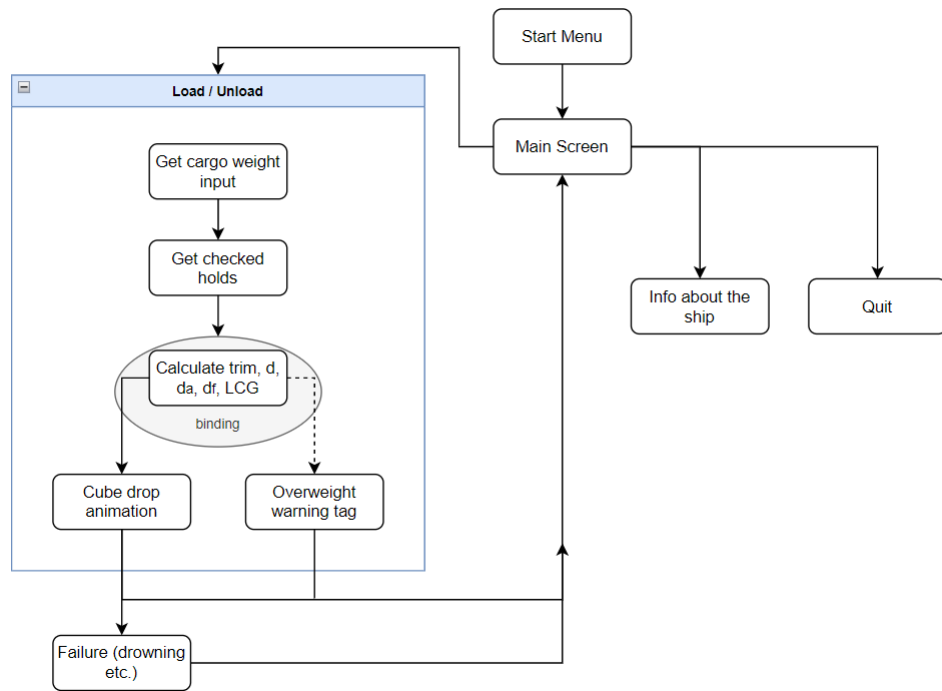


Рисунок 3.7 Flow diagram

Отже, підсумовуючи зазначене вище, розробка додатку з вивчення та унаочнення поняття остійності судна потребує описання математичної моделі, усі аспекти імплементації якої охарактеризовано у параграфі.

## ВИСНОВКИ

1. Проведений аналіз стану діджиталізації в Україні та світі засвідчив необхідність розробки програмного забезпечення для підвищення якості підготовки фахівців різних галузей, зокрема з використанням продуктів 3D моделювання. В результаті проведеного дослідження встановлено, що вже існуючі додатки, які використовуються у навчальному процесі не охоплюють усі галузі, зокрема відсутні навчальні 3D додатки для підготовки фахівців морської справи, що стало підґрунтям для створення нового рішення для задоволення потреб користувачів.

2. За результатами проведеного порівняльного аналізу тривимірних редакторів, їх функцій й критеріїв доцільності їх застосування програмного забезпечення, що може бути використано для 3D моделювання, виділено оптимальний з них - Autodesk 3ds Max. При підготовці до проектування було досліджено наукові публікації, що дало змогу сформулювати дефініції «полігональна сітка/меш, полігон, топологія». На основі публікацій сформовано правила коректної топології при створенні 3D моделей та описано стилі моделювання за критерієм кількості полігонів.

3. Стисло охарактеризовано техніки моделювання box modeling, застосованих інструментів та модифікаторів тривимірного редактора. Описано хід роботи під час створення моделі судна, а саме такі етапи – корпус, надбудови, трюми, крани та огороження. На основі дослідження наукових джерел уточнено визначення UV-розгортки, її типів – UV атлас й тайлінг – та обґрунтовано доцільність їх застосування.

4. Аналіз міжнародних наукових публікацій та досліджень дозволив порівняти ігрові рушії, зокрема обсяг їх можливостей, та виділити оптимальний з них - Unreal Engine 4. При розробці проекту використовувалася система контролю версій git з публічними



репозиторіями на сервісах GitHub, що дозволяє слідувати сучасним методам розробки програмного забезпечення. Розглянуто особливості створення води в Unreal Engine, а саме Water System – охарактеризовано складові системи води, параметрами, що впливають на реалістичність, та компонент плавучості тіл Buoyancy. Приділено увагу унікальній серед ігрових рушіїв системі програмування The Blueprint Visual Scripting System. Досліджено її переваги та основні складові вузли.

5. На основі поняття «остійність судна» та формул, що складають математичну модель процесів, було розроблено та впроваджено навчальний додаток для вивчення динамічної остійності судна SUNRAY за допомогою рушія Unreal Engine 4.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Digital Economy and Society Index (DESI) 2020 Thematic chapters [Електронний ресурс]. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/desi>.
2. История кибератак: хроника событий [Електронний ресурс]. – 2013. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.nato.int/docu/review/2013/Cyber/timeline/RU/index.htm>. 21
3. Про схвалення Концепції розвитку цифрової економіки та суспільства України на 2018-2020 роки та затвердження плану заходів щодо її реалізації [Електронний ресурс] // Київ. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/67-2018-%D1%80#Text>. 20
4. Питання Єдиного державного веб-порталу електронних послуг та Єдиного державного порталу адміністративних послуг [Електронний ресурс] // Київ. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1137-2019-%D0%BF#Text>. 19
5. Про затвердження загальних вимог до програмних продуктів, які закуповуються та створюються на замовлення державних органів: Постанова Кабінету Міністрів [Електронний ресурс] // Київ. – 2009. – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/869-2009-%D0%BF#Text>. 14
6. Руслан Стефанчук: Верховна Рада України підтримує створення цифрової держави, у центрі якої є людина [Електронний ресурс] // Київ. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.rada.gov.ua/print/198395.html>. 16
7. ПОСТУП КОМАНДИ МОН НА ЗМІЦНЕННЯ СИСТЕМИ ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ: ДІДЖИТАЛІЗАЦІЯ ТА ОНЛАЙН-ПОСЛУГИ [Електронний ресурс] // Київ. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://mon.gov.ua/ua/news/postup-komandi-mon-na-zmicnennya-sistemi-osviti-i-nauki-ukrayini-didzhitalizaciya-ta-onlajn-poslugi>. 17

8. TECH ECOSYSTEM GUIDE TO UKRAINE [Електронний ресурс] // Western NIS Enterprise Fund. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: [https://data.unit.city/tech-guide/Tech\\_Ecosystem\\_Guide\\_To\\_Ukraine\\_En-1.1.pdf](https://data.unit.city/tech-guide/Tech_Ecosystem_Guide_To_Ukraine_En-1.1.pdf). 18

9. Мошковська С. П. РОЗРОБКА 3D МОДЕЛІ СУДНА SUNRAY ЗАСОБАМИ 3DS MAX / Мошковська С. П. – Херсон, 2021. – 33 с.

10. Онищенко С. В. Особливості використання технологій 3d-друку у освітньому процесі [Електронний ресурс] / С. В. Онищенко – Режим доступу до ресурсу: [http://www.rusnauka.com/18\\_NPN\\_2016/Pedagogica/4\\_213578.doc.html](http://www.rusnauka.com/18_NPN_2016/Pedagogica/4_213578.doc.html). 23

11. Кириченко О. Критерії формування готовності до професійної діяльності інженерів на основі 3d-моделювання / О. Кириченко. // Освітологічний дискурс. – 2017. – №3-4. – С. 296–308. 27

12. Гриц М. А. ВОЗМОЖНОСТИ 3D-ТЕХНОЛОГИЙ В ОБРАЗОВАНИИ [Електронний ресурс] / М. А. Гриц, А. В. Дегтярева, Д. А. Чеботарева. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnosti-3d-tehnologiy-v-obrazovanii/viewer>. 33

13. Федосова І. В. 3D-МОДЕЛЮВАННЯ В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ [Електронний ресурс] / І. В. Федосова, В. В. Веремій // міжнародна конференція «УНІВЕРСИТЕТСЬКА НАУКА – 2021». – 2021. – Режим доступу до ресурсу: [http://eir.pstu.edu/bitstream/handle/123456789/31429/%D0%A3%D0%BD.%20%D0%BD%D0%B0%D1%83%D0%BA%202021%20%D1%82.2\\_p252-254.pdf?sequence=1](http://eir.pstu.edu/bitstream/handle/123456789/31429/%D0%A3%D0%BD.%20%D0%BD%D0%B0%D1%83%D0%BA%202021%20%D1%82.2_p252-254.pdf?sequence=1). 32

14. Офіційний сайт Autodesk 3ds Max [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.autodesk.com/products/3ds-max/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>. 2

15. Офіційний сайт Autodesk Maya [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:

[https://www.autodesk.com/products/maya/overview?term=1-](https://www.autodesk.com/products/maya/overview?term=1-YEAR&tab=subscription)

[YEAR&tab=subscription](https://www.autodesk.com/products/maya/overview?term=1-YEAR&tab=subscription). 3

16. Офіційний сайт Blender [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.blender.org/download/>. 4

17. Офіційний сайт ZBrush [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://store.pixologic.com/zbrushcore-2021/>. 5

18. Bay R. Digital Sculpture Techniques [Електронний ресурс] / R. Bay, M. Greg. – 1998. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.theminters.com/misc/articles/derived-surfaces/index.htm>. 7

19. Unity documentation [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://docs.unity3d.com/Manual/OptimizingGraphicsPerformance.html>. 6

20. SUNRAY [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.marinetraffic.com/ru/photos/of/ships/shipid:410397/ships>. 9

21. Шоломіцький І. В. Дипломний проект на здобуття ступеня бакалавра "Засоби для моделювання 3D-об'єктів" / Іван Вячеславович Шоломіцький. – Київ, 2021. – 95 с. 29

22. Understanding UVs - Love Them or Hate Them, They're Essential to Know [Електронний ресурс]. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.pluralsight.com/blog/film-games/understanding-uvs-love-them-or-hate-them-theyre-essential-to-know>. 11

23. Introduction to UV mapping [Електронний ресурс]. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: <https://knowledge.autodesk.com/support/maya/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2015/ENU/Maya/files/UV-mapping-overview-Introduction-to-UV-mapping-htm.html>. 10

24. Dota 2 Workshop- Item UV Mapping [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://help.steampowered.com/en/faqs/view/33BE-0778-61E9-6270>. 12

25. Fonseca C. A. Bachelor's thesis. 3D Modeling Pipeline for Games. Work Methods for Low Poly Models with Hand Painted Textures / Catarina Ana Fonseca., 2018. – 49 с. – (Tampere University of Applied Sciences). 28
26. Salminen J. Bachelor's thesis. CONSTRUCTING A 3D MOTORCYCLE MODEL FOR GAME DEVELOPMENT USAGE IN UNREAL ENGINE 4 / Juuso Salminen. – Turku: TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES, 2017. – 35 с. 30
27. Andrade A. Game engines: a survey [Электронный ресурс] / A. Andrade // EAI Endorsed Transactions on Serious Games. – 2015. – Режим доступа до ресурсу: <https://pdfs.semanticscholar.org/b656/0c35ce1f0484cc2fc75cada34b580953c9ff.pdf>. 35
28. Christopoulou E. Overview and Comparative Analysis of Game Engines for Desktop and Mobile Devices [Электронный ресурс] / E. Christopoulou, S. Xinogalos // International Journal of Serious Games. – 2017. – Режим доступа до ресурсу: <http://dx.doi.org/10.17083/ijsg.v4i4.194>. 34

# ДОДАТКИ

## Додаток А

### КОДЕКС АКАДЕМІЧНОЇ ДОБРОЧЕСНОСТІ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ ХЕРСОНЬСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Я, Мошковська Софія Павлівна, учасник(ця) освітнього процесу Херсонського державного університету, **УСВІДОМЛЮЮ**, що академічна доброчесність – це фундаментальна етична цінність усієї академічної спільноти світу.

**ЗАЯВЛЯЮ**, що у своїй освітній і науковій діяльності **ЗОБОВ'ЯЗУЮСЯ**:

– дотримуватися:

- вимог законодавства України та внутрішніх нормативних документів університету, зокрема Статуту Університету;
- принципів та правил академічної доброчесності;
- нульової толерантності до академічного плагіату;
- моральних норм та правил етичної поведінки;
- толерантного ставлення до інших;
- дотримуватися високого рівня культури спілкування;

– надавати згоду на:

- безпосередню перевірку курсових, кваліфікаційних робіт тощо на ознаки наявності академічного плагіату за допомогою спеціалізованих програмних продуктів;
- оброблення, збереження й розміщення кваліфікаційних робіт у відкритому доступі в інституційному репозитарії;
- використання робіт для перевірки на ознаки наявності академічного плагіату в інших роботах виключно з метою виявлення можливих ознак академічного плагіату;

– самостійно виконувати навчальні завдання, завдання поточного й підсумкового контролю результатів навчання;

– надавати достовірну інформацію щодо результатів власної навчальної (наукової, творчої) діяльності, використаних методик досліджень та джерел інформації;

– не використовувати результати досліджень інших авторів без використання покликань на їхню роботу;

– своєю діяльністю сприяти збереженню та примноженню традицій університету, формуванню його позитивного іміджу;

– не чинити правопорушень і не сприяти їхньому скоєнню іншими особами;

– підтримувати атмосферу довіри, взаємної відповідальності та співпраці в освітньому середовищі;

– поважати честь, гідність та особисту недоторканність особи, незважаючи на її стать, вік, матеріальний стан, соціальне становище, расову належність, релігійні й політичні переконання;

– не дискримінувати людей на підставі академічного статусу, а також за національною, расовою, статевою чи іншою належністю;

– відповідально ставитися до своїх обов'язків, вчасно та сумлінно виконувати необхідні навчальні та науково-дослідницькі завдання;

– запобігати виникненню у своїй діяльності конфлікту інтересів, зокрема не використовувати службових і родинних зв'язків з метою отримання нечесної переваги в навчальній, науковій і трудовій діяльності;

– не брати участі в будь-якій діяльності, пов'язаній із обманом, нечесністю, списуванням, фабрикацією;

– не підроблювати документи;

– не поширювати неправдиву та компрометуючу інформацію про інших здобувачів вищої освіти, викладачів і співробітників;

– не отримувати і не пропонувати винагород за несправедливе отримання будь-яких переваг або здійснення впливу на зміну отриманої академічної оцінки;

– не залякувати й не проявляти агресії та насильства проти інших, сексуальні домагання;

– не завдавати шкоди матеріальним цінностям, матеріально-технічній базі університету та особистій власності інших студентів та/або працівників;

– не використовувати без дозволу ректорату (деканату) символіки університету в заходах, не пов'язаних з діяльністю університету;

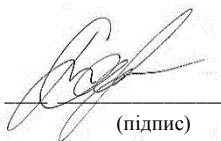
– не здійснювати і не заохочувати будь-яких спроб, спрямованих на те, щоб за допомогою нечесних і негідних методів досягати власних корисних цілей;

– не завдавати загрози власному здоров'ю або безпеці іншим студентам та/або працівникам.

**УСВІДОМЛЮЮ**, що відповідно до чинного законодавства у разі недотримання Кодексу академічної доброчесності буду нести академічну та/або інші види відповідальності й до мене можуть бути застосовані заходи дисциплінарного характеру за порушення принципів академічної доброчесності.

12.11.2021

(дата)

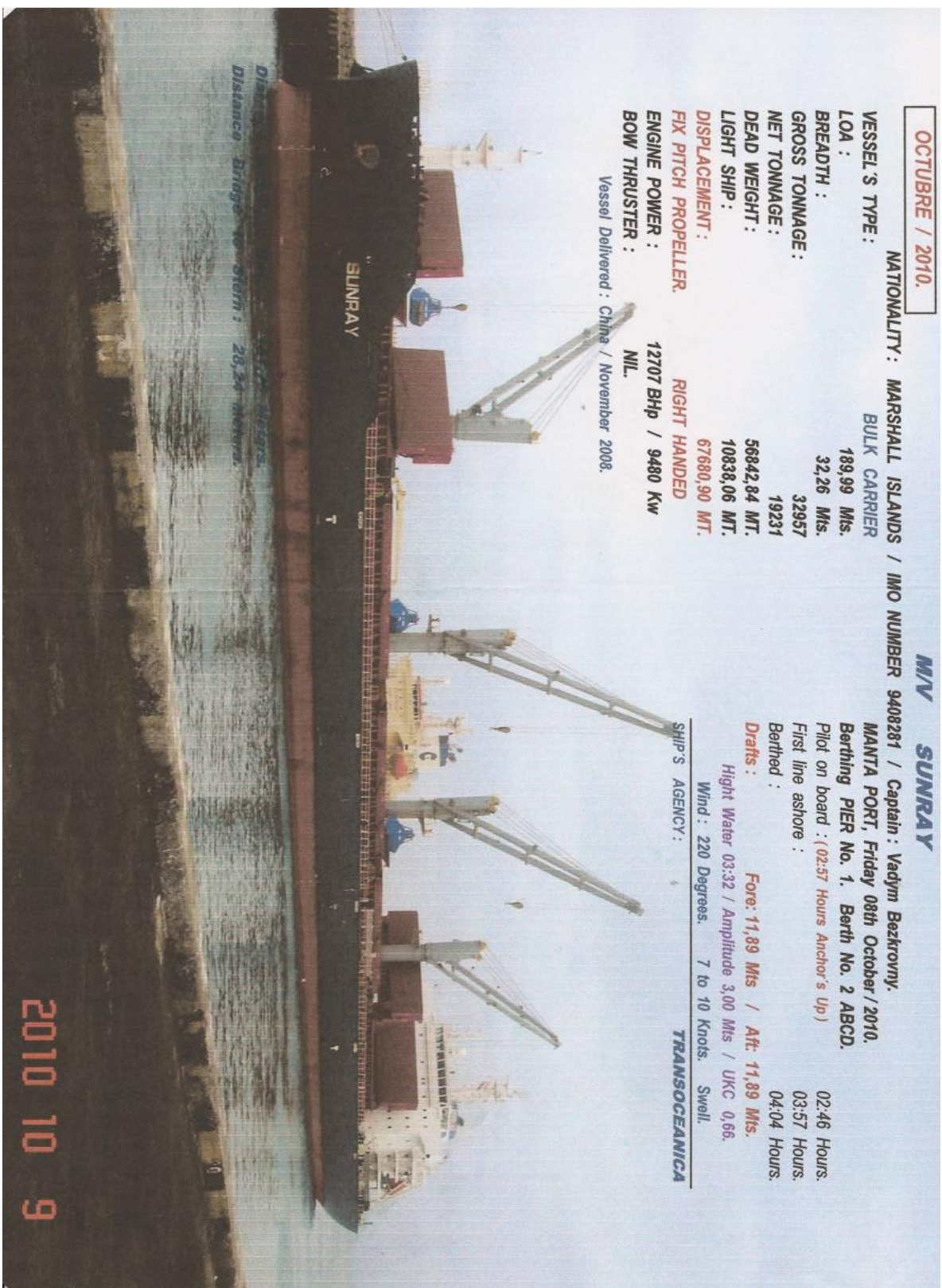


(підпис)

Мошковська С. П.

(ім'я, прізвище)

Додаток Б  
Vessel Manual



**OCTUBRE / 2010.**

**M/V SUNRAY**

**NATIONALITY:** MARSHALL ISLANDS / **IMO NUMBER:** 9408281 / **Captain:** Vadym Bezkovaly.  
**VESEL'S TYPE:** BULK CARRIER  
**LOA:** 189,99 Mts.  
**BREADTH:** 32,26 Mts.  
**GROSS TONNAGE:** 32957  
**NET TONNAGE:** 19231  
**DEAD WEIGHT:** 56842,84 MT.  
**LIGHT SHIP:** 10838,06 MT.  
**DISPLACEMENT:** 67680,90 MT.  
**FIX PTCH PROPELLER, RIGHT HANDED**  
**ENGINE POWER:** 12707 BHP / 9480 Kw  
**BOW THRUSTER:** NIL.  
**Vessel Delivered:** China / November 2008.

**SHIP'S AGENCY:** TRANSOCEANICA

**BERTHING:** MANTA PORT, Friday 08th October / 2010.  
**Berthing PIER No. 1, Berth No. 2 ABCD.**  
**Pilot on board:** (02:57 Hours Anchor's Up)  
**First line ashore:**  
**Berthed:**  
**Drafts:** Fore: 11,89 Mts / Aft: 11,89 Mts.  
**Height Water:** 03:32 / Amplitude 3,00 Mts / UKC 0,66.  
**Wind:** 220 Degrees. 7 to 10 Knots. Swell.

**02:46 Hours.**  
**03:57 Hours.**  
**04:04 Hours.**

**Distance Bridge to stern:** 28,24 Mts.

**2010 10 9**

# Додаток В

## General Arrangement Plan

### 1.3 General Arrangement Plan

SMART  
SUBWAY

FINAL LOADING MANUAL  
TYPICAL LOADING

SC4439 (HT) CI-050-0225  
Page 7

