

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

кафедра автоматизації технологічних процесів і виробництв
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістра

(назва освітнього ступеня)

на тему: «Розробка та дослідження системи віртуального забезпечення
безпеки працівників виробництва на базі засобів віртуальної реальності та
штучного інтелекту»

Виконав(ла): студент(ка) VI курсу, групи КАМ-61
спеціальності 151 «Автоматизація
та комп'ютерно-інтегровані технології»
(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Захем Ж.Ж.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Савків В.Б.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Козбур В.Р.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Савків В.Б.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Курко А.М.

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2021

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)
Кафедра автоматизації технологічних процесів і виробництв
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри АВ
Савків В.Б.
(підпис) (прізвище та ініціали)
« ___ » _____ 2021р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
(шифр і назва спеціальності)

студенту Захем Жозеф Жорж
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Розробка та дослідження системи віртуального забезпечення безпеки працівників виробництва на базі засобів віртуальної реальності та штучного інтелекту.

Керівник проекту (роботи) доц. Савків Володимир Богданович
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом по університету від «01» жовтня 2021 року №4/7-822

2. Термін подання студентом проекту (роботи) 23.12.2021р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) ГОСТ 34.003-90 міждержавний стандарт «Інформаційна технологія». Комплекс стандартів на автоматизовані системи «Автоматизовані системи Терміни та визначення».

Information technology. Set standards for automated systems. Automated systems. Terms&definitions Harry Construction System™ базова документація системи віртуального забезпечення працівників виробництва на базі засобів віртуальної реальності та штучного інтелекту

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

1. Аналітична частина

2. Науково-дослідна частина

3. Технологічна частина

4. Конструкторська частина

5. Спеціальна частина

7. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

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

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Спеціальна частина</i>	<i>доц. Медвідь В.Р.</i>		
<i>Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	<i>доц. Тотосько О.В.</i>		
	<i>ст.викл. Клепчик В.М.</i>		

7. Дата видачі завдання «4» жовтня 2021р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	<i>Аналіз постановки завдання і огляд обладнання, існуючих методів, параметрів</i>	<i>10.10.2021</i>	
2.	<i>Розробка структури пристрою і алгоритму роботи</i>	<i>17.10.2021</i>	
3.	<i>Розробка електричних схем, часових діаграм</i>	<i>24.10.2021</i>	
4.	<i>Розрахунок елементів схеми, розробка конструктиву</i>	<i>31.10.2021</i>	
5.	<i>Розробка і відлагодження ПЗ</i>	<i>07.11.2021</i>	
6.	<i>Науково-дослідна частина</i>	<i>21.11.2021</i>	
7.	<i>Спеціальна частина</i>	<i>28.11.2021</i>	
8.	<i>Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	<i>10.12.2021</i>	
9.	<i>Оформлення графічної частини</i>	<i>18.12.2021</i>	
10.	<i>Захист дипломної роботи</i>	<i>23.12.2021</i>	

Студент _____
(підпис)

Захем Ж.Ж. _____
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____
(підпис)

Медвідь В.Р. _____
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

У даній кваліфікаційній роботі запропоновано імерсивну (віртуальну) AR в рамках системи навчання персоналу правилам безпеки з використанням візуального та тактильного моделювання.

Контент запропонованої технології включає візуальну, рендерингову, тактильну AR, на основі кластерного розширеного динамічного алгоритму на основі позицій фізичного моделювання виробничих процесів.

Крім того, ми запропоновано систему тактильного рендерингу AR, архітектура моделі якої складається з точок взаємодії, включаючи кінестетичні точки та точки чутливі до тиску. Нарешті, на основі вищезгаданого теоретичного дослідження запропоновано інтерактивну платформу для технологічного навчання.

Система AR віртуального навчання демонструє, що симулятор корисний для покращення навичок новачків, які зберігаються тривалий період часу. Система віртуального навчання з допоміжною відеосистемою на основі AR, запропонована в даній роботі, є ефективною і може використовуватися як навчальний пристрій, щоб допомогти у розвитку технологічних навичок для новачків.

З системою Hargy впроваджується система безпеки AR зі штучним інтелектом. Система попереджає користувача про потенційні небезпеки та нещасних випадків, тим самим запобігаючи нещасним випадкам та покращуючи безпеку на робочому місці. Записи з камер, встановлених на окулярах AR і камер відеоспостереження на заводі, надсилаються в центральну систему, яка порівнює поточну заводську ситуацію з 3D-моделями заводу і за допомогою штучного інтелекту виявляє небезпечні ситуації. Потім система передає цю інформацію на скло AR Оператора і попереджає його про потенційну загрозу його безпеці. На додаток до функцій безпеки, система також може бути використана для підвищення ефективності та навчання працівників.

SUMMARY

This qualification work proposes immersive (virtual) AR within the system of personnel training in safety rules using visual and tactile modeling.

The content of the proposed technology includes visual, rendering, tactile AR, based on a clustered advanced dynamic algorithm based on the positions of physical modeling of production processes.

In addition, we have proposed the AR tactile rendering system, whose model architecture consists of points of interaction, including kinesthetic points and pressure-sensitive points. Finally, based on the above-mentioned theoretical study, an interactive platform for technological learning is proposed.

The AR virtual learning system demonstrates that the simulator is useful for improving the skills of beginners who persist for a long period of time. The AR-based virtual learning auxiliary video learning system proposed in this paper is effective and can be used as a learning device to help develop technological skills for beginners.

The Harpy system implements an AR security system with artificial intelligence. The system warns the user of potential dangers and accidents, thus preventing accidents and improving safety in the workplace. Recordings from cameras mounted on AR glasses and CCTV cameras at the factory are sent to a central system that compares the current factory situation with 3D models of the factory and uses artificial intelligence to detect dangerous situations. The system then transmits this information to the Operator's AR glass and warns him of a potential security threat. In addition to safety features, the system can also be used to increase efficiency and train employees.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	4
SUMMARY	5
ЗМІСТ	6
ВСТУП	9
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	11
1.1 Історія розвитку промислових революцій.....	12
1.2 Аналіз основних тенденцій, що характеризують індустрію 5.0.....	15
1.3 Прогнозовані результати індустрії 5.0.....	19
2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА.....	23
Візуально-тактильне моделювання на основі доповненої реальності для систем навчання	23
2.1 Імерсивні навчальні систем для доповненої реальності (AR).....	24
2.2 Методи моделювання доповненої реальності (AR).....	25
2.3 Теоретична модель виведення XRBD на основі кластерів	26
3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	41
Застосування VR/AR-технологій в машинобудуванні.....	41
3.1 Використання технологій VR/AR.....	41
3.2 Порівняння VR та AR технологій.....	41
3.3 Застосування VR/AR-технологій.....	44
3.4 Застосування VR/AR-технологій у машинобудуванні.....	45
4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	46
4.1 Опис продукту, послуг (специфікація)	46
4.2 AR-Glasses.....	46
4.3 Обладнання для моніторингу.....	47

4.3 Віртуальна 3D модель робочої зони.....	49
4.4 Апаратна платформа AI-програмного забезпечення.....	51
4.5 Використане програмне забезпечення AI.....	52
4.6 Графічний інтерфейс навчання для виявлення об'єктів Tensorflow	53
4.7 Опис технології віртуального навчання HARPУ.....	62
5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	65
5.1 Аналіз потенційних фінансових вкладень прибуток.....	65
5.2 Конкурентні пропозиції.....	67
5.3 SWOT-аналіз.....	67
5.4 План розвитку продукту та послуг.....	68
5.4.1 Опис відповідно до обраної методики.....	68
5.4.2 Короткий опис	69
5.4.3 Діаграма Ганта.....	71
5.5 Право інтелектуальної власності.....	72
5.6 Управління ризиками Harpu.....	73
5.7 Фінансовий аналіз	74
5.7.1 Аналіз прибутків і збитків.....	74
5.7.2 Аналіз чутливості.....	76
5.7.3 Загальні витрати	77
5.7.4 Прогноз продажів.....	77
5.7.5 Інтерпретація	78
5.8 Фінансові цілі	79
5.8.1 Збільшення початкового капіталу	79
5.8.2. Забезпечення плавного грошового потоку.....	79
5.8.3 Збільшення продажів	80

5.9 Операційні та стратегічні цілі.....	80
5.9.1. Розробити доказ концепції.....	80
5.9.2 Розширення на нові сектори.....	81
5.9.3 Розширення в ЄС та за його межами.....	81
5.10 Висновок аналізу фінансових цілей проекту.....	82
6 БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ, ОХОРОНА ПРАЦІ.....	84
6.1 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	84
6.1.1 Загальні положення по охороні праці.....	85
6.1.2 Вимоги безпеки перед початком робіт.....	86
6.1.3 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях.....	89
6.2 БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	91
6.2.1 Залежність розмірів осередків ураження від маси продуктів вибуху, (СДОР), їхнього тиску, метеоумов, і місцевості.....	91
6.2.2 Оцінка хімічної обстановки.....	93
ВИСНОВОК.....	97
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	100

ВСТУП

Нині дедалі більшого значення надається поняттю «Віртуальна реальність» («Virtual Reality»). Цей термін притаманний для всіх галузей, зокрема стосується різних галузей машинобудування.

Як правило, під поняттям VR мають на увазі всю різноманітність технологій, пов'язаних з представленням віртуальної дійсності. Маючи на увазі VR-технології, використовують додатково термін «Доповнена реальність» («Augmented Reality»). Насамперед необхідно дати визначення кожному з цих термінів.

VR-технології – це середовище, призначене для зміни реальних сцен, де користувачам транслюють штучні образи, звуки занурюючи всередину віртуальної реальності [1]. AR-технології – це проектування віртуальних проєкцій, цифрових об'єктів у реальні сцени.

Можна зробити такий висновок. VR занурює користувача в цифрове середовище, блокує реальні сцени і, а AR додає елементи цифрових сцен у реальний світ.

Віртуальні системи моделювання в промисловості є важливими і широко використовуються в Європі та Америці. Доповнена реальність (AR) в системах моделювання навчання в промисловості значно покращує тренувальний ефект віртуального навчання, хоча технологія AR все ще знаходиться на початковій стадії. Змішана реальність привернула все більшу увагу в сучасній промисловості, яка використовує подібні технології, але вона ще не використовується в повсякденній практиці. В даній кваліфікаційній роботі та дослідженні було запропоновано використання AR технологій в рамках системи навчання для забезпечення безпеки персоналу при роботі з основним та допоміжним технологічним обладнанням, промисловим устаткуванням з використанням візуального та тактильного моделювання для вивчення потенційних переваг цієї важливої технології.

Контент включає візуальну рендерингову технологію AR, на основі

кластерного розширеного алгоритму динаміки на основі позицій фізичного моделювання технологічного обладнання. Крім того, ми розробили системи тактильного рендерингу AR, архітектуру моделі котра складається з точок взаємодії multi-touch, включаючи кінестетичні точки та точки, чутливі до тиску. Нарешті, на основі вищезгаданого теоретичного дослідження розроблена інтерактивна платформа для навчання персоналу.

Система віртуального навчання з відеодопоміжною системою на основі AR, є ефективною та може використовуватися як навчальний пристрій, щоб допомогти у розвитку навичок для нового персоналу.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

У даний час світова економіка знаходиться на порозі нової промислової революції, що призводить до серйозних змін у господарських відносинах. Це відбувається за рахунок розвитку біотехнологій та нейромереж, які трансформують довкілля функціонування галузей та суспільства в цілому.

Сьогодні більшість світу залежить від суспільства, орієнтованого на інформацію. Проте створення знань, як і раніше, контролюється людьми, з'являється можливість експериментувати із спільними підходами до транскордонних технологій, які ведуть до більш стійкого, безпечного та інклюзивного глобального майбутнього, тобто п'ятої промислової революції

Промислова революція (від англ. industrial revolution) була предметом дослідження багатьох зарубіжних та вітчизняних учених, філософів, соціологів, проте в економічній теорії не склалося єдиного трактування поняття «промислова революція».

У своїх роботах британський історик та громадський діяч А. Тойнбі визначав промислову революцію як процес заміни середньовічної системи регламентації, якому було підпорядковано виробництво та розподіл, конкуренцією [5].

Інший відомий соціальний реформатор А. Сен-Сімон вважав, що промислова революція – це перехід від феодальної та теологічної системи до системи промислової та наукової [7].

П. Манту дійшов висновку, що «промислова революція є розширення латентних сил, їх раптове розпускання і пишне зростання зародків, що залишалися до тих пір у прихованому чи дрімаючому стані» [6]. На думку П. Манту, необхідно розглядати промислову революцію з трьох точок зору: технічної, економічної та соціальної.

Можна виділити кілька напрямків визначення терміна «промислова революція»: еволюційний, циклічний та системний. Послідовники еволюційних теорій (наприклад, Ф. Енгельс, А. Тойнбі, І. Кулішер, У. Росту, У.

А. Меддісон) припускали, що промислова революція є одним з етапів поступового розвитку людського суспільства, пройшовши через який, воно повністю трансформується, змінюючи соціально-економічний уклад. Циклічні теорії визначають промислову революцію як один із циклів підйому світової економіки (Й. Шумпетер, С. Коваль, Р. Камерон). Системні виходять з того, що промислова революція є найважливішим етапом розвитку глобальної світової системи (А.Г. Франк, А.В. Коротаєв, Л.Є. Грінін) [9].

На сьогоднішній день сутність промислової революції можна визначити таким чином: якісні зміни, що відбуваються в суспільстві під впливом революції в техніці, технології, способу поєднання людини із засобами праці.

1.1 Історія розвитку промислових революцій

Різні технологічні досягнення сприяють значному збільшенню обсягу промислового виробництва, що, своєю чергою, викликає ланцюгову реакцію у галузях і підприємствах. У результаті на ринку з'являються нові продукти чи послуги, змінюється співвідношення попиту та пропозиції, створюються нові підприємства, а існуючі виробництва або адаптуються до змін, або ліквідовуються. Так само спостерігаються зміни у міжгалузевих та внутрішньогалузевих відносинах.

У результаті вищевказані перетворення впливають різні соціально-економічні аспекти життя суспільства.

Перш ніж перейти до виявлення особливостей п'ятої промислової революції, необхідно дати короткий опис чотирьом попереднім.

1. Перша промислова революція (Індустрія 1.0).

Перша промислова революція розпочалася у Великій Британії в середині XVIII ст. і була викликана важливими технічними винаходами та інноваціями, пов'язаними з використанням енергії пари, а також механізацією текстильної промисловості. Завдяки впровадженню нового промислового

обладнання та розвитку енергетичних технологій значно збільшилася продуктивність праці, а люди та товари отримали можливість пересуватися на великі відстані за меншу кількість годин [10]. Отже, основними характеристиками Індустрії 1.0 стали стрімке зростання продуктивних сил на базі великої машинної індустрії, а також затвердження капіталізму як панівної світової системи господарства та прискорення урбанізації.

2. Друга промислова революція (Індустрія 2.0).

Друга промислова революція почалася в 1870 р. і безпосередньо пов'язана із застосуванням принципів поділу праці та розвитком масового виробництва. Її початком і водночас ключовою подією можна вважати запровадження Г. Фордом конвеєра, завдяки якому вдалося не лише створити масовий ринок, а й зробити доступним автомобіль. Крім того, на початок ХІХ ст. електрика стала основним джерелом енергії. Її було набагато простіше використовувати, ніж воду чи пару, що дозволяло підприємствам зосередити енергопостачання на конкретних машинах і згодом оснастити їх власними джерелами живлення, що зробило обладнання транспортабельнішим. У цей період також спостерігався розвиток багатьох управлінських програм, які дали змогу підвищити ефективність виробничих потужностей.

3. Третя промислова революція (Індустрія 3.0).

Третя промислова революція розпочалася у 1969 р. з появою перших програмованих логічних контролерів та розвитком інформаційних технологій, у тому числі й різних ІТ-систем. Вони дозволили розпочати процес автоматизації та роботизації виробництва, тим самим повністю замінюючи людську працю машинною або як мінімум полегшуючи завдання робітників під час виконання складних завдань. Технологія обробки інформації еволюціонувала від універсальної електронно-обчислювальної машини до об'єднаних мереж персональних комп'ютерів, пошукових систем

та електронної торгівлі. Зв'язок перестав залежати від стаціонарних телефонів та перейшов до використання мобільних телефонів. Також варто зазначити, що Індустрія 3.0 сприяла бурхливому економічному зростанню усієї світової економіки,

4. Четверта промислова революція (Індустрія 4.0).

Ціль Індустрії 4.0 не відрізняється від попередніх промислових революцій. В основному, це досягнення масового виробництва за допомогою нових технологій. Очевидно, що у цьому сенсі технологія є драйвером для промислової революції.

Сьогодні визначення характеристик четвертої промислової революції є предметом дискусії для вчених усього світу. Вона несе у собі як сприятливі, і несприятливі наслідки. З одного боку, вона пов'язана з більш глибоким застосуванням інформаційних та комунікаційних технологій у промисловості. Виробничі системи, в яких вже використовуються комп'ютерні технології, розширюються за рахунок підключення до мережі та оснащуються цифровим двійником через Інтернет. Об'єднання всіх систем у мережу призводить до створення кіберфізичних виробничих систем. Це також веде до переходу від централізованого виробництва до децентралізованого; з'являються розумні фабрики, де виробничі системи, компоненти та окремі особи взаємодіють через мережу, а виробництво майже незалежно.

Четверта промислова революція пов'язана з найбільш трендовими технологіями останніх десятиліть:

- Інтернет речей;
- Хмарні обчислення;
- Технології роботи з великими даними;
- Робототехніка;
- штучний інтелект.

Перераховані вище технології зазвичай приймаються як основні

технології, що підтримують Індустрію 4.0, але існують і інші технології, наприклад, 3D-друк.

З іншого боку, четверта промислова революція викликає ризик появи негативних соціальних наслідків, наприклад зростання безробіття серед фахівців із середнім рівнем компетенцій. Крім того, витрати на впровадження згаданих технологій, таких як інтернет речей, робототехніка та великі дані, надто високі та недоступні для багатьох підприємств малого та середнього бізнесу, у результаті вони перебувають у не вигідному становищі порівняно з великими корпораціями.

5. П'ята промислова революція (Індустрія 5.0).

У той час як попередня революція підкреслює перетворення виробничих підприємств на інтелектуальні об'єкти з підтримкою інтернету речей, які використовують когнітивні обчислення та з'єднуються через хмарні сервери, п'ята промислова революція буде зосереджена на возз'єднанні людини та машини та відкритті нових способів сумісності для збільшення ресурсів та підвищення ефективності виробництва.

Виходячи з наведеного опису кожної промислової революції, можна зробити висновок, що Індустрія 5.0 є зовсім іншим напрямком розвитку виробництва та суспільства.

1.2 Аналіз основних тенденцій, що характеризують індустрію 5.0

Незважаючи на те, що Індустрія 5.0 є відносно новою концепцією, існують деякі ранні академічні роботи, що описують основні особливості цього процесу. Аналіз літератури, що стосується п'ятої промислової революції, показує, що серед учених не існує єдиної думки щодо того, що вона принесе і як у деталях змінить бізнес та суспільство.

Можна виділити кілька бачень п'ятої промислової революції.

1. Індустрія 5.0 буде співпрацею між людьми та інтелектуальними системами, такими як роботи. При цьому йдеться про роботів, які

допомагають людям працювати краще та швидше, використовуючи передові технології: інтернет речей, великі дані та технології віртуальної реальності. Люди та системи діятимуть як партнери, а не як конкуренти. На цьому етапі розвитку промисловості машини візьмуть на себе всі монотонні, повторювані завдання, у той час як люди нести будуть відповідальність за творчу сторону, тим самим підвищуючи контроль за системами та рівнем якості виробництва у всіх напрямках.

Згідно з Е. Остергаардом (E. Østergaard), «п'ята промислова революція – це повернення людського дотику до заводських цехів»¹. При цьому вчені зазначають, що наступну промислову революцію очолить не Європа, а Північна Америка.

Отже, Індустрія 5.0 націлена на об'єднання вказаних когнітивних обчислювальних здібностей з людським розумом та винахідливістю у спільних процесах. Однак четверта і п'ята промислові революції, такі близькі одна до одної, насправді можуть розглядатися як одна. Тобто Індустрія 4.0 може включати як підключення, так і взаємодію людини і машини, так як одним зі стовпів Індустрії 4.0 є робототехніка і штучний інтелект. Природним продовженням робототехніки та штучного інтелекту буде співпраця людини та машини.

2. Індустрія 5.0 буде ґрунтуватися на біоекономіці.

Грамотне використання біологічних ресурсів у промислових цілях допоможе досягти балансу між екологією, промисловістю та економікою. Відповідно до Європейської комісії, біоекономіка – це «виробництво відновлюваних біологічних ресурсів та перетворення цих ресурсів та потоків відходів у продукти з доданою вартістю, такі як продукти харчування, корми, продукти на біологічній основі та біоенергії»².

Біоекономіка матиме вирішальне значення для створення сталої економіки та може призвести до фундаментальних змін у галузях. Федеральний уряд Німеччини вже приділив увагу цьому напрямку і прийняв

«Національну стратегію досліджень у галузі біоекономіки на період до 2030 року».

У програмі досліджень особлива увага приділяється п'яти сферам діяльності:

- Забезпечення глобального харчування;
- Забезпечення сталого сільськогосподарського виробництва;
- виробництву здорових та безпечних продуктів харчування;
- Використання відновлюваних ресурсів для промисловості;
- Розробка енергоносіїв на основі біомаси.

Таким чином, біоекономіка може бути основою або принаймні частиною наступної промислової революції.

3. Сутність Індустрії 5.0 полягатиме в ефективному використанні робочої сили машин та людей у синергії з навколишнім середовищем.

Дане бачення фокусується на запобіганні відходам та поверненні людини у виробничий процес. Масштаб економічних, соціальних та екологічних проблем, з якими стикається людство останнім часом, робить все більш необхідним звернення до поняття «економіка замкнутого циклу», яке передбачає перехід від лінійних систем до циклічних шляхів сприяння економії ресурсів та підвищення продуктивності ресурсів на всіх етапах виробництва, розподілу та споживання. Концепція циклічної економіки заснована на Декларації Ріо-де-Жанейро з навколишнього середовища та розвитку, прийнятої в 1992 р. і містить принципи сталого розвитку

4. В рамках цього підходу існує методологія принципів R, які постійно трансформуються та розширюються.

Індустрія 5.0 буде заснована на шести принципах (6R)5:

- Усвідомлення (англ. recognize). Підприємства повинні визнати можливості, що надаються ним циклом;
- Реконструкція (англ. reconsider). Компаніям необхідно оцінити та

переглянути свої бізнес та виробничі процеси. Важливим кроком є перебудова даних процесів для реалізації переваг промислового циклу;

- Реалізація (англ. realize). Після визнання можливостей та перегляду бізнес-процесів підприємствам необхідно реалізувати поліпшення бізнес-процесів або впровадити якісно нові інновації;

- Скорочення (англ. Reduce). Сутью методології є скорочення використання ресурсів для досягнення ефективних результатів;

- Повторне використання (англ. reuse). У центрі методології знаходиться повторне використання матеріалів, які вважаються придатними для використання до покращення процесу;

- Переробка (англ. recycle). Максимально можлива переробка є одним з основних очікуваних результатів зусиль із промислового циклування. Звичайно, ідеалом є нульова кількість відходів.

Подана методологія 6R фактично визначає модель покращення бізнесу. Залежно від конкретного випадку, це може розглядатися як поліпшення бізнес-процесу або інновація бізнес-процесу.

При промисловому циклуванні виділяють чотири види відходів:

- **Фізичні** - фактичні фізичні відходи, що утворюються під час та після виробництва;
- **Соціальні** - невикористаний потенціал робочої сили;
- **Міські** – забруднені поля, порожні простори, недоступність або слабкий розвиток інфраструктури;
- **Технологічні** – надвиробництво, затоварення, недостатня завантаженість транспортних засобів.

Не можна не помітити, що при багатоаспектності бачень п'ятої промислової революції, що здається, розглянуті теорії не виключають один одного. Бачення, представлене Майклом Рада, об'єднує концепцію співпраці людини та інтелектуальних систем з опорою на біоекономіку.

1.3 Прогнозовані результати індустрії 5.0

Як було зазначено, п'ята промислова революція значно змінить світ. Розглянемо, які саме можливості та загрози вона здатна принести промисловим працівникам та галузям, а також який вплив вона вплине на екологію та суспільство.

Однією з найважливіших парадигм, що характеризують Індустрію 5.0, є зміщення акценту з технологічного прогресу на підхід, повністю орієнтований на людину. Це означає, що промисловість має враховувати соціальні обмеження, що, у свою чергу, має низку наслідків, що стосуються безпечного та сприятливого робочого середовища, поваги до прав людини та вимог до кваліфікації працівників. Оскільки люди є основними користувачами розумних пристроїв та послуг, покращення умов проживання та підвищення якості життя – дві основні цілі розумних міст [12].

В Індустрії 5.0 працівника слід розглядати не як «витрати», а як «інвестиційну» позицію для компанії, що дозволяє розвиватися і компанії, і працівнику. Тобто роботодавець буде зацікавлений в інвестуванні у навички, можливості та добробут своїх співробітників для досягнення своїх цілей. Такий підхід дуже відрізняється від простого балансування витрат на працівників з фінансовими доходами: людський капітал стане більш цінним.

Важливою характеристикою Індустрії 5.0 є те, що технології створюються для людей, а не навпаки – працівник не повинен постійно адаптуватися до технології, що постійно розвивається, він отримує більше прав і можливостей, а робоче середовище стає більш інклюзивним. Для досягнення цієї мети працівники повинні бути тісно залучені до розробки та впровадження нових промислових технологій, включаючи робототехніку та штучний інтелект [13].

В опублікованому у рамках програми з Міжнародної охорони праці «За безпечну працю» у 2003 р. звіті показано, що всі нещасні випадки на виробництві є наслідком усунутих причин, і відбуваються вони на робочому місці. Це підтверджується тенденцією неухильного скорочення кількості

подібних нещасних випадків у промислово розвинених країнах.

Роботи могли б виконувати ряд повторюваних і простіших завдань, при цьому потенціал робототехнічних технологій далеко не вичерпаний, особливо при використанні штучного інтелекту.

Проте безпека та благополуччя працівників – це не лише забезпечення та підтримка їхнього фізичного здоров'я на робочому місці. Психічне здоров'я, емоційний стан, цінності та переваги працівників також повинні бути взяті до уваги під час проектування цифрових робочих місць.

Ще одним важливим аспектом п'ятої промислової революції є цифрові навички та навички, пов'язані з творчим, підприємницьким, гнучким та відкритим мисленням.

Хоча дослідження та інновації є ключовими способами підвищення продуктивності та конкурентоспроможності, галузі та компанії також можуть отримати вигоду з імпорту та впровадження інновацій, вироблених в інших країнах. Поширення технологій залежить насамперед від потенціалу поглинання, який може бути створений за рахунок внутрішніх інвестицій у навички та людський капітал. Отже, компанії могли б і повинні відігравати більш важливу роль у навчанні та підготовці робочої сили, оскільки вони мають досвід, знання і безпосередньо пов'язані з технологіями.

П'ята промислова революція принесе низку різноманітних переваг і для галузі: від кращого залучення та утримання талантів до підвищення загальної стійкості. У довгостроковій перспективі загальна вигода для промисловості полягає у підвищенні конкурентоспроможності завдяки успішній адаптації до змінного світу та нових ринків. Однак у короткостроковій перспективі необхідні інвестиції можуть зазнати галузі ризику тимчасової втрати конкурентоспроможності порівняно з тими, хто ще не інвестує в Індустрію 5.0. Вкрай важливо ретельно планувати та координувати інвестиції, щоб знизити цей ризик⁷.

1.4 Мета та шляхи її досягнення в Індустрії 5.0

Все більш складним завданням для компаній стає залучення та утримання кваліфікованої робочої сили. Заповнення посад, що потребують цифрових та/або міждисциплінарних навичок, здається особливо складним. При цьому є переконливі докази того, що переваги, орієнтації та мотивації сучасних працівників суттєво відрізняються від попереднього покоління. Молоді люди частіше керуються соціальними цінностями, ніж стабільними посадами чи вищими зарплатами. Тому, щоб залишатися конкурентоспроможними на ринку найму, компанії мають бути соціально відповідальними.

Водночас слід наголосити, що концепція Індустрії 5.0 сприяє підвищенню економічних показників галузей при одночасному задоволенні потреб та інтересів працівників, а також забезпеченні екологічної стійкості та економії ресурсів. Ефективність використання ресурсів полягає в тому, щоб виробляти «краще з меншими витратами», оптимізувати взаємозв'язок між випуском продукції та введенням ресурсів. Більше того, галузь майбутнього повинна бути готова швидко адаптуватися до умов ключових виробничо-збутових ланцюжків, що змінюються.

На основі аналізу наукової літератури можна припустити, що п'ята промислова революція визначатиметься новою та розширеною цілеспрямованістю, що виходить за рамки виробництва товарів та послуг для отримання прибутку. Ця ширша мета складається з трьох основних елементів: орієнтованість на людину, стабільність та стійкість.

Замість брати нові технології за відправну точку та досліджувати їх потенціал для підвищення ефективності, підхід, орієнтований на людину, повинен ставити основні людські потреби та інтереси до центру виробничого процесу. Замість того, щоб запитувати, що суспільство може зробити з новими технологіями, люди повинні запитувати, що технології можуть зробити для них.

Стабільність означає скорочення споживання енергії та викидів парникових газів з метою зниження рівня виснаження та деградації природних ресурсів, забезпечення потреби нинішніх поколінь, не наражаючи на небезпеку потреби майбутніх поколінь. Такі технології, як штучний інтелект та адитивне виробництво, можуть відіграти велику роль у цьому процесі за рахунок оптимізації ресурсоефективності та мінімізації відходів.

Під стійкістю розуміється необхідність підвищення ступеня стійкості промислового виробництва, щоб воно могло забезпечувати та підтримувати критично важливу інфраструктуру під час кризи.

Геополітичні зрушення та природні кризи, такі як пандемія COVID-19, наголосили на крихкості нинішнього підходу до глобалізованого виробництва. Його слід збалансувати за рахунок розвитку стійких стратегічних ланцюжків створення вартості, виробничих потужностей, що адаптуються, і гнучких бізнес-процесів, особливо в тих випадках, коли ланцюжки створення вартості служать основним людським потребам, таким як охорона здоров'я або безпека. Постпандемійна трансформація означає прийняття невизначеності та готовність до часто некерованих різноманітних альтернатив, які дозволяють економічним, соціальним та політичним системам трансформуватися у бік більш справедливих та стійких шляхів розвитку [14].

2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

Візуально-тактильне моделювання на основі доповненої реальності для систем навчання

Віртуальні системи моделювання в промисловості та виробничих системах є важливими і широко використовуються в Європі та Америці. Доповнена реальність (AR) в системах моделювання навчання у виробничих системах значно покращує тренувальний ефект віртуального навчання, хоча технологія AR все ще знаходиться на початковій стадії.

Змішана реальність привертає все більшу увагу в сучасній промисловості, яка використовує сучасні технології, але вона ще не використовується в повсякденній практиці.

У цьому дослідженні було запропоновано імерсивну (віртуальну) AR в рамках системи навчання з використанням візуального та тактильного моделювання для вивчення потенційних переваг цієї важливої технології.

Контент запропонованої технології включає занурюючи, візуальну, рендерингову AR, на основі кластерного розширеного динамічного алгоритму на основі позицій фізичного моделювання виробничих процесів.

Крім того, ми запропоновано системи тактильного рендерингу AR, архітектура моделі яких складалася з точок взаємодії мультитач, включаючи кінестетичні точки та точки, чутливі до тиску. Нарешті, на основі вищезгаданого теоретичного дослідження запропоновано інтерактивну платформу для технологічного навчання.

Система AR віртуального навчання демонструє, що симулятор корисний для покращення навичок новачків, які зберігаються тривалий період часу. Система віртуального навчання з допоміжною відеосистемою на основі AR, запропонована в цьому дослідженні, є ефективною і може використовуватися як навчальний пристрій, щоб допомогти у розвитку технологічних навичок для новачків.

2.1 Імерсивні навчальні систем для доповненої реальності (AR)

Будучи новим напрямом досліджень, технології імерсивних навчальних систем для доповненої реальності (AR) є взаємодослідницькою сферою, яка об'єднує оптичну інженерію, комп'ютерні технології, біомеханіку та багато інших дисциплін [8,9].

Як істотний результат поєднання технології AR та технологічних досліджень, система навчання, орієнтована на AR, також є сферою активного розвитку в сучасних галузях промисловості.

Порівняно з технологічними навчальними системами віртуальної реальності (VR), технологічні навчальні системи AR мають більш реалістичне середовище навчання, візуально-тактильний досвід ближчий до інженерного людського фактора та більш природне сприйняття інтерактивного занурення. Це особливо важливо для персоналу, який використовує середовище віртуального моделювання, для покращення своїх реальних технологічних навичок.

При розробці цих технологій ключовим є визначення занурення, тобто питань як досягти занурювального ефекту візуалізації, яка точно моделює технологічні процеси і операції на технологічному обладнанні на основі даних зображень, як забезпечити віртуальне тренування природним і реалістичним сприйняттям зворотного зв'язку при тактильній взаємодії технологічних операцій. У цій роботі в центрі дослідження є система навчання роботи на технологічному обладнанні, орієнтована на доповнену реальність, зокрема на візуальне та тактильне моделювання виконання технологічних операцій.

Ми пропонуємо модель засновану на алгоритмі динаміки положення з розширеним кластерним обмеженням, і тактильну модель зворотного зв'язку з як кінестетичними, так і тисковими мультитактильними точками взаємодії, і застосовуємо її до інтерактивної платформи технологічного навчання.

2.2 Методи моделювання доповненої реальності (AR)

Дизайн візуального тактильного моделювання на основі AR включає три схемні конвеєри, як показано на рис 2.1. Перший – це конвеєр візуалізації, який включає побудову фізичної моделі технологічного обладнання. Відтворення AR (синій процес) відображається на геометричну модель.

Другим шляхом у проєкті є операція виконання технологічних переходів. Під час його роботи сконструйована тактильна модель мультитач з кінестетичним відчуттям і відчуттям тиску (зелений процес).

Нарешті, третій конвеєр – це структура інтерактивного навчального середовища AR, включаючи відображення середовища панорамної технології та інтеграцію її в систему навчання (червоний процес). Детальна схема алгоритму зображено на рисунку 2.1.

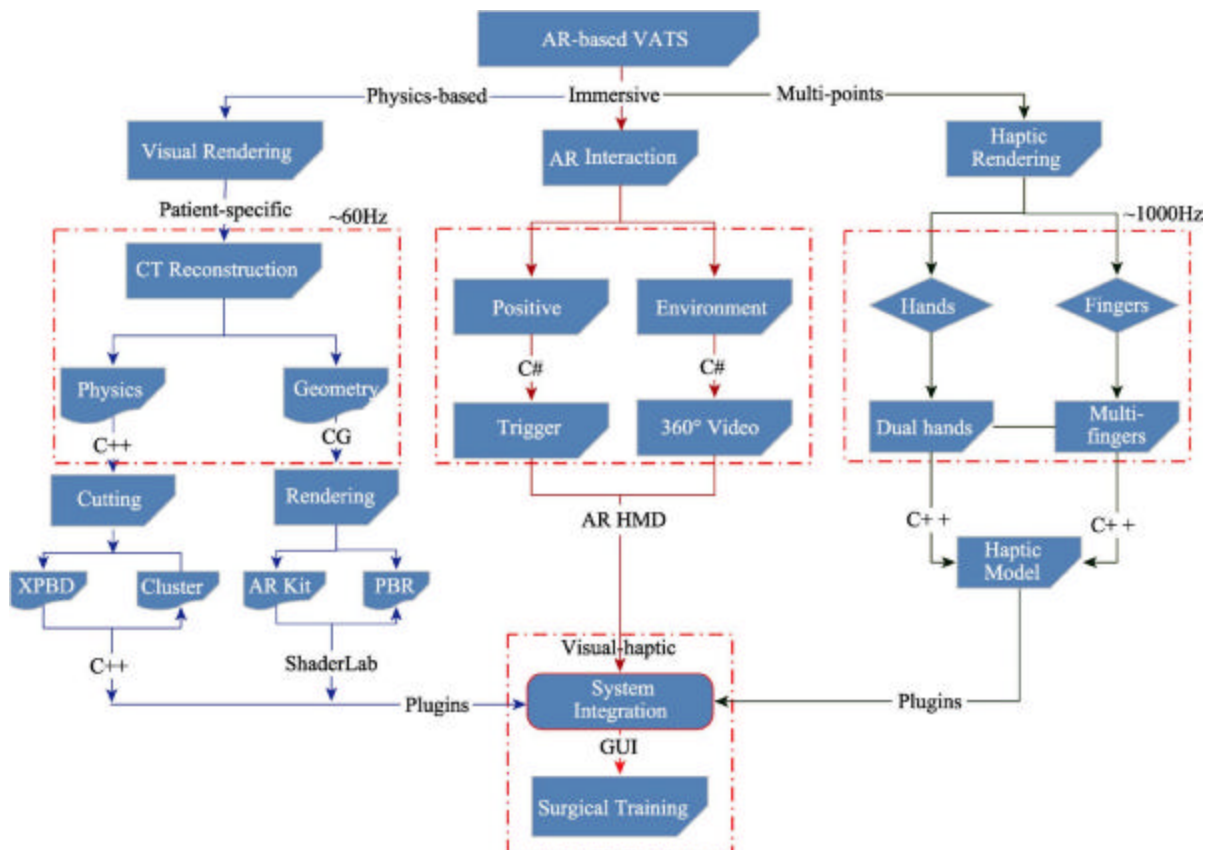


Рисунок 2.1 Потік алгоритму навчальної платформи на основі доповненої реальності.

2.3 Теоретична модель виведення XPBD на основі кластерів

Фізична модель фізичних маніпуляцій на основі алгоритму розширеної динаміки на основі кластерів (XPBD) є критичною для цього дослідження. Вона визначає візуальний ефект деформації об'єктів в рамках навчального процесу. Це один із основних компонентів навчальних систем AR. Поєднуючи переваги моделювання фізичних маніпуляцій на основі AR сітки та моделювання на основі XPBD складає суть алгоритму та полягає в наступному. Завдяки побудові нових обмежень на основі кластерів, в концепцію алгоритму динаміки вводиться розрахунок Лагранжа на основі позицій (PBD), таким чином вирішуючи проблему складності обчислень який притаманний традиційному алгоритму PBD, продуктивність якого залежить від кількості ітерацій і кроків часу.

Зокрема, в процесі фізичних маніпуляцій реконструкція глобальної матриці після зміни топологічної структури вимагає величезних обчислень в алгоритмі PBD.

PBD можна розглядати як неявний алгоритм інтеграції з використанням методу Стомера-Верле. За допомогою різних проєкцій обмежень кожна функція обмеження із зваженим за якістю оновленням реалізується за допомогою локальної лінеаризації. Основним кроком розв'язків обмежень PBD є обчислення приросту позиції кожного обмеження[12]:

$$\Delta x = k_j s_j M^{-1} \nabla C_j(x_i) \quad (2.1)$$

де i - індекс ітерації, j - індекс обмеження, $k \in [0,1]$ – жорсткість обмеження, коефіцієнт перетворення s отримується методом Ньютона першого порядку функції обмеження:

$$s_j = \frac{-C_j(x_i)}{\nabla C_j M^{-1} \nabla C_j^T} \quad (2.2)$$

Розширений PBD починається з рівняння руху Ньютона і на нього впливає сила енергетичного потенціалу $U(x)$:

$$M\ddot{x} = -\nabla U^T(x) \quad (2.3)$$

де, $x = [x_1, x_2, \dots, x_n]$ і T це стан системи. Ми виконуємо неявну часову дискретизацію горизонтального положення рівняння руху, де верхній індекс n представляє індекс кроку за часом:

$$M \left(\frac{x^{n+1} - 2x^n + x^{n-1}}{\Delta t^2} \right) = -\nabla U^T(x^{n+1}) \quad (2.4)$$

Відповідно до функції обмеження $[C_1(x), C_2(x), \dots, C_m(x)]$, T може бути виражено як:

$$U(x) = \frac{1}{2} C(x)^T \alpha^{-1} C(x) \quad (2.5)$$

Розкладаємо силу на напрямну та скалярну компоненти відповідно до введених множників Лагранжа:

$$\lambda_{elastic} = -\tilde{\alpha}^{-1} C(x) \quad (2.6)$$

тут, $\lambda_{elastic} = [\lambda_1, \lambda_{12}, \dots, \lambda_n]$ вектор еластичності, який є вектором множника обмежень за часом, які накладаються на покрокові обчислення.

Ми складаємо крок в матриці гнучкості і визначаємо $\tilde{\alpha} = \alpha / (\Delta t^2)$, та замінюємо λ у виразі для отримання нового дискретного рівняння обмеження руху:

$$M(x^{n+1} - \tilde{x}) - \nabla C(x^{n+1})^T \lambda^{n+1} = 0 \quad (2.7)$$

$$C(x^{n+1}) + \tilde{\alpha} \lambda^{n+1} = 0 \quad (2.8)$$

де $\tilde{x} = 2x^n - x^{n-1} = x^n + \Delta t v^n$, що є прогнозованим положенням або інерційним положенням.

Для вирішення цієї нелінійної системи розроблена ітерація з фіксованою точкою на основі методу Ньютона. Ми пропустили верхній індекс кроку часу $(n+1)$, щоб підкреслити, що кожна ітерація представлена індексом $(i+1)$. Крім того, ми допускаємо геометричну жорсткість і обмеження Гессе і вводим локальну помилку $O(\Delta t^2)$.

Це наближення змінить швидкість збіжності, але не змінить глобальну

помилку і не змінить метод розв'язування ітерацій з фіксованою точкою. На основі цих наближень наша оновлена лінійна підзадача має вигляд:

$$\begin{bmatrix} M & -\nabla C^T(x_i) \\ \nabla C(x_i) & \tilde{\alpha} \end{bmatrix} = -\begin{bmatrix} 0 \\ h(x_i, \lambda_i) \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

Одночасно ми розглядали доповнення Шура, щоб отримати наступну спрощену систему в термінах невідомого $\Delta\lambda$:

$$\left[\nabla C(x_i) M^{-1} \nabla C(x_i)^T + \tilde{\alpha} \right] \Delta\lambda = -C(x_i) - \tilde{\alpha} \lambda_i \quad (2.10)$$

Нарешті, шляхом обчислення, оновлення розташування можна отримати безпосередньо:

$$\Delta x = M^{-1} \nabla C(x_i)^T \Delta\lambda \quad (2.11)$$

З точки зору чисельного методу Гаусса-Зейделя він поєднується з алгоритмом PBD. Беремо рівняння обмеження з індексом j , щоб ми могли безпосередньо обчислити зміни множників Лагранжа:

$$\Delta\lambda_j = \frac{-C_j(x_i) - \tilde{\alpha}_j \lambda_j}{\nabla C_j M^{-1} \nabla C_j^T + \tilde{\alpha}_j} \quad (2.12)$$

Це рівняння є ядром нашого кластерного алгоритму XPBD. Під час вирішення обмежень ми спочатку обчислюємо $\Delta\lambda_j$ одного регулювання, а потім оновлюємо положення системи та множник, щоб отримати модель деформації програмного забезпечення після виконання фізичної маніпуляції.

2.4 Реалізація алгоритму

Реалізований алгоритм досягає частини плану дослідження. Під час процесу моделювання фізичного маніпулювання об'єктами (на основі сітки), виявлення зіткнення країв трикутника між краями тіла та поверхнею моделі об'єкта, генерується серія пересічних вершин сітки, котра разом із краєм тіла складає точку тактильного контакту. Для уточнення положення ми проіндексуємо одиницю сітки трикутника, що перетинається, та суміжні з ним вершини. Розбита межа сітки проектується на площину на певній

відстані від січної площини. Геометрія та топологічна інформаційна модель сітки оновлюються одночасно, щоб створити підрозділи сітки та згенерувати нову трикутну сітку з уточненими межами. Нарешті, топологічна структура вихідної сітки розкладається та змінюється на останньому етапі процесу віртуального тактильної взаємодії Рис 2.2.

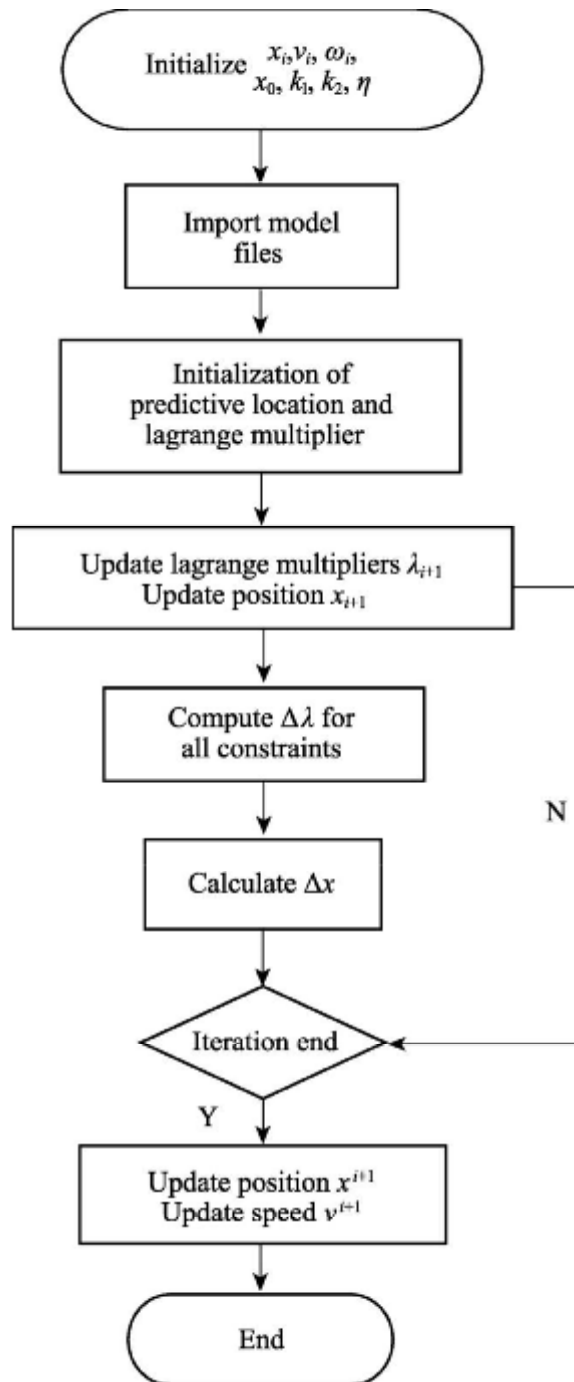


Рисунок 2.2 – Вирізання XPBD на основі кластерів

У процесі моделювання тактильних відчуттів до об'ємних об'єктів, оскільки об'ємна сітка складається з тетраедричних елементів, як модель тіла

впливу вибирається пряма лінія. Об'єм сканування стає поверхнею сканування. Алгоритм розсічення об'ємної сітки є подібний до поверхневого тактильного впливу тим, що він знаходить точку перетину і розділяє вихідний примітив. Існує два типи ліній перетину між тетраедричною сіткою та сканованою поверхнею: лінії перетину краю та лінії перетину поверхні. Нарешті, тетраедр ділиться на невеликі одиниці відповідно до стану його перетину. Після обробки кінцевої віртуальної моделі країв були додані частинки та кластери для реалізації деформації та фізичної стимуляції після тактильного впливу, детальна внутрішня структура та реалізація об'ємної моделі продемонстровано на рис. 2.3

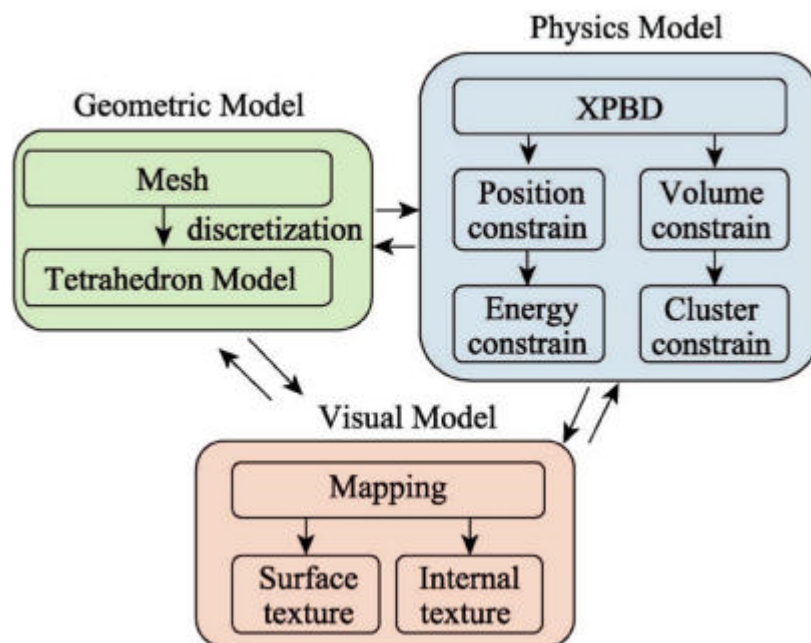


Рисунок 2.3 – Внутрішня структура та реалізація об'ємної моделі.

2.5 Інтерактивна навчальна платформа

Рис 2.4 показує розроблений симулятор AR. Інструменти та пристрої зворотного зв'язку підключені через 3D-друкований компонувальник. Оператор тримає інструмент, щоб дозволити трьом осям пристрою зворотного зв'язку по потужності виконувати відповідні операції перетворення. Коли затискач віртуального інструменту взаємодіє з віртуальним об'єктом, комп'ютер викликає пристрій зворотного зв'язку по

силі через плагін OpenHaptic (Geomagic, США), щоб забезпечити відповідну рушійну силу [13], забезпечуючи оператору реальне тактильне відчуття. Для забезпечення методів відображення AR були використані камери HTC_VIVE та Logitech [14,15]. 3D-модель роз'єму показана на рис. 2.4. Коли оператор закриває інструмент, наприклад, коли захоплює віртуальний об'єкт, спрацьовує зелена кнопка, і віртуальний затискач закривається. Коли оператор відкриває інструмент, наприклад, коли відпускає віртуальний об'єкт, активується червона кнопка і відкривається віртуальний затискач.

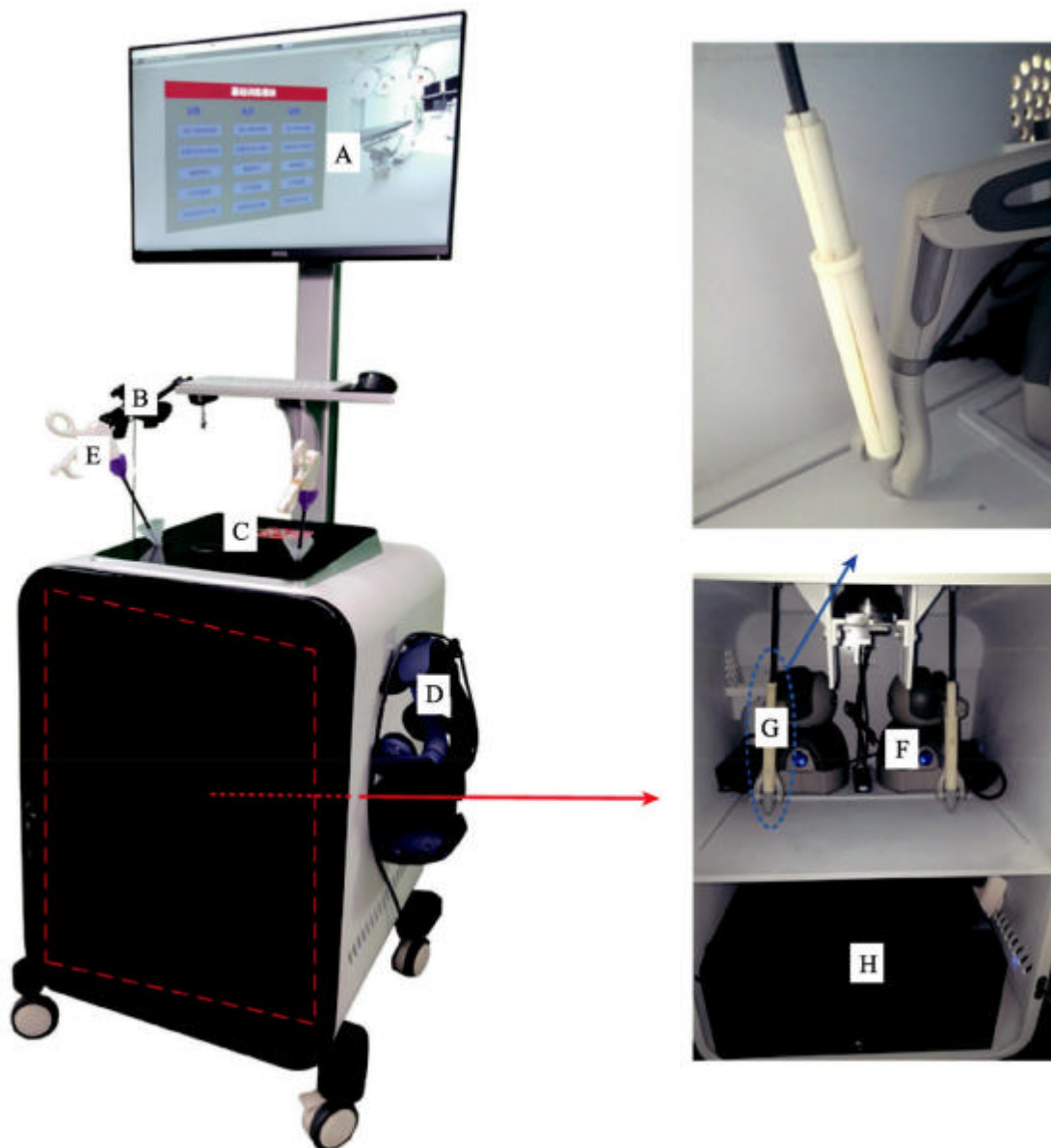


Рисунок 2.4 – Апаратне забезпечення системи.

Включає:

A) Сенсорний екран з роздільною здатністю 8k.

- В) Камера Logitech (Logitech, Швейцарія), що використовується для ідентифікації маркерів для розробки AR.
- В) Маркер.
- Д) Гарнітура віртуальної реальності HTC VIVE (HTC Corporation, Тайвань, Китай).
- Е) Інструменти.
- Ф) Пристрої примусового зворотного зв'язку Geomagic Touch (Geomagic, США) із шістьма ступенями свободи (6-DoF).
- Г) Зв'язувач між силовим зворотним зв'язком та інструментом.
- Н) Настільний комп'ютер із графічним процесором NVIDIA GTX 2060, процесором Intel i7 та 16G. ОЗП.

2.6 Навчальні модулі платформи.

Запропоновано панорамну програму віртуального навчального середовища із зануренням у AR. Записуючи важливу операцію та її реальне робоче середовище під час фактичної операції, а також за допомогою дисплеїв біля очей AR, можна надати персоналу мультисенсорне середовище для навчання. Як фон для операцій використовується панорамне відео технологічних операцій.

Розроблено каркас технологічної операції розділений на кілька сцен. Кожна сцена містила різні елементи відповідно до визначення сцени, а типи компонентів розрізняли ознаки, релевантні для цієї сцени.

Візуально-тактильна взаємодія у фоновому режимі була пов'язана з асинхронним відтворенням візуального потоку та тактильного потоку за допомогою попередньо встановленого виявлення зіткнень. Компоненти ініціювали попередні налаштування в сцені операцій, щоб взаємодіяти з середовищем AR і відображати попередньо встановлені етапи технологічної операції в режимі реального часу на різних етапах рис. 2.5

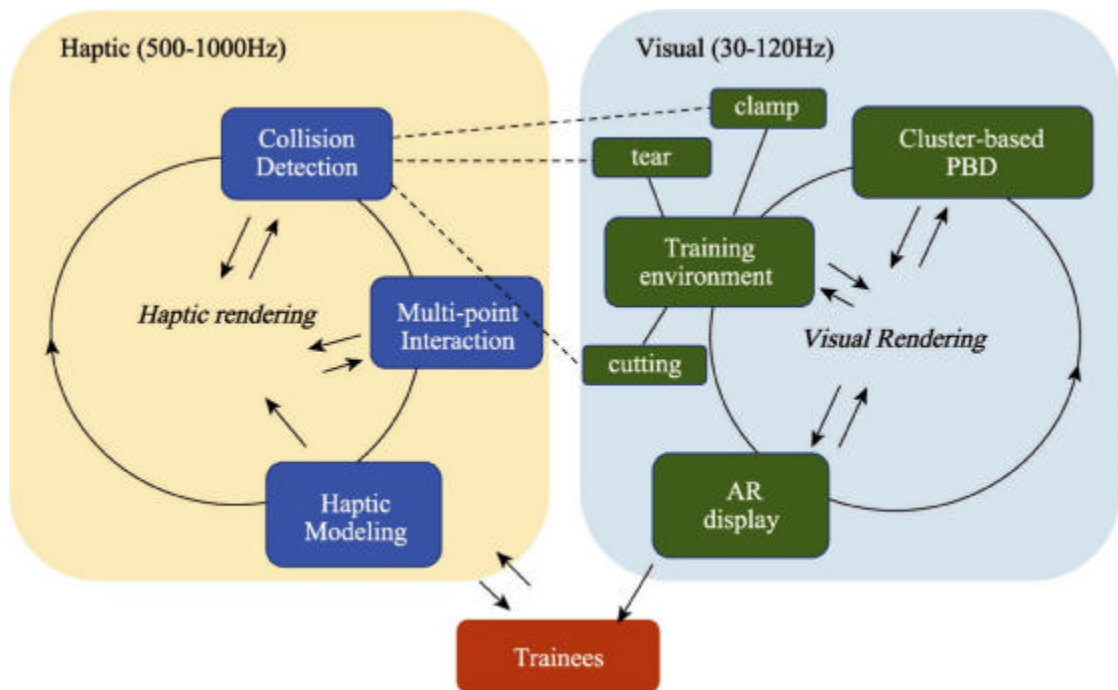


Рисунок 2.5 – Інтерактивна навчальна платформа з візуальним дотиком.

Завершено побудову легкої бібліотеки класів C++ "ARTK", заснованої на алгоритмі реконструкції поверхні куба і включили зображення технологічних операцій PET-CT за допомогою викликів бібліотечних функцій VTK, ITK і AR_ToolKit AR_3D-візуалізації, проведено аналіз і реконструкцію.

2.7 Аналіз результатів моделювання у системі

Щоб провести об'єктивну оцінку, після 2-тижневого відпочинку для групи новачків, бали з тесту (середній бал двох випробувань) порівнювали з базовим балом (середній бал першого та другого випробувань) та балами після проведення віртуального навчання тест (середній бал 29-го та 30-го випробувань) відповідно, згідно методики Вілкоксона.

Для порівняння відмінностей всередині груп використовувався метод тестування зі знаком [19]. Оцінки новачків і експертів на початковому етапі або після тесту порівнювали між групами за допомогою U-тесту Манна-Уїтні [20].

Використовували $p < 0,05$, щоб вказати, чи були статистично значущі відмінності між двома групами даних, і не виявили такої різниці.

Експериментальні дані аналізували за допомогою програмного забезпечення SPSS 20.0 (IBM Corp., Armonk, Нью-Йорк, США) [21], Таблиця 2.1.

Таблиця 2.1 – Дані віртуальної підготовки персоналу

	Група А (початківці)	Група В (експерти)
Кількість	24	6
Вік/ роки	27,6 (25-31)	47,8 (44-55)
Стаж навчання	5 (3-8)	14 (12-30)
Чоловіки, %	79.2	83
Правою рукою, %	95.8	100
Досвід	<7	>25
Досвід гри VR	8/24	1/6
HMD досвід	6/24	1/6

У цьому дослідженні був використаний алгоритм моделювання деформації PBD на основі кластерів для моделювання процесу м'якої деформації тканин. Координати центру ваги були використані для створення зв'язку між геометричною моделлю та деформованим об'єктом. Поверхнева сітка містила 14128 трикутників і 7469 вершин, тоді як об'ємна сітка містила 3833 тетраедри і 1164 вершини.

Як показано на рис 2.6 перший рядок показує деформацію на основі сітки. Встановлено модуль пружності та коефіцієнт Пуассона, щоб імітувати деформацію моделі шляхом застосування натягу та тиску на інструменти. Результати моделювання другого та третього рядків демонструють об'ємну деформацію, рис. 2.6.

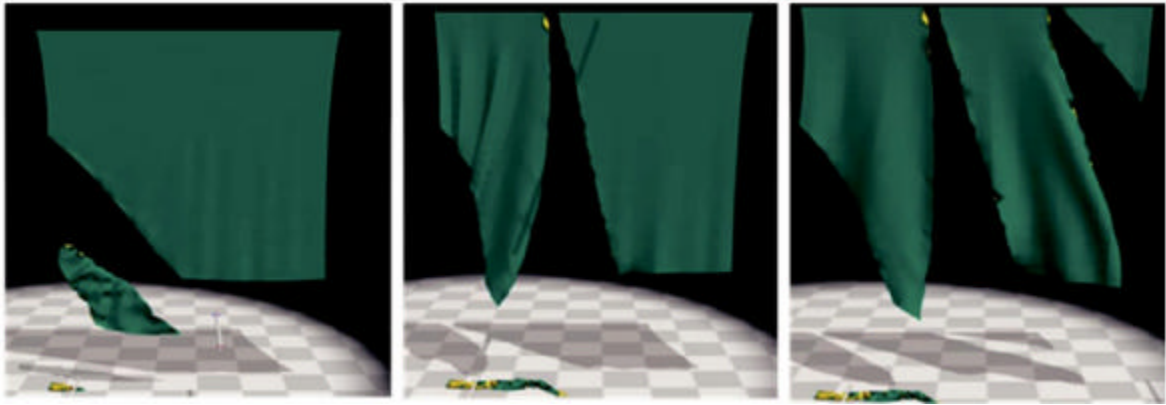


Рисунок 2.6 – PBD на основі кластерів на вирізання обмежень класу тетраедричних кластерів.

Таблиця 2.2 показує перевірку результатів використання чотирьох симуляторів щодо зору, дотику та автентичності сцени шістьма експертами після експерименту. Для оцінки ефективності тренажера використовувалася п'ятибальна шкала Лайкерта, при цьому «1» означає «дуже добре», а «5» означає «дуже погано»[22]. Показана діаграма, що відповідає суб'єктивній оцінці тренажера, рис. 2.7. Що стосується зору, то оцінка симулятора AR ($3,56 \pm 0,98$) була вищою, ніж у симулятора Vox ($2,39 \pm 1,04$) і симулятора MR ($2,78 \pm 1,00$) ($p = 0,021$). Що стосується тактильного сприйняття, оцінка симулятора VOX ($4,11 \pm 0,90$) була значно кращою, ніж у інших трьох симуляторів ($p = 0,032$), але не було статистично значущих відмінностей між VR, AR та MR ($p = 0,023$). Що стосується автентичності сцени, оцінка симулятора MR ($3,28 \pm 1,18$) була кращою, ніж у інших трьох симуляторів ($p = 0,03$), але не було статистично значущої відмінності між VOX, VR та AR ($p = 0,04$).

Таблиця 2.2 Перевірка оцінок та вмісту симулятора на основі AR

Анкети	BOX	VR	AR	MR
	Середнє \pm SD	Середнє \pm SD	Середнє \pm SD	Середнє \pm SD
Візуальне сприйняття	2,39 \pm 1,04	3,17 \pm 1,25	3,56 \pm 0,98	2,78 \pm 1,00
Тактильне сприйняття	4,11 \pm 0,90	2,61 \pm 0,98	2,67 \pm 0,97	2,44 \pm 0,86
Справжність сцени	3,28 \pm 1,18	2,78 \pm 1,06	3,44 \pm 0,78	4,28 \pm 0,89

Примітки: суб'єктивні оцінки 1 = категорично не згоден, 5 = повністю згоден, що вище, тим краще.

VR – віртуальна реальність, AR – доповнена реальність, MR – змішана реальність.

Початківці провели експерименти після двох тижнів тренувань. Порівняння між даними навчання та вихідними даними показано на рис. 2.7. У порівнянні з навчанням BOX лише деякі пункти оцінювання трьох методів навчання досягли еквівалентно високого рівня підготовки.

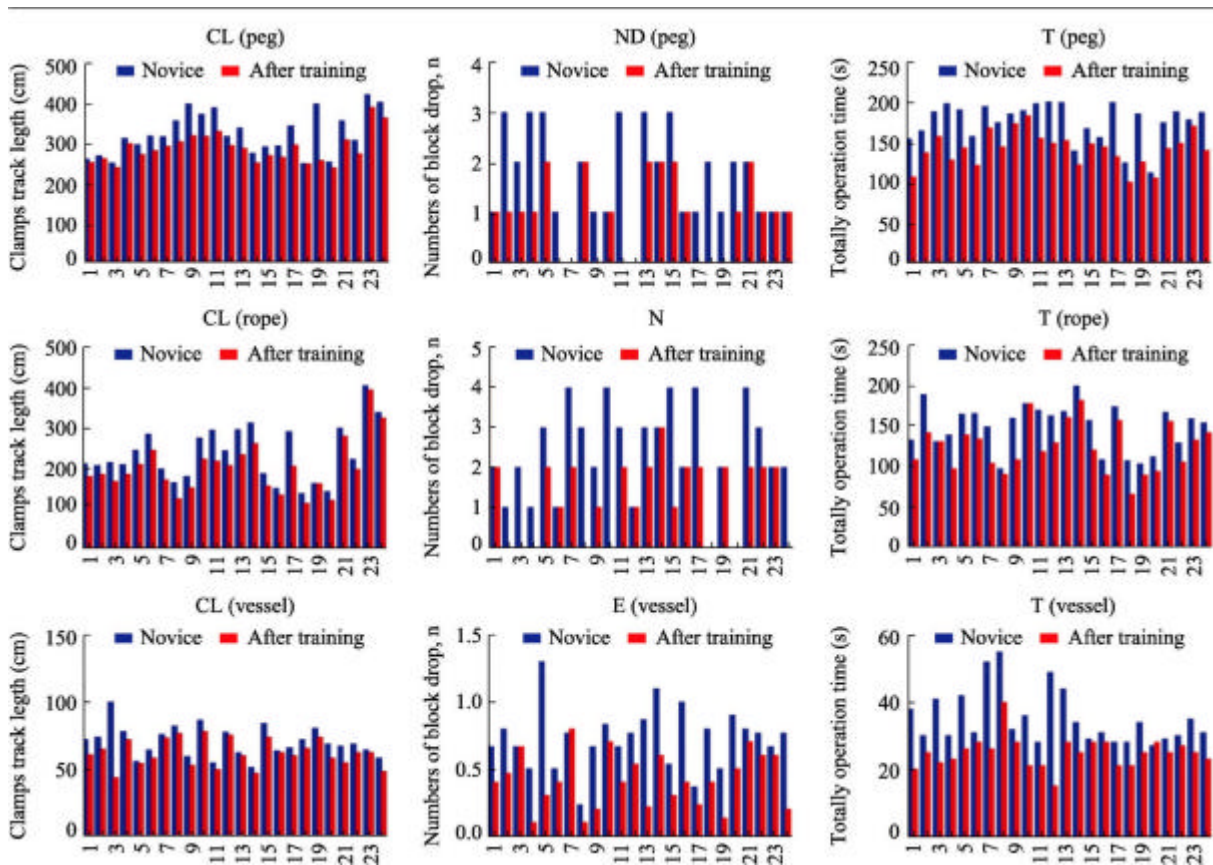


Рисунок 2.7 – Порівняння трьох пунктів оцінки в групі новачків і групі експертів з точки зору часу, довжини траєкторії інструменту.

Під час навчання було помічено, що деякі показники цих персоналу покращуються. Спостерігаючи за специфічними вдосконаленнями VR та AR, ми бачимо, що обидві форми навчання покращили виконання. Зокрема, навчання з моделювання AR може краще поєднувати віртуальне та реальне середовище, щоб надати персоналу нове середовище з реальними сенсорними ефектами, хоча воно не досягає такої ж висоти занурення, як VR. Наприклад, при AR відсутнє слухове сприйняття [23]. Порівняно з BOX, навчання з моделювання VR можна використовувати без обмежень і можна автоматично записувати відповідні експериментальні дані. Симуляції VR мають певні переваги в об'єктивній оцінці, але в порівнянні з симуляціями AR та MR їм бракує як візуального занурення, так і тактильного сприйняття.

2.8 Порівняння технологій віртуального навчання

У цьому дослідженні була розроблена система навчання на основі AR. Для аналізу суб'єктивної оцінки чотирьох тренажерів експертною групою та об'єктивних операційних навичок групи початківців були використані п'ятибальна шкала Лайкерта, тест Вілкоксона [24], U-критерій Манна-Уїтні та метод CUSUM.

Перевірена експертна група в симуляторах BOX, VR, AR та IVR для трьох завдань моделювання, щоб визначити, який симулятор найкраще покращить навички новачків [25]. Що стосується достовірності результатів, то для аналізу візуальних, тактильних і сценічних індексів симулятора використовувалася п'ятибальна шкала Лайкерта.

Результати показують, що переваги тренажерів були різними для різних індексів. Для зору симулятор AR був кращим, ніж симулятори MR і BOX. Це може бути пов'язано з тим, що технологія AR представляє спостерігачеві тривимірне зображення. Симулятор BOX та симулятор MR отримують інформацію про сцену через реальні та віртуальні камери відповідно та представляють її на реальному та віртуальному екрані без відчуття тривимірного простору.

Тактильне відчуття симулятора BOX було найсильнішим серед чотирьох симуляторів, тому що комп'ютер відтворює тактильні об'єкти віртуальних об'єктів для інших трьох симуляторів, зараз важко досягти потужності візуалізації в реальному часі, але інтерактивні об'єкти в симуляторі Box засновані на фундаментальних фізичних моделях. Що стосується автентичності сцени, симулятор MR перевершував інші три симулятори. Це пояснюється тим, що сцена в симуляторі MR була справжньою сценою технологічного обладнання, знятою 360 панорамною камерою, надаючи користувачам відчуття занурення.

Що стосується валідності конструкції, то не було відмінностей між новачками та експертами в симуляторах VR, AR та MR на початковому етапі [26], однак експерти оцінили її як дещо вищу, ніж новачки в цілому.

Експерти були значно кращі за новачків у симуляторі VOX, тому що раніше симулятор VOX був популярний на ринку, і більшість експертів брали участь у навчанні VOX_simulator. Після певної кількості навчальних випробувань (новачки: 30 випробувань; експерти: 5 випробувань) навички новачків покращились значно краще, ніж у експертів під час оцінювання після тестування, що свідчить про те, що чотири тренажери були ефективними для покращення роботи новачка.

Що стосується часу, AR вимагав найкоротшого часу для експертної групи. У цьому модулі час, необхідний для симулятора Vox, був подібним до інших методів навчання[27]. З точки зору відстані переміщення інструменту, довжина переміщення у VR була меншою, тоді як робочий простір AR був розподілений.

Метод навчання покращив навички початківців[30]. Як показано на рис 5.8, траєкторія руху інструмента фахівця-початківця після навчання була близькою до такої експерта.

Продуктивність у симуляції MR була найкращою. Безпосередньо пов'язуючи дані про технологію, такі як 3D-моделі, зі складними сценаріями, середовище MR може надати багато інформації для керування рухами людей і роботів [31].

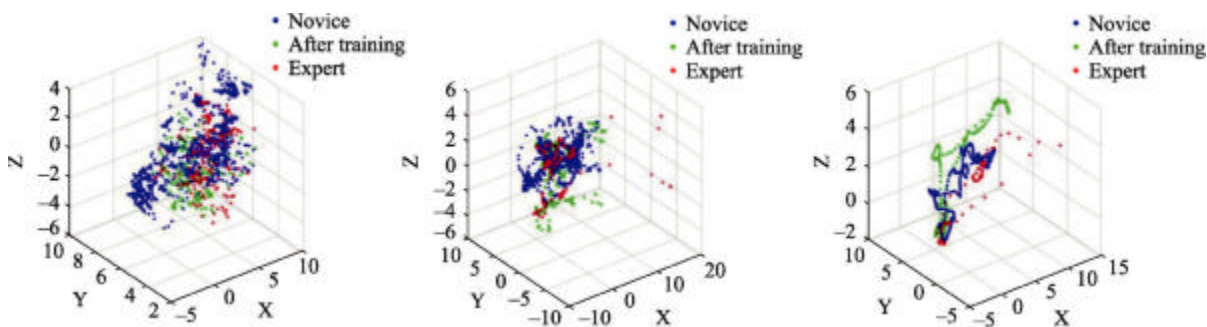


Рисунок 2.8 – Траєкторія руху інструмента в трьох навчальних модулях групи новачків, тренінгової групи та групи експертів.

2.9 Висновок технологій віртуального навчання

Для імітації в'язкопружності, нелінійності та нестисливості деформації об'єктів у режимі реального часу було запропоновано новий метод, що

об'єднує підхід в'язкопружного стану (MSM) і динаміку на основі положення (PBD), яку називаємо кластерною

Основні результати цього дослідження такі:

На основі PBD та біомеханічних властивостей було розроблено новий метод PBD на основі кластерів. У цьому методі сила пружності та зовнішня сила (MSM) поєднуються із силою обмеження, створеною функцією обмеження PBD, щоб змінити рух точок маси. Цей метод успішно контролює складну поведінку деформації за допомогою різних обмежень. Хоча вартість часового кроку дещо вища, ніж у традиційних методів PBD, він покращив автентичність та стабільність.

Деформації моделі були змодельовані, щоб показати різні структури та типи деформації об'єктів маніпуляції. Експерименти показали, що цей метод може імітувати деформацію м'яких об'єктів під час технологічних операції та задовольняти потреби віртуальних технологій.

3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

Застосування VR/AR-технологій в машинобудуванні

В розділі розглядаються поняття віртуальної, доповненої реальностей. Проведено їх порівняння з метою виявлення відмінностей, подібностей. Виявлено галузі використання даних технологій, наведено приклади їх застосування. Визначено шляхи застосування VR/AR-технологій у машинобудуванні, зокрема, на етапі ескізного проекту життєвого циклу виробу. Наведено приклади використання VR/AR-технологій у вітчизняних промислових компаніях.

3.1 Використання технологій VR/AR

Нині дедалі частіше звертаються до терміна «Віртуальна реальність» («Virtual Reality»). Воно зустрічається у всіх сферах діяльності, зокрема інтенсивно використовується у машинобудуванні та інших галузях промисловості. Як правило під VR мають на увазі всю різноманітність технологій, які пов'язані з віртуальною дійсністю. Часто, коли говорять VR-технології, мають на увазі термін «Доповнена реальність» («Augmented Reality»). Дамо визначення кожному з цих термінів.

VR-технології – це спеціально розроблене цифрове середовище, що замінює наш реальний світ, де користувачі також чують звуки і бачать штучні образи навколо себе, ніби перебуваючи всередині нього [1]. AR-технології – це проектування віртуальних (цифрових) об'єктів у світі. Виходячи з цього, можна зробити такі висновки: VR блокує реальний світ і занурює користувача в цифровий всесвіт, а AR впроваджує елементи цифрового світу у реальний [2].

3.2 Порівняння VR та AR технологій

Розглянемо докладніше VR та AR технології. Використовуючи спеціально розроблений гаджет VR-окуляри, VR-шолом, нам доступна можливість «зануритися» у віртуальний світ – де людина бачить тривимірні віртуальні зображення. Під час руху по кімнаті та повертаючи голову,

програма через давачі та гіроскопи автоматично перебудовує зображення під кут зору людини, створюється відчуття реальної присутності у віртуальному просторі.

Використовуючи VR-рукавички користувач тактильно відчуває віртуальні цифрові предмети. Приклад використання AR-технологій є проектування технічних засобів та ін. за допомогою камери або AR-окулярів. AR-технологію використовують при плануванні виробничих приміщень віртуально змінюючи проектоване технологічного обладнання. Є змога спроектувати проекти приміщення при використанні лише його цифрових копій.

У ході дослідження VR та AR технологій були сформовані критерії, з метою виявлення подібностей та відмінностей між ними. Цими критеріями є:

- визначення;
- пристрої та обладнання;
- вартість пристроїв та обладнання;
- основні сфери застосування;
- зручність використання.

Результат аналізу порівнянь віртуальних технологій наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Порівняння VR та AR технологій

Технологія /критерії	Віртуальна реальність (VR)	Доповнена реальність (AR)
Визначення	Спеціально розроблене цифрова середовище, замінює наш реальний світ, де користувачі точно також чують звуки і бачать штучні образи навколо себе, ніби перебуваючи всередині нього.	Проектування віртуальних (цифрових) об'єктів в реальному світі
Пристрої та обладнання	Шолом (+ смартфон), контролер, окуляри (+ смартфон), рукавички, костюми та кімнати віртуальної реальності	Окуляри, смартфон, планшет
Вартість пристроїв та обладнання	Вартість достатня варіативна. Від кількох сотень до мільйонів рублів	В основному вартість очок варіюється від 10 до 300 тисяч грн. момент В справжній список смартфонів і планшетів, підтримують AR-технології достатньо великий. Мінімальна вартість таких пристрої знаходиться в районі 10 тисяч грн
Основні галузі застосування	Відеоігри освіта, машинобудування, туризм і мистецтво	Відеоігри маркетинг, машинобудування
Зручність використання	Від тривалого використання VR-пристроїв сильно втомлюються очі і шия (шоломи та громіздкі окуляри). Можливе запаморочення. Потрібно певна фізична підготовка	Використання смартфонів та планшетів як AR- пристрої створює мінімальні незручності для користувача. AR-окуляри, зазвичай, набагато комфортніше у використанні ніж VR- окуляри. Насамперед, це пов'язано з тим, що вони значно менше важать

Виходячи з даних таблиці 3.1 робимо висновок, що VR і AR технології

мають схожі риси та відмінності.

Головна різниця є у визначенні даних термінів. А подібність є те, що дані технології перетинаються один з одною, або мають спільне використання, тоді ведуть мову про VR/AR-технології.

3.3 Застосування VR/AR-технологій

Докладніше розглянемо галузі використання VR/AR-технології:

1) Машинобудування.

Перший відомий VR/AR-проект розроблений у 1992р. компанією Boeing. Через віртуальне представлення джгутів дротів прокладених по корпусу літака, схем складання цих джгутів, було досягнуто прискорення монтажу, зменшена ймовірність помилок під час роботи. Термін «доповнена реальність» був запропонований під час реалізації цього проекту [5];

2) Освіта

VR-технології подають матеріал більш прийнятно, доступно.

3) Туризм та мистецтво

VR-технологій дозволяють віртуально відвідувати музеї, подорожувати. «Створення віртуальних просторів допоможе заощадити на створенні інтерактивного музею, до того дає можливості, котрі досить складно реалізувати насправді.

4) Маркетинг

Використання AR-технологій у маркетингу можна проілюструвати рекламною кампанією "IKEA". У рекламі демонструється можливість проектування предметів інтер'єру камерою планшета;

5) ігрова індустрія

Галузь котра одна з перших стала використовувати VR/AR-технології. Існує багато ігрових платформ які використовують віртуальну, доповнену реальність через застосування VR/AR-пристроїв.

3.4 Застосування VR/AR-технологій у машинобудуванні

Розглянемо докладніше VR/AR-технології у машинобудуванні. Системи віртуальної дійсності відображають у собі комп'ютерні моделі будівель, споруд, деталей, вузлів, обладнання та техніки у тривимірному віртуальному зображенні, візуалізує їх перегляд, операції складання розбирання тощо.[9].

VR-технології використовуються для візуалізації правил охорони праці та промислової безпеки. Крім цього, в компанії спроектували тренажер з ремонту обладнання із застосуванням VR-технологій. Тренажер навчає працівників правил техніки безпеки при роботі з основним технологічним обладнанням. У ході проектування тренажера була спроектована 3D-модель обладнання та найчастіша операція даного інструменту.

VR-тренажер створювався для наступних цілей:

зменшення часу проведення ремонту; докладніше вивчення роботи устаткування; підвищення якості ремонту, виключення повторної відмови блок-циліндрів після проведення ремонту; виявлення помилок при ремонті та пропозицію шляхів вирішення їх усунення; покращення навичок роботи персоналу із сучасними цифровими технологіями.

Компанія у рамках розвитку VR/AR-технологій, співпрацює з такими компаніями як «HTC» (провідна компанія в галузі створення VR/AR-обладнання) та «Modum Lab», розробник аналітичних та освітніх бізнес-продуктів на основі іммерсивних технологій – повного або часткового занурення у віртуальний світ, для пристроїв віртуальної та доповненої реальності.

У компанії VR/AR-технології використовують для навчання співробітників та для візуалізації процесів техобслуговування, ремонту обладнання. Ці технології застосовуються спільно в багатьох галузях. приклади використання VR/AR-технологій у машинобудуванні показують доцільність їх застосування у цій галузі.

4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

В індустрії 5.0 працівники працюють разом із роботами та розумними машинами. Розумні машини допомагають працівникам працювати ефективніше, працювати з кращою якістю та підвищувати свою безпеку. Великі транснаціональні компанії все частіше використовують VR та AR для проведення тренінгів у потенційно небезпечних умовах.

З системою Naru в індустрію впроваджується система безпеки AR зі штучним інтелектом. Система попереджає користувача про потенційні небезпеки та нещасних випадків, тим самим запобігаючи нещасним випадкам та покращуючи безпеку на робочому місці. Записи з камер, встановлених на окулярах AR і камер відеоспостереження на заводі, надсилаються в центральну систему, яка порівнює поточну заводську ситуацію з 3D-моделями заводу і за допомогою штучного інтелекту виявляє небезпечні ситуації. Потім система передає цю інформацію на скло AR Оператора і попереджає його про потенційну загрозу його безпеці.

На додаток до функцій безпеки, система також може бути використана для підвищення ефективності та навчання працівників.

4.1 Опис продукту, послуг (специфікація)

Основні компоненти системи Naru:

- AR-окуляри
- AI-програмне забезпечення
- Обладнання для моніторингу
- Віртуальна модель робочої зони

Давайте детальніше розглянемо кожен компонент.

4.2 AR-Glasses

Для вибору розумних окулярів корпорація Naru співпрацює з XpertEye, яка є провідною компанією у виробництві розумних окулярів.

Основні переваги використання XpertEye:



	RealWear HMT-1	Vuzix M400	Glass Enterprise Edition 2	Iristick.G1	LLVision GLXSS SE
CPU	Qualcomm Snapdragon 625	Qualcomm XR1 Octo core 2.52 Ghz	Qualcomm Quad core 1,7 Ghz	-	Intel® Movidius™ Myriad™ 2
MEMORY	2 GB	6 GB	3 GB	-	LPDDR3 512 MB
STORAGE	16 GB flash	64 GB	32 GB	-	-
VISION AND DISPLAY	Monocular & tilting screen Flexible display Resolution: 854x480 pixels	Monocular & tilting screen Flexible display arm nHD color displays 640x360 16.7 degrees	Monocular prism Adjustable prism 640x360	Monocular screen FOV: 13° 428x240 30 fps	FOV: 20° (Diagonal), Resolución: 640x400, Contrast: 100000:1
CAMERA	16 MP, autofocus and 4 axis optical image stabilization for hi-resolution	Up to 12.8 MP	8 MP	Central camera: 5 MP, fix focus wide angle (84° diagonal), numerical zoom Zoom camera: 5 MP / 720p, 5X optical zoom, Autofocus	Photo: 13 MP, Video: 1080P FHD Video, Privacy: LED Indicator
XPERTEYE ENCODING	Optimized Resolution: 1280x720* Limited bandwidth: 320x240	Optimized Resolution: 720x480 Limited bandwidth: 320x240	Optimized Resolution: 720x480 Limited bandwidth: 320x240	Optimized Resolution: 720x480 Limited bandwidth: 320x240	Optimized Resolution: 720x480 Limited bandwidth: 320x240
SOUND	Integrated 91 dB speaker 3.5 mm jack	Ear speaker	Mono speaker	Ear speaker	Input: Digital Microphone with Noise Cancellation Output: Speaker
SOFTWARE	Android 6.0	Android 8.1	Android 8	-	-
BATTERY	3250 mAh rechargeable, removable, hot-swappable full shift hour battery	135 mAh + 1000 mAh	820 mAh	12 Wh pocket unit internal battery rechargeable	-
WEIGHT	370 g	68 g (without the frame)	46 g (without the frame)	71 g	30 g (without the frame) 45 g (with the frame)

*Smart glasses resolution is 480p/14fps using XpertEye Advanced

Рисунок 4.1 – Технічні характеристики окулярів XpertEye AR.

Source: <https://www.amaxperteye.com/>

4.3 Обладнання для моніторингу

Для вибору обладнання для моніторингу корпорація Наргу співпрацює з Viper Predator тому що:

- Системи камер і відеоспостереження відіграють важливу роль у виробництві та виробництві, особливо з міркувань охорони здоров'я та безпеки.

- Для спостереження за небезпечними машинами та обладнанням з безпечної відстані можна використовувати камери та пристрої спостереження.
- Вони нададуть операторам візуальну індикацію будь-яких проблем, дозволяючи операторам приймати рішення про найкращий курс дій, залишаючись на безпечній відстані.

Тепер давайте детальніше розглянемо конкретну камеру FLIR A35

Камера FLIR A35 є відмінним вибором для використання тепловізійних зображень в автоматизації або додатках комп'ютерного зору. Обидві версії надзвичайно малі та прості для включення в систему комп'ютерного зору.

Специфікація:

- ІЧ-роздільна здатність: 320 x 256 пікселів
- Просторова роздільна здатність (IFOV): 0,680 мрад.
- Опції поля зору (FOV): 13°, 25°, 45°, 69°
- Частота зображення: 60 Гц
- Живлення: PoE
- Діапазон температур об'єкта: -25°C до +100°C
- Термочутливість/NETD: < 0,05°C при +30°C (+86°F) / 50 мК
- Точність: ±5°C (±9°F) або ±5% від показань
- Тип Ethernet: Gigabit Ethernet
- Діапазон робочих температур: від 15°C до +50°C (+5°F до +122°F)

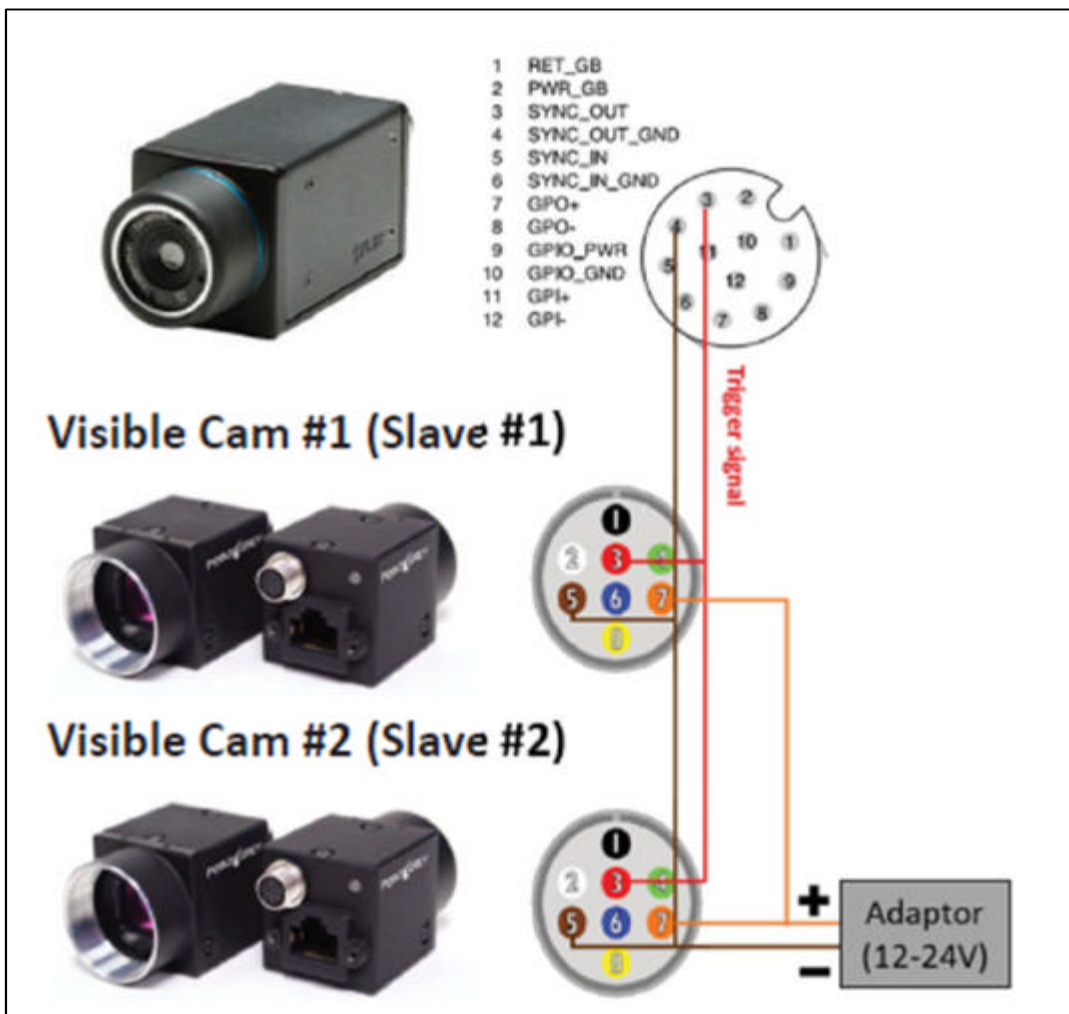


Рисунок 4.1 – Камера FLIR A35

4.3 Віртуальна 3D модель робочої зони

За допомогою високоякісних сканерів можлива швидка зйомка, моделювання вигляду та дизайну макета. Завдяки точним і швидким скануванням структурне проектування може бути завершено набагато швидше. Окрім пристроїв, якими керує користувач, технологія 3D-сканування може стати ключовим компонентом системи.

Корпорація Harpu співпрацювала з Artec 3d над створенням 3d моделі.

Ми будемо використовувати 3D-сканування Artec Leo Easy: об'єкт проектується в 3D прямо на HD-дисплеї.

Artec Leo — це перший 3D-сканер із вбудованою автоматизованою обробкою, що забезпечує найбільш інтуїтивно зрозумілий робочий процес,

що робить 3D-сканування таким же простим, як відеозйомку.

Створення 3D-копії в режимі реального часу на сенсорному екрані Leo, при скануванні фрагментів, поворот 3D-моделі, щоб переконатися, що всі фрагменти і області були захоплені.

Основні характеристики:

- Дисплей, вбудований напівдисплей сенсорної панелі HD.
- Роздільна здатність кольору 2,3 МП
- Внутрішня обробка в режимі реального часу
- Джерело структурованого світла VCSEL
- Зона захоплення об'єму сканування, – збільшена вдвічі
- Датчики положення, вбудована інерціальна система 9 DoF
- Швидкість 3D-реконструкції: 80 кадрів в секунду: 16 кадрів в секунду
- Бездротове підключення та передача даних
- Роздільна здатність 3D, до 0,2 мм
- Джерело живлення вбудований змінний акумулятор, додаткове живлення від мережі
- Точність 3D точки, до 0,1 мм



Рисунок 4.2 – Artec Leo 3D scanner

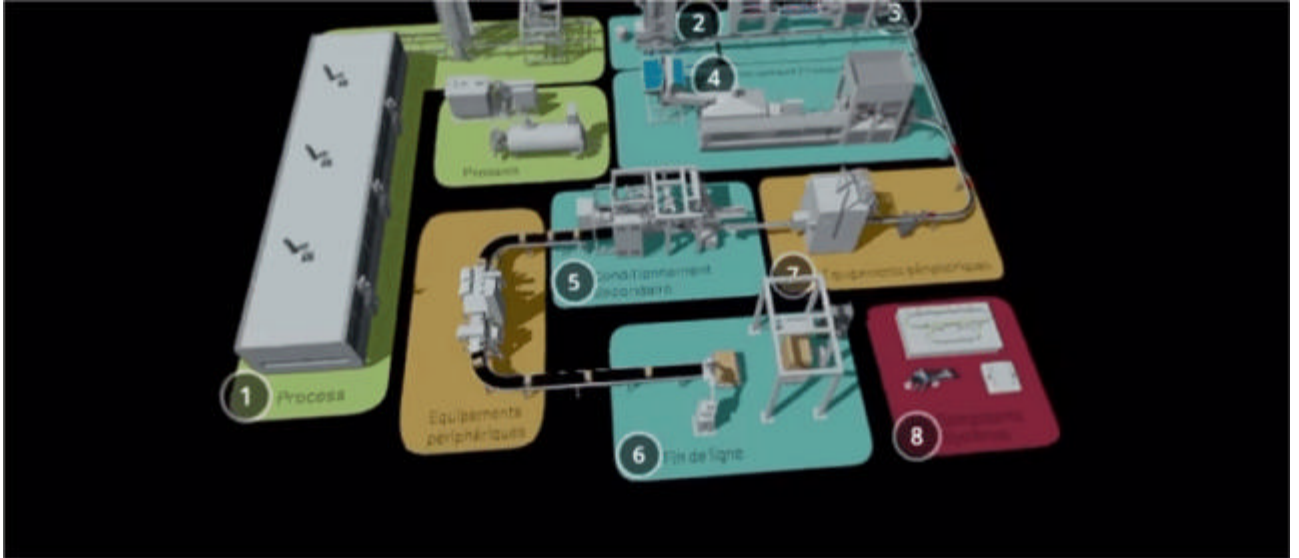


Рисунок 4.3 – Ілюстрація gif виробничого польового сканера від 3d-сканера
Artec Leo 3D.

Source: <https://www.tarakos.de/en/3d-visualization-software.html>

4.4 Апаратна платформа AI-програмного забезпечення

Програмне забезпечення для штучного інтелекту буде розроблятися окремо, оскільки це унікальне інноваційне програмне забезпечення, яке ніколи не було створено раніше.

Але варто згадати про промисловий ПК для забезпечення роботи програмного забезпечення штучного інтелекту. Комп'ютер буде від німецької компанії OMTEC. НТВ-200-C236

Специфікація:

- Процесорна платформа Intel® Xeon & Core™ 6-го/7-го покоління
- Набір мікросхем Intel® C236
- Подвійна небуферизована пам'ять SODIMM ECC та без ECC до 64 ГБ
- Слот PCIe [x16] для графічного процесора Nvidia, карти прискорення IEI Mustang
- Слот PCIe [x4] підтримує карту захоплення або іншу програму.



Рисунок 4.3 – AI-powered box PC HTB-200-C236
Source: <https://www.ieiworld.com/en/product/model.php?II=689>

4.5 Використане програмне забезпечення AI

Використано алгоритм програмне забезпечення AI BMW. BMW відтворив виробничу лінію в Регенсбурзі, використовуючи програмну платформу Omniverse, створену виробником чіпів Nvidia. Минулого року BMW оголосила, що використовує платформу Nvidia Isaac AI для навчання роботів новим завданням. Щоб знайти оптимальну техніку та зменшити ергономічні труднощі, програмне забезпечення також імітує аватари реальних співробітників, які беруть деталі та інструменти та збирають компоненти. Це також може дозволити виконувати завдання з меншою кількістю співробітників.

Набирає популярності використання штучного інтелекту (AI) для керування роботами та іншими промисловими пристроями. Деякі компанії зосереджуються на тому, щоб завдяки недавнім досягненням в області штучного інтелекту, роботи зосереджені на тому, щоб навчатися в симуляції, як виконувати надзвичайно складні завдання, як-от захоплення неправильних об'єктів. Ця технологія зрештою може допомогти автоматизувати велику кількість електронної комерції та логістичної роботи. Для цього часто використовується техніка ШІ, відома як навчання з підкріпленням, яка тягне

за собою тестування алгоритму та навчання, як досягти поставленої мети на основі позитивного зворотного зв'язку.

4.6 Графічний інтерфейс навчання для виявлення об'єктів Tensorflow

Tensorflow Використовують при мінімальних налаштуваннях або без них. Він задовольняє потреби найсучасніших моделей глибокого навчання за допомогою цього репозитарію. Після надсилання визначеного набору даних TensorBoard дозволяє негайно розпочати навчання та контролювати його. Використовується вбудований інтерфейс REST API для перевірки моделі.

Версія Tensorflow, яка використовується в цьому проекті, – v.1.13.1.

Підтримкаи Tensorflow 2, – Tensorflow Object Detection API.

Вбудований REST API для виводу базується на ЦП і не потребує використання графічного процесора.

Набір даних COCO використовується для створення попередньо підготовлених вагових коефіцієнтів, готових до використання.

Web-інтерфейс Chrome, використовувався для тестування програми, і радимо використовувати Chrome для навчання.

Вимоги

- Ubuntu 18.04
- Драйвери NVIDIA (410.x або вище)
- Останній стабільний випуск Docker CE
- NVIDIA Docker 2
- Docker-Compose (1.19.0 або вище)

Як перевірити наявність передумов

Щоб перевірити, чи встановлено у вас docker-ce:

docker –version

Щоб перевірити, чи встановлено у вас docker-compose:

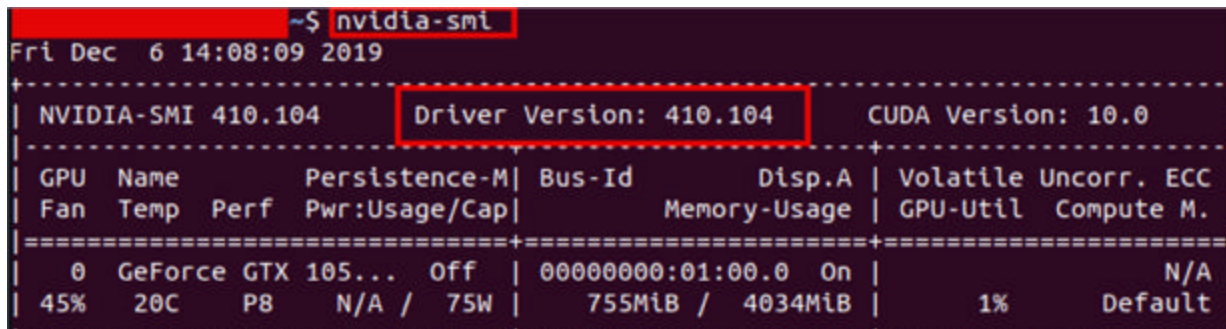
docker-compose --version

Щоб перевірити, чи встановлено у вас nvidia-docker:

nvidia-docker --version

Щоб перевірити версію драйверів nvidia, відкрийте термінал і введіть команду

nvidia-smi



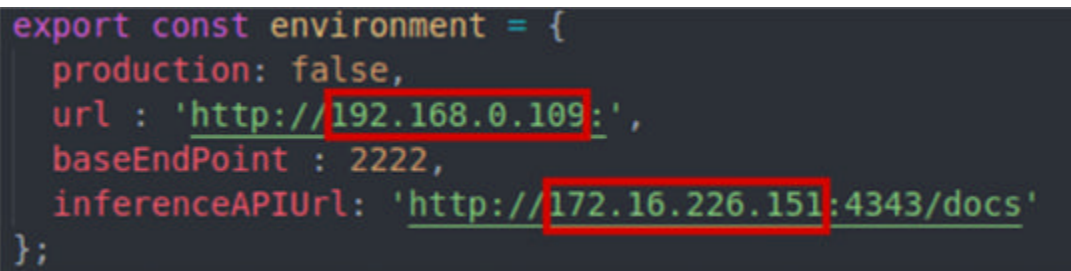
```
~$ nvidia-smi
Fri Dec 6 14:08:09 2019
+-----+
| NVIDIA-SMI 410.104      | Driver Version: 410.104      | CUDA Version: 10.0     |
+-----+-----+
| GPU  Name                Persistence-M| Bus-Id        Disp.A | Volatile Uncorr. ECC |
| Fan  Temp   Perf          Pwr:Usage/Cap|      Memory-Usage | GPU-Util  Compute M. |
+-----+-----+-----+
|  0  GeForce GTX 105...   Off          | 00000000:01:00.0 On         |           N/A       |
| 45%   20C    P8          N/A / 75W   | 755MiB / 4034MiB |           1%      Default |
+-----+-----+-----+
```

Рисунок 4.4 – Перевірка версії

Зміни для внесення

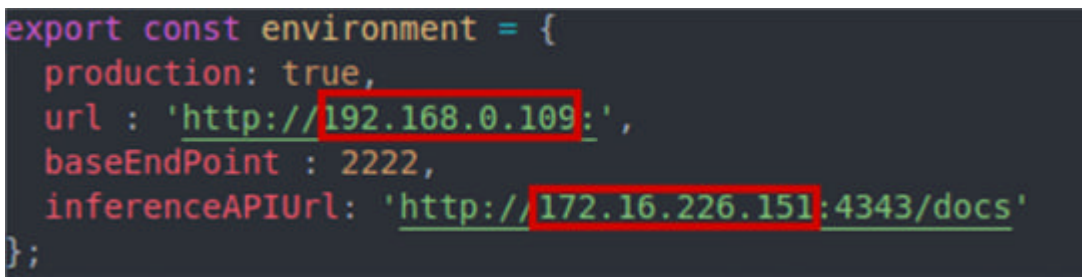
перейдіть до `gui/src/environments/environment.ts` і

`gui/src/environments/environment.prod.ts` і змініть наступне



```
export const environment = {
  production: false,
  url : 'http://192.168.0.109:',
  baseEndPoint : 2222,
  inferenceAPIUrl: 'http://172.16.226.151:4343/docs'
};
```

Рисунок 4.5 – environment.ts



```
export const environment = {
  production: true,
  url : 'http://192.168.0.109:',
  baseEndPoint : 2222,
  inferenceAPIUrl: 'http://172.16.226.151:4343/docs'
};
```

Рисунок 4.6 – environment.prod.ts

```
docker_sdk:
  image: tf_docker_sdk
  build:
    context: ./docker_sdk_api
    dockerfile: dockerfile
    args:
      http_proxy:
      https_proxy:
training:
  image: tf_training_api
  build:
    context: ./training_api
    dockerfile: dockerfile
    args:
      http_proxy:
      https_proxy:
user_interface:
  image: tf_training_ui
  build:
    context: ./gui
    dockerfile: dockerfile
    args:
      http_proxy:
      https_proxy:
inference_api:
  image: tf_inference_api_for_training_gui
  build:
    context: ./inference
    dockerfile: docker/dockerfile
    args:
      http_proxy:
      https_proxy:
```

Рисунок 4.7 – Встановлення проху Tensorflow

Якщо ви працюєте за проксі, змініть аргументи `http_proxy` і `https_proxy` в `build.yml`, щоб вони відповідали адресі вашого проксі. (ви можете знайти `build.yml` у кореневому каталозі репо)

Структура папки набору даних

Нижче наведено приклад того, як має бути структурований набір даних. Будь ласка, помістіть усі свої набори даних у папку наборів даних.

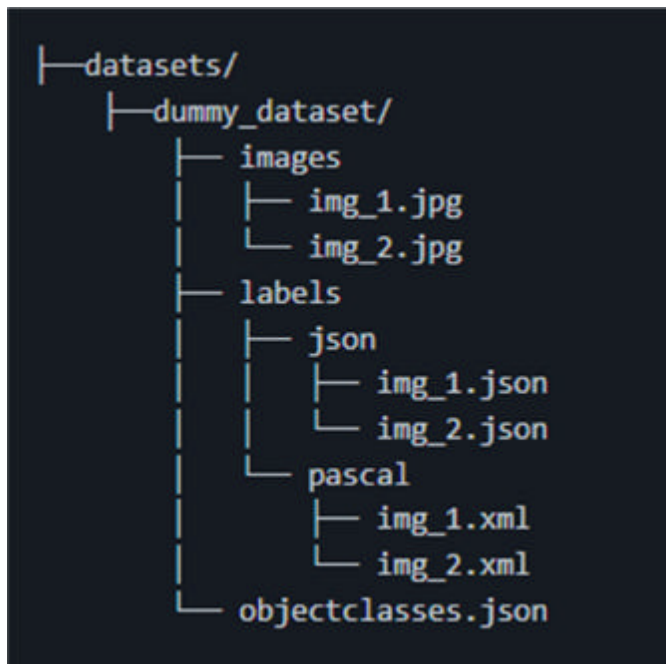


Рисунок 4.8 – Приклад файлу Objectclasses.json

Ви повинні включити у свій набір даних файл objectclasses.json зі структурою, схожою на наведений нижче приклад:

```
[
  {
    "Id": 0,
    "Name": "person"
  },
  {
    "Id": 1,
    "Name": "bird"
  },
  {
    "Id": 2,
    "Name": "cat"
  }
]
```

Рисунок 4.8 – Виконання Objectclasses.json

Побудуйте рішення, виконайте таку команду з кореневого каталогу сховища

```
docker-compose -f build.yml build
```

Рисунок 4.9 – Виконання команди побудови рішення

Запустіть рішення

Щоб запустити рішення, виконайте таку команду з кореневого каталогу сховища

```
docker-compose -f run.yml up
```

Рисунок 4.10 – Запуск рішення

Після успішного запуску ви повинні побачити наступне:

```
Starting inmind-computer-vision-tf_training_docker_compose-50ae026f852c_docker_sdk_1 ... done
Starting inmind-computer-vision-tf_training_docker_compose-50ae026f852c_user_interface_1 ... done
Starting inmind-computer-vision-tf_training_docker_compose-50ae026f852c_inference_api_1 ... done
Attaching to inmind-computer-vision-tf_training_docker_compose-50ae026f852c_docker_sdk_1, inmind-c
docker_sdk_1 | INFO: Started server process [6]
docker_sdk_1 | INFO: Uvicorn running on http://0.0.0.0:2222 (Press CTRL+C to quit)
docker_sdk_1 | INFO: Waiting for application startup.
docker_sdk_1 | INFO: Application startup complete.
inference_api_1 | WARNING: email-validator not installed, email fields will be treated as str.
inference_api_1 | To install, run: pip install email-validator
inference_api_1 | INFO: Started server process [1]
inference_api_1 | INFO: Uvicorn running on http://0.0.0.0:4343 (Press CTRL+C to quit)
inference_api_1 | INFO: Waiting for application startup.
```

Рисунок 4.11 – Виконання рішення

Якщо додаток розгорнуто на вашому комп'ютері: відкрийте веб-браузер і введіть таку команду: localhost:4200 або 127.0.0.1:4200

Якщо додаток розгорнуто на іншій машині: відкрийте веб-браузер і введіть таке: <machine_ip>:4200

Підготовка набору даних

Підготуйте свій набір даних до навчання

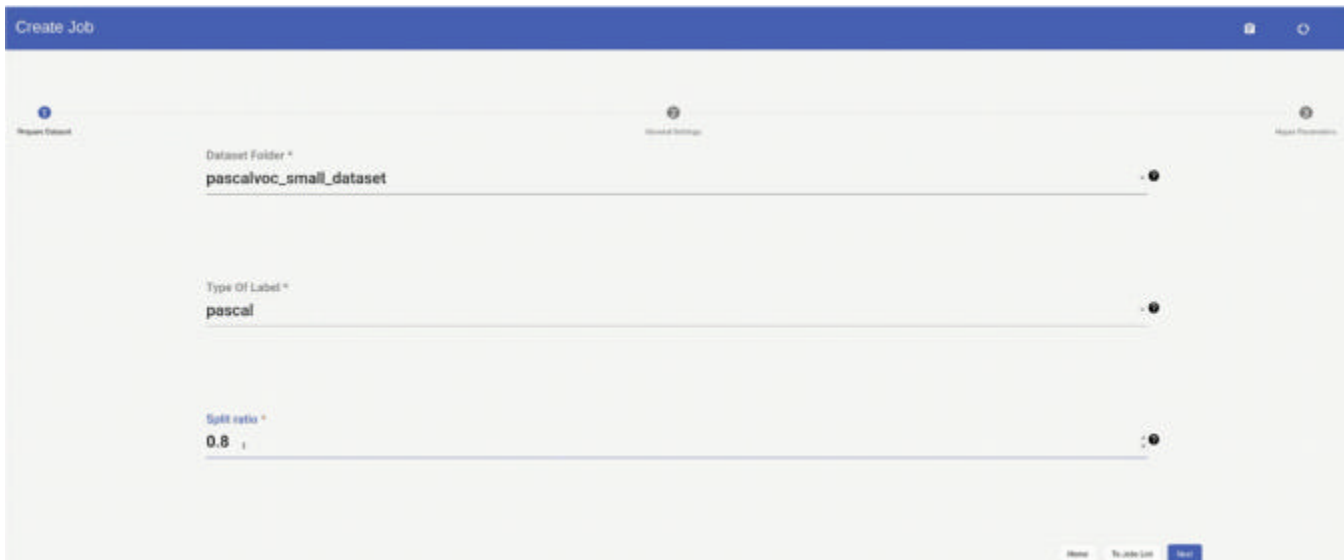


Рисунок 4.12 – Визначення загальних налаштувань

Вкажіть загальні параметри для вашого контейнера докерів



Рисунок 4.13 – Визначення гіперпараметрів

Вкажіть гіперпараметри для навчальної роботи



Рисунок 4.14 – Перевірка журналів навчання

Перегляньте свої журнали тренувань, щоб отримати кращу інформацію про хід навчання



Рисунок 4.15 – Моніторинг навчання

Контролюйте навчання за допомогою Tensorboard



Рисунок 4.16 – Перевірка статусу роботи

Перевірте статус, щоб дізнатися, коли завдання було успішно завершено

```

c:\32m\WARNING::[0m: From /usr/local/lib/python3.6/dist-packages/tensorflow/python/tools/freeze_graph.py:232: convert_variables_to_constants (from
tensorflow.python.framework.graph_util_impl) is deprecated and will be removed in a future version.
Instructions for updating:
Use tf.compat.v1.graph_util.convert_variables_to_constants
c:\32m\WARNING::[0m: From /usr/local/lib/python3.6/dist-packages/tensorflow/python/framework/graph_util_impl.py:245: extract_sub_graph (from
tensorflow.python.framework.graph_util_impl) is deprecated and will be removed in a future version.
Instructions for updating:
Use tf.compat.v1.graph_util.extract_sub_graph
c:\32m\INFO::[0m: Froze 275 variables.

c:\32m\INFO::[0m: Converted 275 variables to const ops.

2019-12-10 12:27:15.235495: I tensorflow/core/common_runtime/gpu/gpu_device.cc:1512] Adding visible gpu devices: 0
2019-12-10 12:27:15.235599: I tensorflow/core/common_runtime/gpu/gpu_device.cc:984] Device interconnect StreamExecutor with strength 1 edge matrix:
2019-12-10 12:27:15.235616: I tensorflow/core/common_runtime/gpu/gpu_device.cc:990] 0
2019-12-10 12:27:15.235630: I tensorflow/core/common_runtime/gpu/gpu_device.cc:1003] 0: N
2019-12-10 12:27:15.235767: I tensorflow/core/common_runtime/gpu/gpu_device.cc:1115] Created TensorFlow device (/job:localhost/replica:0/task:0/device:GPU:0 with 910
MB memory) -> physical GPU (device: 0, name: GeForce GTX 1080 Ti, pci bus id: 0000:17:00.0, compute capability: 6.1)
c:\32m\INFO::[0m: No assets to save.

c:\32m\INFO::[0m: No assets to write.

c:\32m\INFO::[0m: SavedModel written to: /training_dir/models/saved_models/saved_model.pb

c:\32m\INFO::[0m: Writing pipeline config file to /training_dir/models/pipeline.config

```

Рисунок 4.17 – Статус виконання

Завантажте свій режим і легко протестуйте його за допомогою вбудованого API висновку за допомогою Swagger

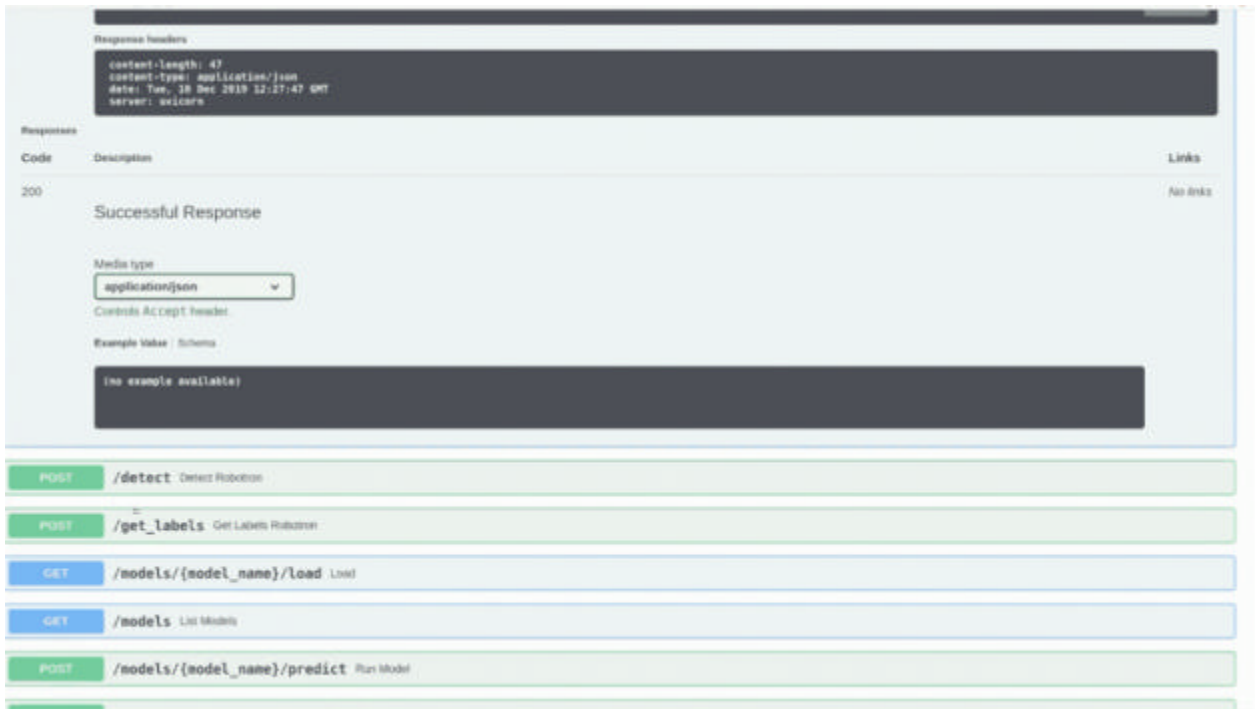


Рисунок 4.18 – Завантаження та тестування за допомогою Swagger

4.7 Опис технології віртуального навчання HARPУ

Система HARPУ має 2 основні елементи. А це окуляри доповненої реальності та обладнання для моніторингу, які утворюють фізичний шар цієї системи. На рівні програмного забезпечення ми маємо 3D-моделі та програмну програму AI Self learning.

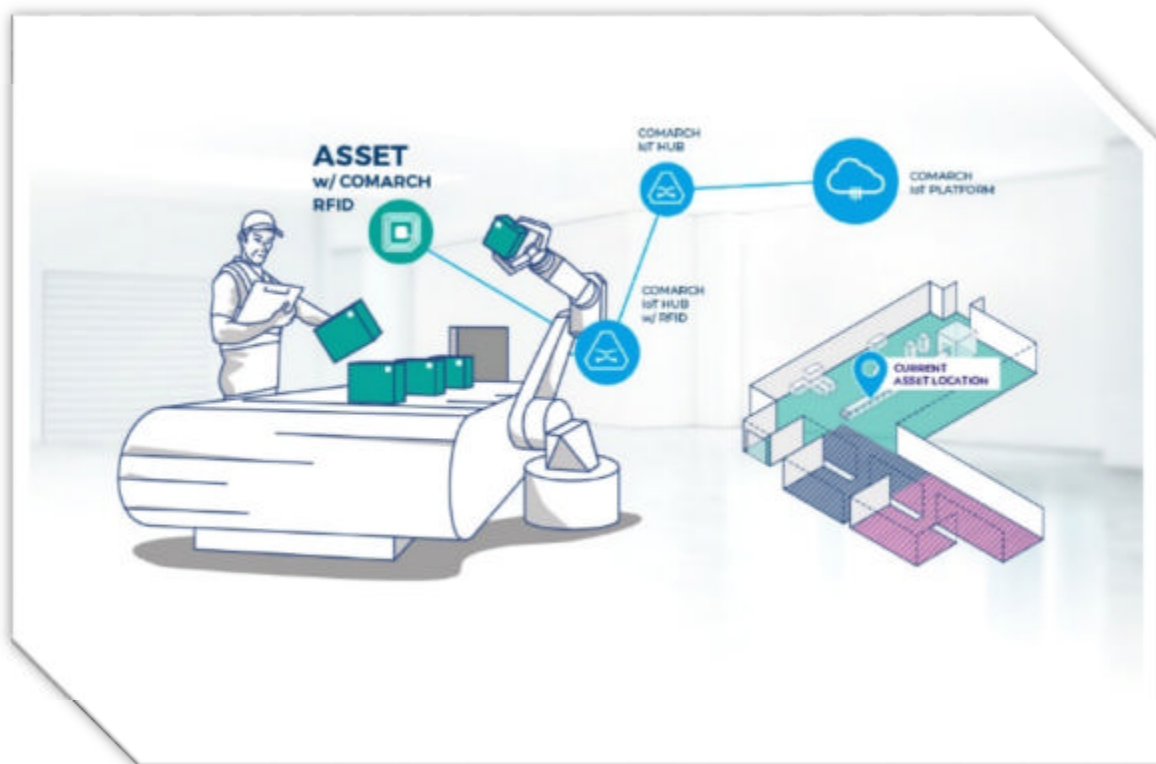


Рисунок 4.19 – Comarch Asset Tracking, для локалізації персоналу і пацієнтів в режимі реального часу.

Source : <https://www.comarch.com/iot-ecosystem/asset-tracking/>

Устаткування для моніторингу тут відноситься до стратегічно розміщеного набору камер моніторингу, які допомагають контролювати приміщення фабрики 24X7. Вихідні дані з цих камер безпосередньо надходять на центральний сервер, де також розміщена система штучного інтелекту. Спеціальний вибір камери AR35 пропонує просту інтеграцію з кількома програмами машинного зору. Крім того, оскільки ця камера є інфрачервоною камерою, це дає системі додаткову перевагу, оскільки вона може працювати в умовах слабкого освітлення. На даний момент камера

використовується для моніторингу здоров'я худоби, дистанційного гасіння пожеж, моніторингу складів, а також у високотемпературних зонах, таких як ковші сталевих печей і системи раннього виявлення пожежі.

Окуляри Google є одним із найвідоміших прикладів технології AR Glass. Ці окуляри безпосередньо передають інформацію користувачеві, який носить ці окуляри. Таким чином, власник може отримати доступ до поєднання інформації як віртуального, так і реального світу. Незважаючи на те, що ця технологія відносно нова, вона знайшла широкий спектр областей застосування. На малюнку нижче наведено короткий огляд різних областей, де ця технологія є актуальною.



Рисунок 4.19 – Ілюструє окуляри AR, які допомагають оператору зміню кольору.

Source: <https://gfyca.com/ru/ignorantgrandkittiwake>

Програмний рівень Наргу складається з системи штучного інтелекту та 3D-моделей Factory floor. Для швидкого 3D-моделювання ми використовуємо 3D-сканер Artec Leo Easy. Сканер забезпечує зображення будь-якого об'єкта з високою роздільною здатністю до рівня точності 0,1 мм. Завдяки цьому час, необхідний для візуалізації 3D-моделі, значно скорочується і не вимагає додаткової спеціальної робочої сили для створення 3D-моделей виробництва. Крім того, 3D-сканування також забезпечує відтворення актуальної ситуації на виробництві. Це допомагає уникнути невідповідностей, спричинених

застарілими планами виробництва.

Останнім і найважливішим елементом є програмне забезпечення AI, що самонавчається. Основна мета використання штучного інтелекту полягає в тому, щоб дозволити системі Narpu мати можливість адаптувати різні змінні середовища, які очікуються при її застосуванні на різних виробництвах у різних галузях.

Це найбільш складна та критична частина успіху проекту. Прикладом застосування в промисловій безпеці є виявлення працівниками відповідності ЗІЗ на основі штучного інтелекту за допомогою комп'ютерного зору.

5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

5.1 Аналіз потенційних фінансових вкладень прибутком

Наразі застосування технологій AR та VR у сфері промислової безпеки використовується переважно для проведення навчання операторів із використанням віртуальної реальності. Тому система майже не має конкуренції. Крім того, існує величезний прихований ринок, на який можна задіяти. На кожен 1 мільйон робочих годин 6,2 чоловіка і 5,1 жінка в середньому претендують на компенсацію за серйозні травми, заподіяні на виробництві. З середньою вимогою 11500 доларів, велика фабрика з 1000 робітниками легко виплачує в середньому 0,5 мільйона доларів на рік¹. Інвестуючи в систему Narpu може легко компенсувати витрати менш ніж за рік. Основними цільовими клієнтами є великі компанії з понад 250 працівниками. Тільки в США та ЄС налічується близько 120 000 компаній із понад 250 співробітниками. Система буде запущена за базовою ціною 200 000 євро за клієнта. На основі наших прогнозованих продажів і витрат на малюнку нижче показано потенційний дохід і прибуток протягом наступних 4 років.

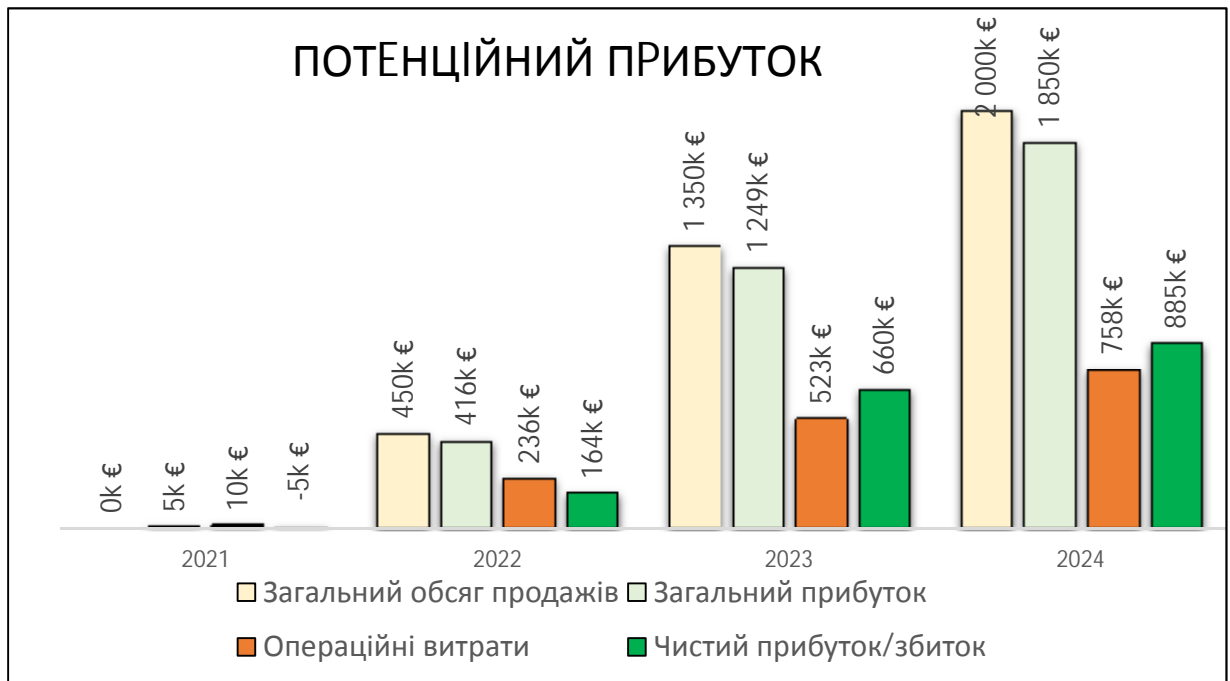


Рисунок 5.1 – Графік потенційного прибутку на наступні 4 роки

Технологія VR і AR є відносно новою концепцією у виробництві. З появою Industry 4.0 та Industry 5.0 багато великих компаній зараз впроваджують ці технології, особливо у сфері тренінгів з безпеки. Як приклад, ArcelorMittal замінив звичайні тренування тренуваннями з VR, особливо в дуже небезпечних середовищах, таких як робота на підвищеній висоті та в зонах високої температури. Деякі інші програми, такі як аварійна евакуація та підвищення ефективності, були випробувані в цій галузі, але вони не отримали широкого поширення в промисловості.

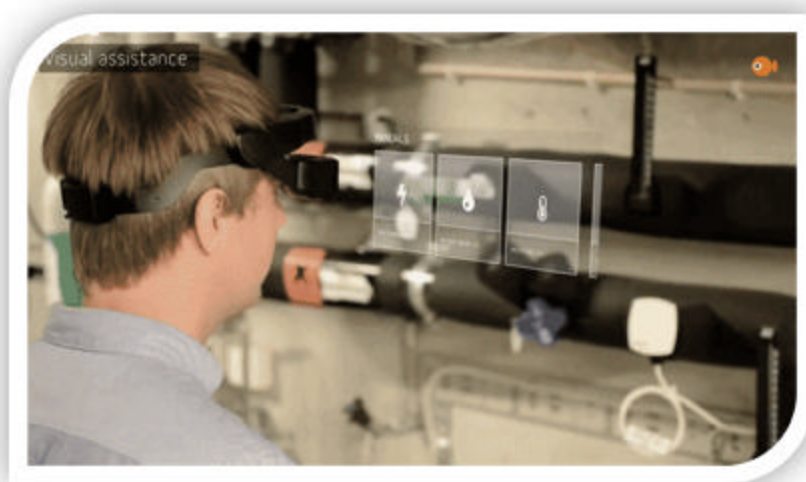


Рисунок 5.2 – Ілюстрація розпізнавання жестів – Gesture interaction in industrial AR smart glasses

Source: <https://gfyat.com/pl/ignorantgrandkittiwake>

Нинішня сфера застосування — це те, що найкраще можна описати як механізми пасивної безпеки. У нашій концепції ми піднімаємо поточну технологію на новий рівень, використовуючи AR, що підтримується штучним інтелектом, для моніторингу безпеки в реальному часі, виявлення загроз і систем попередження.

Хоча прямої конкуренції для продукту немає, перелічимо нинішніх конкурентів, які використовують технології AR або VR у певній формі для промислового застосування.

5.2 Конкурентні пропозиції

Корпорація Harpu's – це абсолютно нова ідея, яка не має прямих конкурентів на ринку, але якщо ми розберемо систему harpu, то побачимо, що конкурентів можна розділити на 4 частини.

Таблиця 5.1 – Конкурентні пропозиції

VR у виробничій сфері	AI у виробничій сфері	Система моніторингу у виробничій сфері	Віртуальна модель виробничої сфери
EHSInsight	Siemens TIA	EBKF	Leopoly
Utility AR	SKF Enlight AI	TIMEGATE	KEYENCE
Transform interactive	Seebo	Advantech	Revopoint
E&T engineering and technology	PSI	Interra systems	Peel 3D Peel 2

5.3 SWOT-аналіз

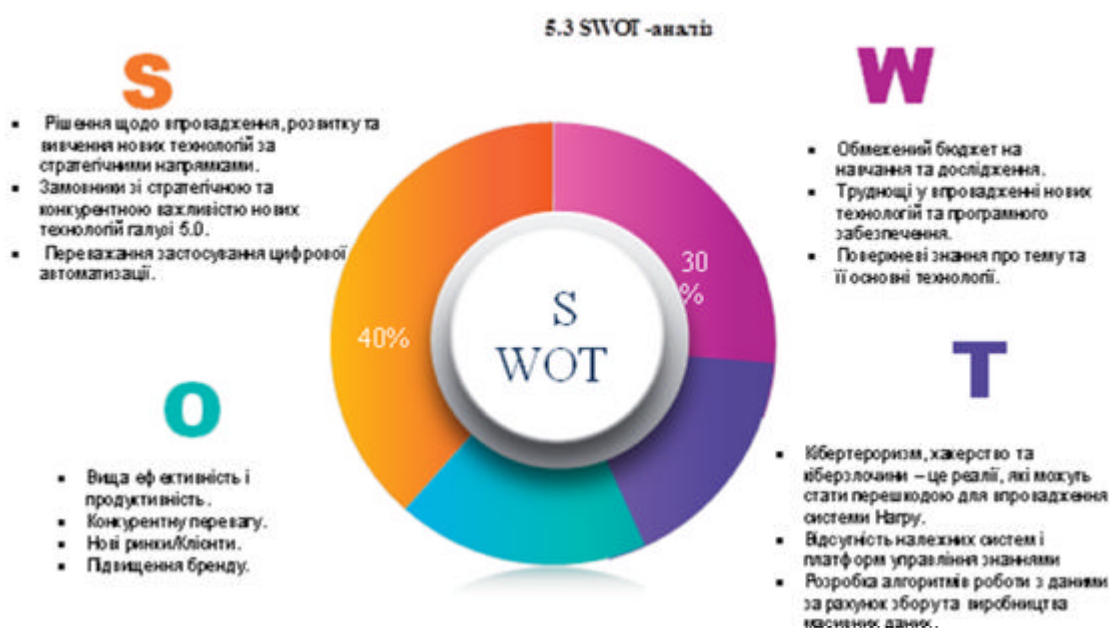


Рисунок 5.3 – SWOT-аналіз

Детальне вивчення сильних, слабких сторін, можливостей і загроз системи Harpu використовується для розробки ефективних стратегій, які допомагають досягти цілі компанії.

Таким чином, стратегія (сильні сторони – можливості): щоб використовувати можливості, які відповідають сильним сторонам компанії, система Harper акцентувала увагу на силі прийняття рішень щодо впровадження, розробки та вивчення нових технологій за стратегічними сферами, що може допомогти компанії отримати вигоду від таких можливостей, як покращення бренду та конкурентна перевага перед нашими конкурентами.

Стратегія WO (слабкі сторони – можливості): подолайте слабкі сторони, щоб добре використовувати можливості. Наприклад, такі недоліки, як обмежений бюджет на навчання та дослідження, які можна подолати за допомогою наших можливостей щодо відкриття нових ринків та нових клієнтів.

Стратегія ST (сила – загрози): щоб використовувати цю стратегію, ми повинні вміти долати загрози, використовуючи сильні сторони компанії. З нашою компанією ми можемо спостерігати обмежену взаємодію між сильними сторонами та загрозами. Як бачимо, ми можемо використовувати лише переважне використання цифрової автоматизації для подолання загрози розвитку алгоритмів роботи з виробничими даними.

Стратегія WT (слабкі сторони – загрози) – тут ми бачимо взаємодію між деякими слабкими сторонами, особливо ми бачимо загрозу кібертероризму та злому, які можуть сильно вплинути та погіршити слабкі сторони.

5.4 План розвитку продукту та послуг

5.4.1 Опис відповідно до обраної методики

Вибираючи правильну методологію для нашого плану розвитку продукту, ми виходили з того факту, що наша головна ідея — створити стартап-компанію. На малюнку нижче показано основну схему структури нашого плану розвитку.

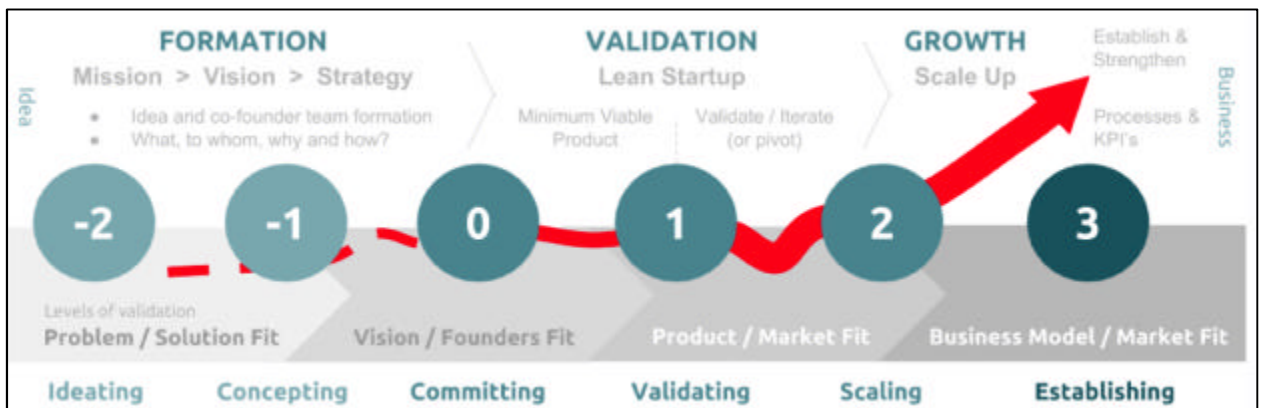


Рисунок 5.3 – Основна схема етапів розробки стартапу

Source: <https://www.startupcommons.org/startup-development-phases.html>

Як бачимо, існує 3 основні фази розвитку стартап-проекту. До них належать:

1. Формування
2. Валідація
3. Зростання

На етапі формування в основному передбачається генерація ідеї, формування команди співзасновників і формування конкретної стратегії для реалізації проекту, в якій ми вирішуємо, що потрібно зробити, хто це буде робити, як це буде робити тощо.

Наступним етапом є етап перевірки, де ми виробляємо мінімально життєздатний продукт і перевіряємо цю концепцію на основі ітераційного методу.

Нарешті, на основі результатів перевірки, якщо здається, що проект рухається в правильному напрямку, стартап продовжує реалізацію ідей на місцях і швидко масштабування операцій, включаючи збільшення клієнтів, збільшення продажів і збільшення доходу.

5.4.2 Короткий опис

Стратегія полягає в тому, щоб почати як невелика група з максимум 3-4 партнерів-засновників. Крім нас двох, нам потрібно буде шукати людей, які готові працювати без оплати деякий початковий період. Це в основному

являє собою часові рамки, доки компанії вдасться отримати достатнє початкове фінансування, щоб мати можливість виплачувати зарплату.

З цією невеликою групою ми звернемося до великих компаній у складському секторі з пропозицією. Ідея полягає в тому, щоб забрати наявні записи камер відеоспостереження складу у компаній і використати його для створення прототипу програмного забезпечення AI.

Коли цей прототип буде виготовлено, продемонструємо його в дії. За допомогою цієї демонстрації зможемо переконати деякі з цих компаній профінансувати проект.

Після того як початкове фінансування буде забезпечено, почнемо працювати над остаточною поставкою продукту. Проект буде поділено на етапи, і ми продовжимо поступово додавати додаткові функції в ШІ. На кожному етапі будемо тестувати його на стороні нашого клієнта та включати відгуки на наступних етапах. Розглядаємо близько 6 спринтів для підготовки нашого першого продукту.

До 5-го спринту матимемо достатню довіру до продукту, щоб почати маркетинг продукту через різні канали.

Завдяки маркетингу продукту ми зможемо залучити більше клієнтів.

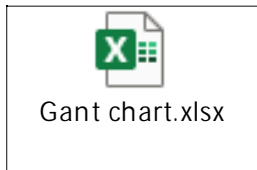
На цьому етапі розглянемо найм нових людей у компанію, і замість консультації з ШІ найматимемо спеціальний персонал для розвитку ШІ. Приблизно на цьому етапі розпочнемо розробку нового штучного інтелекту для будівельного сектора, який також є дуже схильним до аварій.

Після підтвердження продукту швидке масштабування операцій, за рахунок програм прискорення запуску, такими як SPIN Lab.

Після 2024 року створення спеціальної групи досліджень і розробок, для дослідження нових областей застосування штучного інтелекту в галузі безпеки. Хронологічний вигляд цього плану представлено на діаграмі Ганта нижче.

5.4.3 Діаграма Ганта

На основі опису діяльності в розділах 6.1 і 6.2 ми підготували діаграму Ганта, щоб надати наочне відображення нашого плану. Крім того, план також містить рядки для оновлення фактичного статусу кожного виду діяльності. Це допомагає відстежувати діяльність. Діаграма Ганта додається на аркуші Вбудований Excel нижче. Крім того, на вкладній сторінці надається знімок того самого.



Вкладений файл Excel Діаграма Ганта

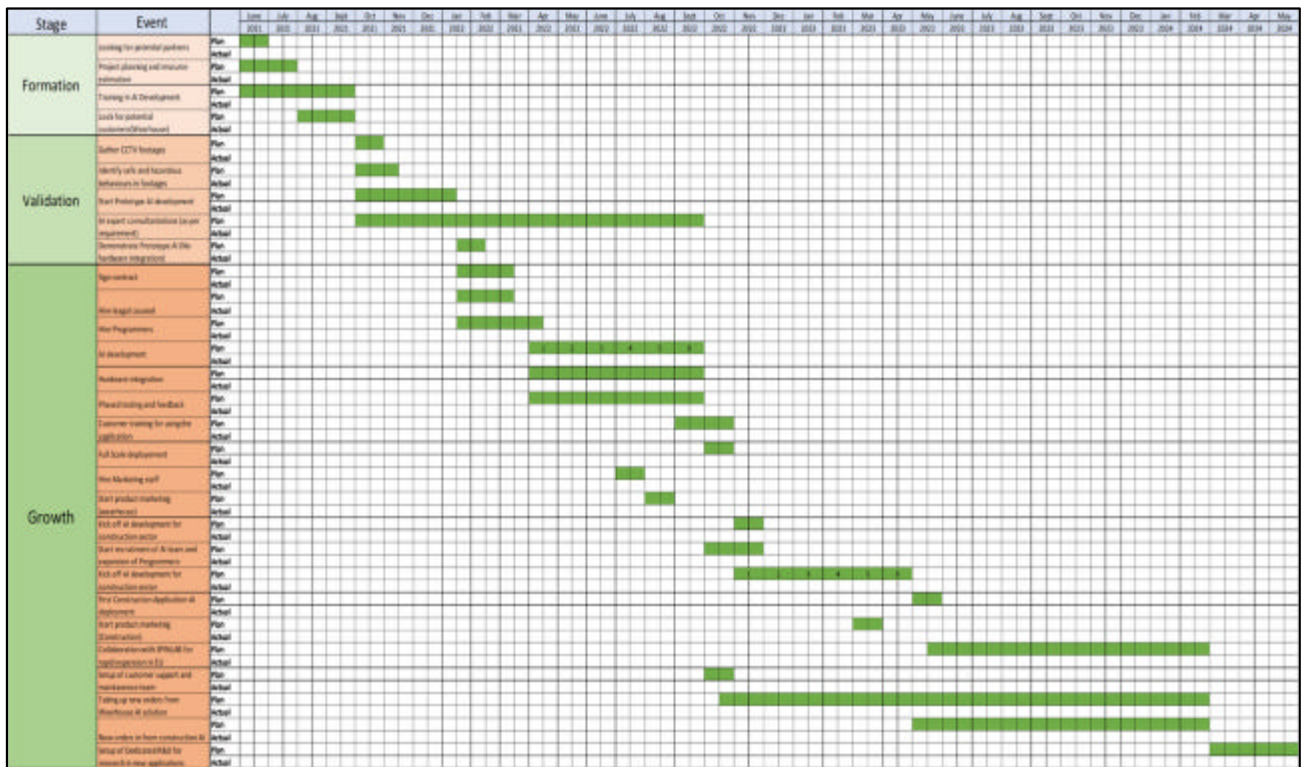


Рисунок 5.3 – Діаграма Ганта, що описує план і фактичний статус різних фаз проекту

5.5 Право інтелектуальної власності

Що стосується прав інтелектуальної власності, то існує 4 різні способи захисту прав на інтелектуальну власність компанії. До них належать.

- Комерційна таємниця
- Патенти
- Авторські права
- Торгові марки

Стратегія IPR Harpu

Щоб забезпечити майбутнє ідеї, Harpu захищатиме права інтелектуальної власності за допомогою комбінації патентів, авторських прав і торгових марок.

Патент

Ми виконали патентний пошук за допомогою Google Patents і спробували перевірити наявність патентів з такими ключовими словами, як «окуляри AR» та «безпека». Під час пошуку нам вдалося знайти патент у цій області.

Таблиця 5.2 – Результати патентного пошуку

S.no	Номер патенту	Тема патенту	Відмінність від нашого патенту
1	CN107427389B	Система зварювальних шоломів із доповненою реальністю та опосередкованою реальністю	Область застосування різна
2	CN104919507A	Для системи та методу гри з доповненою реальністю	Для ігрового додатка
3	US10685494B2	Носимий дисплей для використання з інструментом	Контроль і перевірка стану інструментів майстерні за допомогою носимого дисплея
4	US9335764B2	Кабіна віртуальної та доповненої реальності та системи оперативного керування	Зона застосування безпілотних літальних апаратів
5	US10555112B2	Адаптивний дисплей на голові	Патент Microsoft на окуляри AR

На основі цього пошуку патентів ми можемо зробити висновок, що ми

можемо подати патент, який описує Систему з AI для виявлення та попередження про загрози безпеці за допомогою окулярів AR.

Авторські права

Програмна система штучного інтелекту, яку ми розробляємо для системи Harry, підпадає під дію авторських прав.

Як правило, авторське право не вимагає спеціальної реєстрації, і коли хтось створює програмне забезпечення, мистецтво тощо, він автоматично отримує авторські права. Однак мати можливість вимагати це в суді. Авторське право має бути зареєстроване. Тому ми розглянемо реєстрацію авторських прав.

Торгові марки

Як і авторські права Торгові марки не потребують реєстрації. Однак реєстрація торгової марки завжди забезпечує додатковий захист. Для нашої компанії ми можемо розглянути можливість реєстрації торгової марки на назву „Harry System”.

5.6 Управління ризиками Harry

Harry's system Risk management

RISK ID	RISK DESCRIPTION	RISK DESCRIPTION	REFERENCE	IMPACT DESCRIPTION	BEFORE CONTROLS			WHAT CONTROLS EXIST AND HOW DO THEY ADDRESS THE RISK?	AFTER CONTROLS			ACTION	ONE OWNER OF RISK	RISK ACTION BEGAN	OWNER	TARGET CLOSING DATE
					IMPACT LEVEL	PROBABILITY LEVEL	RISKY LEVEL		IMPACT LEVEL	PROBABILITY LEVEL	RISKY LEVEL					
RIS-IC-NO-1	Low level summary of the risk.	Average from step-on-in matrix	Not ongoing or only one time?	What is the impact if the risk is not mitigated or addressed?	5 (3) (in 3 years)	3 (3) (in 3 years)	15 (3) (in 3 years)	If the risk can be addressed or mitigated by existing controls, it remains. Otherwise, it remains.	5 (3) (in 3 years)	1 (3) (in 3 years)	3 (3) (in 3 years)	What are the actions to be taken to mitigate or reduce the risk?	Owner from step-on-in matrix	Review	Marketing department	31/01/20
RIS-IC-NO-2	Package doesn't go to plan. Huge number of mistakes that can get wrong. Changing a label will only change a label and may not be the right way through the process.	Comprehensive video analysis & all comments based on the careful monitoring of features on numbers that produced the relevant aspects of the package for the task of label.	ON-TO-BE	AI will not be able to identify and address human errors in packages.	5	4	20	The training of artificial intelligence algorithms to improve video recognition.	5	2	10	The use of deep learning technology specifically of some by some package classification.	Short	08/01/21	Programmer	12/01/21
RIS-IC-NO-3	Lack of technical knowledge when it comes to AI.	Only AI specialists, currently, having or creating data regarding all the packages.	ON-TO-BE	Harry's system will not be able to function properly.	3	3	9	The company machine specialists identify the root causes in the deployment process.	3	2	6	Select human resources who will help the system with return on in tracking or identifying AI/ML solutions.	Individual	02/01/20	Development team	01/01/20
RIS-IC-NO-4	Hardware integration error.	Clear communication detailing between the AI model and the glasses.	ON-TO-BE	Harry's system will be less effective.	2	3	6	Increasing external partners have enabled more data for and process capabilities.	2	2	4	Clear corporate data to make it ready to create a "garbage in, garbage out" scenario.	Individual	02/01/20	Development team	01/01/20
RIS-IC-NO-5	Testing of AI systems is full time of challenges due to the massive volume of data gathered during development events.	1. Reduce volume of irrelevant data (also presents change and analysis challenges in addition to creating many datasets). In AI systems, the data gets amplified, making it extremely hard to fix any dataset problem.	ON-TO-BE	The ability of detecting errors will be limited by the amount of package that have been processed.	4	3	12	It is important that the AI can alert the human when it is not confident about its decision.	4	1	4	"AI knowledge situation", where human and machine could interact to make sure that gaps aren't left unfilled. In fact, it is in machine when artificial intelligence that is slowly emerging to a particularly efficient use.	Long	02/01/20	Development team	01/01/20
RIS-IC-NO-6	Customer training problem.	Customer training problem of understanding how to use the application.	ON-TO-BE	The customer ends up not satisfied because he cannot benefit of all the features provided by Harry's system.	3	2	6	One of the simplest and most effective ways to identify problems with the customer is by asking the customer.	3	1	3	Encourage Reviews and then Returning Customer.	Long	01/01/20	Marketing department	12/01/20
RIS-IC-NO-7	Product marketing text.	Risk with the price of your product not fitting Harry's target segment.	ON-TO-BE	There can be opportunities due to the exclusivity in price to reach niche sales.	2	2	4	Re-evaluate your target buyer and your market segment.	2	1	2	Organize Harry's system to then analyze what has been done to sell your products or services.	Long	01/01/20	Marketing department	12/01/20

Рисунок 5.4 – Управління ризиками Harry

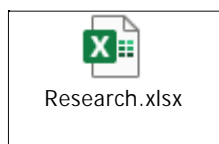
5.7 Фінансовий аналіз

Фінансовий аналіз – це метод дослідження фінансової звітності компанії для визначення її фінансового стану. Мета фінансового аналізу – надати бізнесу інформацію, необхідну для прийняття обґрунтованих рішень. Він аналізує історію та прогнозує майбутній успіх компанії. Усі зацікавлені сторони компанії вивчають фінансову звітність, а компанія може вивчати результати та шукати сфери невикористаного потенціалу. Це також може допомогти компанії визначити потенційні фінансові ризики. А також збільшення шансів компанії на успіх.

5.7.1 Аналіз прибутків і збитків

Для підготовки аналізу прибутків і збитків ми вибрали період з 2021 по 2024 рік. Ми припустили приблизні цифри продажів. Для таких параметрів, як зарплата, орендна плата, комунальні послуги та податки, відповідні дані були використані на основі поточних середніх цін у Польщі. Для оренди та зарплати ми використовували поточні ціни як базові значення та припускали зростання на 10% у річному обчисленні. Ставка податку була прийнята як 9% і 19% залежно від погоди, загальний дохід нижче або вище 2 мільйонів євро. Розглянуті витрати пов'язані з тривалістю діяльності на основі діаграми Ганта в розділі 6.3.

Детальне дослідження та основа для визначення кожного з цих значень представлені на вбудованій таблиці Excel нижче.



Ми використали ці дані, і в таблиці нижче показано аналіз прибутків і збитків.

Таблиця 5.3 – Аналіз прибутків і збитків.

Harpy's corporation				
Звіт про прибутки та збитки (P&L).				
Euros €				
Years	2021	2022	2023	2024
Гарпія w Блок проданий	-	2.0	4.0	6.0
Гарпія ш дохід	-	400,000.0	800,000.0	1,700,000.0
Гарпія с Продано		0.3	2.8	4.0
Гарпія с доходом	-	50,000.0	550,000.0	800,000.0
Фінансування SEP	5,000.0	-	-	-
Загальний чистий дохід	5,000.0	450,000.0	1,350,000.0	2,000,000.0
Вартість проданих товарів	-	33,750.0	101,250.0	150,000.0
Загальний прибуток	5,000.0	416,250.0	1,248,750.0	1,850,000.0
Витрати				
Реклама та просування	-	45,000.0	198,000.0	216,000.0
Обладнання	10,000.0	22,500.0	67,500.0	100,000.0
Страховання	-	22,600.0	29,500.0	45,500.0
Технічне обслуговування	-	2,500.0	3,000.0	5,000.0
Офісне приладдя	-	7,000.0	4,600.0	7,000.0
Оренда	-	26,000.0	30,000.0	52,000.0
Зарплата, пільги та заробітна плата	-	81,000.0	138,600.0	260,000.0
Подорожі	300.0	7,000.0	25,000.0	35,000.0
Комунальні (входять в орендну плату)	-	-	-	-
Інші витрати 1	-	22,000.0	27,000.0	37,000.0
Загальні витрати	10,300.0	235,600.0	523,200.0	757,500.0
Прибуток до сплати відсотків і податків	(5,300.0)	180,650.0	725,550.0	1,092,500.0
Витрати на сплату відсотків	-	-	-	-
Прибуток до сплати податків	(5,300.0)	180,650.0	725,550.0	1,092,500.0
Податки на прибуток	-	16,258.5	65,299.5	302,575.0
Чистий прибуток/збиток	(5,300.0)	164,391.5	660,250.5	884,925.0

На основі вищезгаданого звіту про прибутки та збитки ми бачимо, що

за перший рік загальний збиток становив 5300 євро. Цю суму мають нести засновники. Протягом решти років ми можемо спостерігати зростання рівня прибутку, що є позитивним знаком.

5.7.2 Аналіз чутливості

У цьому розділі ми представляємо аналіз чутливості стартапу. В основному функція аналізу чутливості полягає в тому, щоб зрозуміти вплив змін таких параметрів, як прогноз збуту, ціна продажу товару тощо, на очікуваний прибуток компанії. У нашому аналізі ми взяли три фактори для аналізу чутливості. тобто ціна продажу, загальні витрати та прогноз продажів,

Припускаємо зміну кожного з цих значень на 10% і бачимо вплив на загальний прибуток.

Таблиця 5.4 – Відпускна ціна

Рік	2021	2022	2023	2024
Прибуток на основі поточної ціни продажу	(5,300.0)	164,391.5	660,250.5	1,289,925.0
Прибуток після зниження 10%.	(5,300.0)	123441.5	537400.5	722925
Відсоткова зміна прибутку	0	-24.91%	-18.61%	-18.31%

Отже, ми бачимо, що при зниженні ціни продажу на 10 відсотків маржа прибутку зменшується в діапазоні від ~18 до 25 відсотків. Перший рік є нечутливим через відсутність продажів у цьому році. Тоді як другий рік має найвищу чутливість, що в основному пояснюється більшою часткою інших витрат порівняно з іншими роками.

5.7.3 Загальні витрати

Подібно підходу, використаному в останньому розділі, ми збільшуємо загальні витрати на 10 % і бачимо вплив на прибуток.

Таблиця 5.5– Загальні витрати Відпускна ціна

Рік	2021	2022	2023	2024
Прибуток на основі поточних витрат	(5,300.0)	164,391.5	660,250.5	1,289,925.0
Прибуток після збільшення на 10%.	(6,330.0)	142,951.9	612,639.3	823,567.5
Відсоткова зміна прибутку	-19.43%	-13.04%	-7.21%	-6.93%

Тут ми бачимо, що чутливість мінлива і максимальна у випадку першого року. Однак чутливість поступово зменшується, оскільки дохід продовжує зростати. Це можна пояснити тим, що спочатку витрати переважають над доходами, тому ми спостерігаємо більшу чутливість. Зі збільшенням виручки відбувається пропорційне зменшення витрат порівняно з прибутком.

5.7.4 Прогноз продажів

Знову ж таки, при 10-відсотковому зниженню обсягу продажів і бачимо вплив на прибуток.

Таблиця 5.6 – Прогноз продажів

Рік	2021	2022	2023	2024
Прибуток на основі поточного обсягу продажів	(5,300.0)	164,391.5	660,250.5	1,289,925.0
Прибуток після зниження 10%.	(5,300.0)	126,512.75	546,614.25	735,075
Відсоткова зміна прибутку	0.00%	-23.04%	-17.21%	-16.93%

Отже, при зменшенні обсягу продажів на 10 відсотків маржа прибутку зменшується в діапазоні від ~17 до 23 відсотків. Перший рік є нечутливим через відсутність продажів у цьому році. Тоді як другий рік має найвищу чутливість, що в основному пояснюється більшою часткою інших витрат порівняно з іншими роками.

5.7.5 Інтерпретація

На основі результатів аналізу прибутків і збитків у розділі 10.1 та подальшого аналізу чутливості можна зробити наступні ключові висновки:

- По-перше, бізнес має потенціал для отримання прибутку та беззбитковості протягом перших двох років. Однак слід зазначити, що ми припускаємо, що компанія може знайти відповідних клієнтів з галузі, щоб мати можливість продавати продукт.

- По-друге, ми бачимо, що перший рік компанія має негативний баланс. Це означає, що можуть знадобитися додаткові кошти у вигляді позики, особистих інвестицій, позик у членів сім'ї, щоб дати початковий поштовх компанії.

- Ми також бачимо, що прибуток компанії дуже чутливий до коливань відпускної ціни та обсягів продажів, особливо в 2022 році. Тому ми повинні приділяти дуже пильну увагу контролю за цими факторами протягом перших двох років. якщо компанія зможе пережити цей етап, фінансові ризики з точки зору чутливості показують негативну тенденцію, що є позитивною ознакою, і паралельно прибуток також помітно зросте за перші два роки.

- Нарешті, глибоко вивчивши причини підвищеної чутливості у 2022 році, можна запропонувати деякі виправні заходи, які можуть допомогти пом'якшити цей ризик. Більш глибокий аналіз показує, що частка операційних витрат у 2022 році є досить високою. Це означає, що якщо ми працюємо над контролем витрат, то можна значно зменшити ризик.

- Одним із способів контролювати витрати є просто уникати оренди офісних приміщень і замість цього працювати з дому. Крім того, ми могли б взяти приклад у деяких стартапів в Індії, яких я особисто знаю. Вони

використовують той факт, що деякі кав'ярні, як-от «Café Coffee Day», дозволять вам сидіти цілий день, якщо ви щось замовляєте, тож ви буквально купуєте лише одну чашку кави і сидите там, нічого не платячи, і на додаток до цього отримуєте користуватися Інтернетом безкоштовно.

5.8 Фінансові цілі

5.8.1 Збільшення початкового капіталу

Щоб розпочати проект створимо доказ концепції, за допомогою якого ми зможемо реалізувати проект у невеликому масштабі у виробничій комірці. Завдяки цьому підтвердженню концепції ми передаємо ідеї лідерам галузі для фінансування нашого проекту. Крім того, розглядаємо інші канали, як-от банківські позики, підтримку від програм фінансування ЄС для стартапів, як-от клуб Startup Europe та фонд Startup Europe. Мета цього етапу – зібрати 5000-11000 євро для покриття витрат на 2022 рік.

5.8.2. Забезпечення плавного грошового потоку.

У 2021 році компанія буде складатися тільки з засновників, і працюватиме без зарплати, однак для розробки підтвердження концепції потрібно інвестувати в обладнання, як окуляри AR, камери Т.Д. Це має покриватися за рахунок початкових зібраних коштів . На 2022 рік і на наступний рік ми почнемо наймати персонал і потребуємо офісного приміщення. Для покриття цього ми повинні забезпечити регулярний грошовий потік до компанії. На малюнку нижче показано цільовий та мінімальний грошовий потік, необхідний для підтримки компанії на плаву.



Римунок 5.5 – Місячний грошовий потік Цілі для компанії

Щоб забезпечити стабільний потік готівки, наша стратегія полягає в тому, щоб стягувати 25% вартості кінцевого продукту наперед. Для кожного замовника проект буде доставлено в 6 кроків. А в кінці кожного парного кварталу стягуються наступні 25% платежі.

5.8.3 Збільшення продажів

Для стабільного зростання компанії нам необхідно продовжувати додавати клієнтів і нові сегменти. У таблиці нижче показано цільову кількість продажів компанії на період 2022-2024 рр. У таблиці нижче показано цільові продажі Harpu Warehouse System™ та Harpu Construction System™ за цей період.

Таблиця 5.7 –Цілі продажів для Harpu W і Harpu C

	2022	2023	2024
Harpu Warehouse System™	2	4	6
Harpu Construction System™,	1	2	4

5.9 Операційні та стратегічні цілі

5.9.1. Розробити доказ концепції

Причина підготовки доказу концепції має дві цілі. По-перше, це пом'якшує будь-які занепокоєння потенційних фірм-замовників щодо ефективності та застосування того, що ми продаємо. По-друге, оскільки

‘POC’ є прототипом, він вимагає набагато менше інвестицій, і ми можемо бути впевнені, чи можна продати проблему, яку ми намагаємося вирішити.

Метою розробки ‘POC’ компанії є перша половина січня 2022 року.

5.9.2 Розширення на нові сектори

На малюнку 5.6 показана мета секторального розширення для корпорації Harpy з 2021 по 2023 рік. В основному ми орієтуємося на будівельний сектор і складську секцію в цей період. У 2024 році ми хочемо створити спеціальний відділ досліджень і розробок, який займатиметься розробкою нових рішень AI для нових секторів.

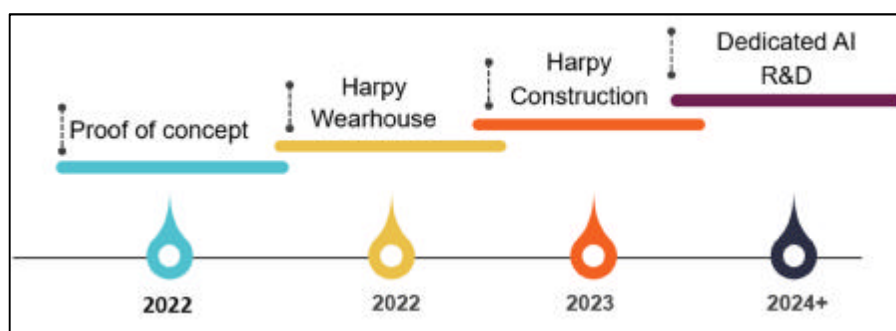


Рисунок 5.6 – Хронологія входу в нові сектори.

5.9.3 Розширення в ЄС та за його межами

Після закінчення початкової 2-річної фази, яка включатиме надання наших послуг нашим початковим клієнтам, ми з нетерпінням чекаємо розширення нашої клієнтської бази на інші країни ЄС. Для швидкого розширення та масштабування ми можемо скористатися підтримкою деяких ініціатив стартап-клубу ЄС, наприклад SPINLAB.



Рисунок 5.7 – Карта розширення корпорації Harpu

Наша мета — розширити нашу діяльність у великих промислових центрах ЄС, таких як Німеччина, Італія, Франція та Іспанія. Ми плануємо досягти цієї мети протягом наступних 5 років. На карті вище зображені основні потенційні місця для розширення проекту Harpu. На основі успіху в ЄС ми пізніше розглянемо можливість розширення на інші потенційні ринки, такі як Азія, Африка та Америка.

5.10 Висновок аналізу фінансових цілей проекту

У цьому розділі ми досліджували доцільність впровадження проекту із застосування технології для запобігання травмам і порятунку людських життів у галузі. Під девізом «Нульові аварії» ми досліджували бізнес-ідею використовувати комбінацію технологій штучного інтелекту та AR для створення системи, яка попереджає користувачів про потенційні загрози під час роботи у небезпечних і схильних до аварій виробництвах.

На початку проекту ідея полягала в тому, щоб розробити універсальний AI, який міг би функціонувати в багатьох промислових середовищах. Однак, беручи до уваги поточні обмеження штучного інтелекту та значні зусилля, необхідні для його розробки, ввели початкові обмеження за двома найважливішими сферами застосування, а саме: складом і будовою.

Провели опис основних складових елементів продукту, а потім до детального вивчення поточного аналізу ринку. На основі аналізу ринку зроблено висновок, що ідея не має прямої конкуренції на ринку. Тому, щоб зрозуміти потенційні можливості зростання, проаналізовано тенденції та прогнози в подібних технологіях. З цього дослідження ми зробили висновок, що цей сектор, за прогнозами, зростатиме в геометричній прогресії в найближчі 5-7 років, майже подвоюючи щороку.

Враховуючи цей потенціал на ринку, ми приступили до проведення swot-аналізу компанії та розробили детальний план розвитку компанії, а отже, і продукту. Також коротко торкнулися прав інтелектуальної власності і на основі нашого обмеженого патентного пошуку ми змогли розпізнати потенціал для патентування нашої ідеї. Необхідно провести більш глибокий та інтенсивний патентний пошук, і отримати патент на цю ідею.

В останніх розділах ми провели аналіз ризиків, де визначили деякі критичні фактори ризику та розробили детальний план пом'якшення для кожного з ризиків. Розроблено фінансовий аналіз стартапу. Для цього аналізу використали фактичні дані з кількох джерел, щоб точно записати кожну витрату. Для таких деталей, як поточна середня заробітна плата, щорічне зростання заробітної плати та орендної плати тощо. Виходячи з фінансового аналізу та чутливості визначили потенціал ідеї запуску та деякі додаткові ризики, для яких також були запропоновані додаткові дії щодо пом'якшення.

Виходячи з досліджень проведених у цьому проекті, а також з огляду на поточні компетенції, проект має позитивні перспективи розвитку і дає можливість реалізації цієї ідеї.

6 БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ, ОХОРОНА ПРАЦІ

6.1 ОХОРОНА ПРАЦІ

Законодавство України покладає на всіх роботодавців обов'язок щодо забезпечення безпечних і нешкідливих умов праці. Витрати на охорону праці на підприємстві згідно зі ст. 19 Закону «Про охорону праці» повинні становити не менше 0,5% від фонду оплати праці за попередній рік, а за невиконання законодавства про охорону праці до підприємства можуть бути застосовані санкції аж до заборони його експлуатації.

Створення служби охорони праці.

Згідно зі ст. 15 Закону «Про охорону праці» така служба обов'язково повинна бути створена на підприємстві з кількістю працюючих 50 і більше осіб у відповідності з Типовим положенням про службу охорони праці, затвердженому наказом Держкомітету з нагляду за охороною праці від 17.11.2004 р. № 257. На підставі цього документа також має бути розроблено Положення про службу охорони праці цього підприємства, визначено структуру такої служби, її чисельність, основні завдання, функції та права її працівників. Крім того, повинні бути затверджені посадові інструкції посадових осіб служби, що визначають їх обов'язки, права та відповідальність за виконання покладених на них функцій.

На підприємствах з кількістю працівників менше 50 чоловік функції служби охорони праці можуть виконувати в порядку сумісництва (суміщення) особи, які мають відповідну підготовку. А на підприємствах з кількістю працівників менше 20 для виконання функцій служби охорони праці можуть на договірних засадах залучатися сторонні фахівці, які мають не менше трьох років виробничого стажу і пройшли навчання з охорони праці.

Розробка та затвердження на підприємстві положення, інструкцій та інших актів з охорони праці.

Обов'язок роботодавця за твердженням таких документів передбачений в ст. 13 Закону «Про охорону праці». Вони повинні встановлювати правила виконання робіт і поведінки працівників на території підприємства, у виробничих приміщеннях, на будівельних майданчиках і робочих місцях. Інструкції та інша документація з охорони праці розробляються на підставі положень законодавства з охорони праці, типових інструкцій та технологічної документації підприємства з урахуванням виду діяльності підприємства і конкретних умов праці на ньому.

При проведенні вимірювань користуватись інструкцією з охорони праці при виконанні вимірювань в електроустановках напругою до 1000В електровимірювальними приладами

6.1.1 Загальні положення по охороні праці

Дані положення по охороні праці розроблені на підставі:

Положення про розробку інструкцій з охорони праці ДННОП 0.00-4-15-98. Наказ Держ. нагляд охорони праці №9 від 29.01.98р.

Правил безпечної експлуатації електроустановок.

Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів.

Положення про "Навчання, інструктаж і перевірку знань працівників підприємств і організацій Міненерго України з питань охорони праці та експлуатації обладнання".

Правил безпеки при роботі з інструментами та пристосуваннями.

Правил застосування і випробування засобів захисту, що використовуються в електроустановках

Інструкції з надання першої допомоги потерпілому в зв'язку з нещасним випадком при обслуговуванні електричного обладнання.

До робіт по виконанню вимірювань електровимірювальними приладами в електроустановках напругою до 1000В допускаються особи, які у встановленому порядку пройшли медичний огляд, вступний і первинний інструктажі, навчання, перевірку знань з ПБЕЕ, ПБЕЕС, ПУЕ, ПТЕ, ППБ,

ПЕЕЗ ПЕРШ, керівництва з експлуатації електровимірювальних приладів та даної інструкції.

Особи, що не досягнули 18-річного віку, не пройшли навчання та перевірку знань до роботи не допускаються.

Працівники служб енергозбуту, допущені до вимірювальних робіт електровимірювальними приладами в електроустановках до 1000 В, несуть повну відповідальність за виконання вимог даної інструкції та інших чинних нормативних документів.

Працівники повинні вміти звільняти потерпілого від дії електричного струму, надавати долікарську допомогу в разі одержання потерпим електротравм, переломів, вивихів, укусів тварин, забоїв, опіків, обморожень, отруєнь тощо.

Забороняється проведення вимірювань у випадку наближення та проходження грози.

Роботи по виконанню вимірювань електровимірювальними приладами відносяться до робіт під напругою і проводяться за розпорядженням двома працівниками з групою Ш. Забороняється самовільне виконання робіт, а також розширення робочого місця, визначеного розпорядженням.

Основними небезпечними факторами при проведенні вимірювальних робіт є:

- наявність робочої напруги на струмовідних частинах;
- поява електричної дуги при коротких замиканнях в колах вимірювання;
- підвищена напруга у вторинних колах трансформаторів струму при випадковому розмиканні (обриві) вторинного кола;
- падіння з висоти при порушенні вимог безпеки під час виконання вимірювань на висоті

6.1.2 Вимоги безпеки перед початком робіт

При виконанні вимірювання електровимірювальними приладами (далі-приладами) в електроустановках, що належать установі, розпорядження на безпечне виконання робіт віддається керівниками або спеціалістами

установи, які мають право давати такі розпорядження. Роботи виконуються двома працівниками енергопостачальника з групою Ш.

При виконанні вимірювання приладами в електроустановках споживача розпорядження безпечно виконання робіт віддається електротехнічними працівниками споживача, які мають право давати розпорядження. В електроустановках споживачів роботи з вимірювання приладами може виконувати один працівник установи з групою Ш у супроводі оперативного працівника електроустановки споживача з групою Ш.

На виконання робіт з вимірювань в електроустановках споживачів, які не мають обслуговуючого персоналу, розпорядження віддається керівниками або спеціалістами установи, які мають право давати розпорядження. Роботи виконуються двома працівниками енергопостачальної організації з групою Ш.

Роботи по розпорядженню слід реєструвати у "Журналі обліку робіт за нарядами і розпорядженнями".

В електроустановках без місцевого оперативного персоналу у тих випадках, коли допуск на робочому місці не потрібний, допуск до роботи здійснюється керівником робіт.

Перед початком вимірювань приладами необхідно відгородити розташовані поблизу робочого місця струмовідні частини, що перебувають під напругою, до яких можливий випадковий дотик.

Забороняється працювати в одязі з короткими або закоченими рукавами. Рукави повинні бути застібнуті біля кисті рук.

Керівник роботи повинен оглянути стан приладів, інших засобів захисту, звернувши увагу на стан ізоляції, відсутність тріщин і сколів ізоляції на приладах трансформаторів струму, на корпусі та інших частинах приладу. Необхідно також оглянути стан ізоляції щупів, які поставляються разом із приладами. Щупи можуть бути замінені тільки на такі ж, або на інші з тими ж електричними параметрами.

Для вимірювань слід застосовувати кліщі з приладом, що встановлений

на їх робочій частині. Використання кліщів з винесеним приладом забороняється.

Працівників, що проводять вимірювання, при допуску до роботи інструктує керівник робіт з питань безпечного проведення роботи, використання приладів, технології проведення вимірювань.

Без інструктажу допускати працівників до роботи забороняється.

Забороняється допуск до роботи працівників з ознаками алкогольного або наркотичного оп'яніння, хворих.

Перед підняттям на драбину, вона повинна бути ретельно перевірена.

Використання металевих несправних драбин та інших несправних засобів підняття на висоту і виконання вимірювань з них категорично забороняється.

Кожен працівник зобов'язаний виконувати вимоги даної інструкції, інших нормативних документів з охорони праці, а також інструктивні вказівки, отримані під час допуску до роботи.

6.1.3 Вимоги безпеки під час роботи

Вимірювання можна проводити лише на ділянках шин, конструктивне виконання яких, а також відстань між стумовідними частинами різних фаз і між ними та заземленими частинами - виключають можливість електричного пробоя між фазами або на землю через зменшення ізоляційних відстаней за рахунок робочої частини кліщів.

Вимірювання приладами на шинах слід виконувати, стоячи на підлозі в діелектричних калошах, ботах або на ізольованій підставці чи на гумовому діелектричному килимку.

Під час роботи з електровимірювальними приладами, показниками напруги допускається наближення людини до струмовідних частин на відстань, визначену довжиною їхньої ізольованої частини.

В темний період доби або в темних місцях ділянки робіт, робочі місця, підходи до них слід освітлювати. Забороняється працювати в неосвітлених місцях.

Під час пофазного вимірювання струмів з допомогою кліщів у разі горизонтального розташування фаз необхідно перед проведенням вимірювань обгородити кожен фазу ізолюючою прокладкою. Вказані операції проводяться в діелектричних рукавичках.

Кліщі необхідно тримати у висячому положенні. Забороняється схилитися до приладу під час відліку показів.

У випадку роботи з приладами, коли можливе випадкове доторкання до струмопровідної частини при заведенні кліщів трансформатора струму за шину, необхідно користуватися діелектричними рукавичками.

Під час проведення вимірювань забороняється торкатися приладу, проводів, вимірювальних трансформаторів.

Коли прилади приєднані до кола, що перевіряється, забороняється доторкатися до гнізд, що не використовуються.

Якщо порядок величин, яка перевіряється заздалегідь невідомий, то розпочинати перевірку слід з найбільшої межі вимірів.

Перед поверненням перемикача границь вимірів необхідно вимкнути щупи від кола, що перевіряється.

6.1.4 Вимоги безпеки після закінчення роботи

Прибрати робоче місце, вивести працівників з електроустановки, виконати запис в журналі про закінчення робіт за розпорядженням.

Про всі виявлені недоліки та зауваження, порушення нормального режиму роботи електроустановки негайно повідомити чергового диспетчера установи або відповідального за електрогосподарство споживача.

6.1.3 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

Якщо під час роботи виникає аварійна ситуація, то роботи по вимірюванню необхідно негайно припинити, зняти напругу з робочої ділянки електромережі. Повідомити про це чергового диспетчера установи, а в електроустановках споживача відповідальний персонал споживача. Працівників з електроустановки вивести в безпечне місце.

При виникненні короткого замикання в лічильнику, загорянні вторинної

комутації, необхідно негайно зняти напругу шляхом вимкнення ввідного комутаційного апарату (автоматичного вимикача, рубильника, зняття запобіжників), застосовуючи захисні засоби та дотримуючись вимог техніки безпеки.

При виникненні пожежі необхідно вжити заходів по запобіганню поширення пожежі, викликати пожежну охорону, повідомити про пожежу чергового диспетчера установи, а в електроустановках споживача - відповідальний персонал споживача і приступити до гасіння пожежі наявними засобами, дотримуючись вимог безпеки.

При попаданні людини під дію електричного струму необхідно негайно звільнити потерпілого від дії електричного струму шляхом вимкання електроустановки або її частини з допомогою наявних захисних засобів, дотримуючись вимог безпеки.

При наданні до лікарської допомоги необхідно діяти швидко, без будь-якої затримки, водночас вживши всіх заходів для виклику швидкої допомоги та повідомлення керівництва установи.

Надання до лікарської допомоги необхідно проводити безперервно до прибуття медичної допомоги.

У випадках легких травм та пошкодження або захворювання потерпілому необхідно забезпечити спокій, тепло і негайно відправити в лікарню, повідомити про випадок керівництво РЕМ.

Відповідальність

За невиконання вимог даної інструкції винні несуть дисциплінарну, адміністративну та кримінальну відповідальність.

6.2 БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.2.1 Залежність розмірів осередків ураження від маси продуктів вибуху, (СДОР), їхнього тиску, метеоумов, і місцевості.

В комплексі заходів протихімічного захисту населення важливе місце займає оцінка радіаційної та хімічної обстановки . Володіння її методикою є прямим обов'язком начальників цивільної оборони , командирів формувань ЦО.

При аваріях, пов'язаних з виробництвом, зберіганням та транспортуванням сильнодіючих отруйних речовин (СДОР), може виникнути складна хімічна обстановка з утворенням зон хімічного зараження (ЗХЗ) та осередків хімічного ураження (ОХУ). Небезпека ураження населення в цих умовах вимагає швидкого виявлення СДОР і оцінки хімічної обстановки , а також періодичного її уточнення ,оскільки метеоумови можуть постійно змінюватись.

Тому командно-начальницький склад і особовий склад невоєнізованих формувань ЦО об'єктів господарської діяльності (ОГД) повинен досконало володіти методикою оцінки хімічної обстановки.

Хімічна обстановка - це обстановка, яка складається на території адміністративного району, населеного пункту чи ОГД внаслідок викиду (вилливу) СДОР або застосування хімічної зброї, істотно впливає на життєдіяльність населення роботу ОГД, боєздатність формувань ЦО і вимагає вжиття необхідних заходів захисту.

Зона хімічного ураження включає ділянку розливу - територію, над якою поширюється первинна або вторинна хмара СДОР чи ОР в небезпечних для життя і здоров'я людей концентраціях . В зоні хімічного зараження може знаходитись один або більше осередків хімічного ураження. Осередок хімічного ураження - це територія, в межах якої внаслідок вилливу СДОР виникають масові ураження людей, сільськогосподарських тварин і рослин .ЗХЗ характеризується розмірами (глибиною і шириною) і площею , які

залежать від кількості СДОР (ОР), їх виду, метеоумов, рельєфу місцевості, наявності на ній рослинності, типу і щільності забудови. Хімічну обстановку на ОГД виявляють пости (ланки) радіаційного і хімічного спостереження (ПРХС) та на хімічно небезпечних об'єктах - черговий диспетчер, який у випадку аварії повідомляє робітників і службовців об'єкту і доповідає в штаб ЦО міста (району).

Оцінка хімічної обстановки проводиться методом прогнозування (завчасно, при розробці плану ЦО об'єкту) і за даними розвідки.

При оцінці хімічної обстановки методом прогнозування приймається умова одночасного розливу (викиду) всього запасу СДОР (воєнний час) або із максимальної по об'єму одиничної ємності (в мирний час) при сприятливих для розповсюдження зараженого повітря метеоумовах (інверсія, швидкість вітру 1м/с).

Оцінка хімічної обстановки за даними розвідки проводиться на основі конкретної обстановки, коли враховується фактична кількість вилитої СДОР і реальні метеоумови. Оцінка хімічної обстановки на ОГД передбачає:

- визначення розмірів і площі ЗХЗ;
- визначення часу підходу хмари зараженого повітря СДОР до об'єкту;
- визначення тривалості уражаючої дії СДОР;
- визначення можливих втрат населення в ОХУ.

Для оцінки хімічної обстановки необхідно мати такі вихідні дані:

вид і кількість СДОР; місце викиду СДОР; час викиду СДОР; ступінь захищеності людей (наявність захисних споруд, індивідуальних засобів захисту); топографічні умови місцевості і характер забудови на шляху розповсюдження хмари зараженого повітря (закрита чи відкрита місцевість); метеоумови; швидкість і напрямок вітру в приземному шарі, температура повітря і ґрунту, ступінь вертикальної стійкості повітря.

Розрізняють три ступені вертикальної стійкості повітря :

- інверсію - при ній нижні шари повітря холодніші за верхні, що перешкоджає переміщенню його по вертикалі і створює оптимальні умови

для збереження високих концентрацій отруйних речовин (виникає у вечірній і нічний час при тихій погоді і швидкості вітру до 4м/с);

– конвекцію - нижні шари повітря нагріті більше ніж верхні, що сприяє переміщенню повітря по вертикалі, а значить зменшенню її уражаючої дії
Виникає вдень, при ясній погоді і швидкості вітру до 4м/с);

– ізотермію - температура повітря межах 20-30м від земної поверхні майже однакова (спостерігається в похмуру погоду, при опадах або при швидкості вітру більше 4м/с, а також як перехідний період від інверсії до конвекції навпаки).

6.2.2 Оцінка хімічної обстановки

Оцінку хімічної обстановки можна проводити за формулами і таблицями складеними відповідно до основних видів СДОР.

Радіоелектронні підприємства є небезпечними об'єктами третього ступеня по хімічній безпеці, це означає, що зона зараження виходить за межі території об'єкту. В запасах даного об'єкту може бути нагромаджено до 150т соляної кислоти. Максимальний об'єм ємності становить 40т кислоти. Проведемо оцінку можливої хімічної обстановки в результаті руйнування 40-а тонної ємності соляної кислоти з чисельністю зміни 500 чоловік. На віддалі 1 км знаходиться житловий масив. Робітники і службовці протигазами забезпечені на 100%. Метеорологічні умови :

Інверсія : швидкість вітру -1м/с ; t=20С °; A°=270°. Потрібно :

Оцінити хімічну обстановку, яка може скластися внаслідок аварії на час після аварії N=1год;

Розв'язання:

Визначаємо глибину можливого зараження (Г) і площу зараження (S)
Визначаємо еквівалентну кількість речовини в первинній хмарі :

$$Q_1 = K_1 \times K_3 \times K_5 \times K_7 \times Q_0 \quad (T)$$

де $Q_0=40$ (т)

K_1 - коефіцієнт, який залежить від умов зберігання СДОР, $K_1=0$

K_3 -коефіцієнт рівний відношенню порогової токсодози соляної кислоти до порогової дози інших СДОР, $K_3=0.3$;

K_5 -коефіцієнт, який враховує ступінь вертикальної стійкості повітря (інверсія=1);

K_7 -коефіцієнт, який враховує вплив температури повітря $K_7=1$

Отже $Q_1=0$

Визначаємо еквівалентну кількість речовини у вторинній хмарі :

$$Q_2 = (1 - K_1) \times K_2 \times K_3 \times K_4 \times K_5 \times K_6 \times K_7 \times Q_0 / h \times d \quad (\text{т})$$

де K_2 -коефіцієнт, який залежить від фізико-хімічних властивостей СДОР , $K_2=0,021$; K_4 - коефіцієнт, який враховує швидкість вітру ; K_6 - коефіцієнт, який залежить від часу, що минув від початку аварії. $K_6=1$,

при $N=1$

$$Q_2=4,2 \text{ (т)}$$

І Оі-4.2 (т)."

Глибина зони зараження первиною (вторинною) хмарою визначається в залежності від еквівалентної кількості речовини і швидкості вітру.

Повна глибина зони зараження $\Gamma_{\text{п}}$ (км) визначається :

$$\Gamma_{\text{п}} = \Gamma_{\text{I}(2)} + 0.5 \Gamma_{2(1)} \text{ км};$$

де $\Gamma_{\text{I}(2)}$ - найбільший із розмірів Γ_{I} і Γ_2 , $\Gamma_{2(1)}$ - найменший із розмірів Γ_{I} і Γ_2 , $\Gamma_{\text{п}}=11,25\text{км.}$, $\Gamma_{\text{п}}=N \times V$, $N=1\text{год}$ за табл. 11 [11] $V=5\text{км/год}$ (при швидкості повітря 1м/с); $\Gamma_{\text{п}}=5\text{км}$;

Площа зони зараження. Площа зони можливого зараження первиною (вторинною) хмарою визначається :

$$S_{\text{м}} = 8,72 \times 10^3 \times \Gamma_{\text{п}}^2 \times \alpha f \quad (\text{км}^2)$$

де $S_{\text{м}}$ -площа зони можливого зараження СДОР, км^2 ;

$\Gamma_{\text{п}}$ - глибина зони зараження , км

F - кутові розміри зони можливого зараження , (град); при $v=1\text{м/с}$; $f=180^\circ$.

Для нашого прикладу:

$$\Gamma_{\text{п}}=5\text{км}, V=1\text{м/с},$$

$$S_M = 0,00872 \times 52 \times 180 = 39,2 (\text{км}^2)$$

$$S_M = 39,2 (\text{км}^2);$$

Площа фактичного зараження S_ϕ в км розраховується за формулою

$$S_\phi = K_\phi \times \Gamma_n^2 \times N^{0,2}$$

K_ϕ - коефіцієнт який залежить від ступеня вертикальної стійкості повітря: інверсія=0,081;

$$\text{Тоді } S_\phi = 0,081 \times 5^2 \times 1^{0,2} = 2,025 (\text{км}^2);$$

Час підходу зараженого повітря до об'єкту залежить від швидкості перенесення хмари повітряним потоком

$$T_n = L/v \text{ (ГОД);}$$

L -відстань від джерела зараження до заданого об'єкту, км;

v -швидкість переносу переднього фронту хмари зараженого повітря, км/ГОД;

$$L = 1 \text{ км}, v = 5 \text{ км};$$

$$T_n = 0,2 (\text{год}) = 15 (\text{хв}).$$

Можливі втрати робітників, службовців і населення в районах хімічного зараження визначаються з використанням табл.5 [11] в залежності від умов перебування і забезпеченості засобами індивідуального захисту.

$$\text{Можливі втрати } -4\%, P = 500 \times 0,04 = 20 \text{чол.}$$

Орієнтовна структура втрат:

легкого ступення-25% (5чол);

середнього ступення-40% (8чол);

з смертельними випадками-35% (7чол).

Зона можливого зараження хмарою СДОР обмежена півколом, який має кутові розміри f і радіус, рівний глибині зараження.

Зона можливого зараження має такий вигляд :

При швидкості вітру за прогнозом $v = 0,6$ -м/с - півколо

$$A^0 = 270^0$$

$$f = 180^0$$

$$r = \Gamma$$

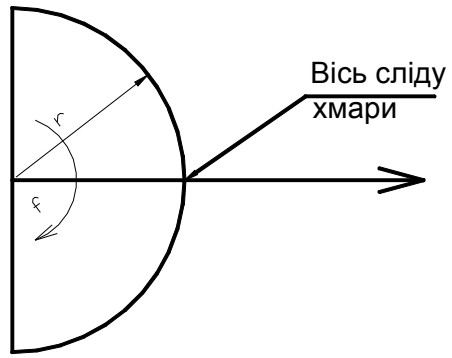


Рисунок 6.1 – Зона можливого зараження

ВИСНОВОК

У цьому дослідженні було запропоновано імерсивну (віртуальну) AR в рамках системи навчання персоналу правилам безпеки з використанням візуального та тактильного моделювання.

Контент запропонованої технології включає занурюючи, візуальну, рендерингову AR, на основі кластерного розширеного динамічного алгоритму на основі позицій фізичного моделювання виробничих процесів.

Крім того, ми запропоновано систему тактильного рендерингу AR, архітектура моделі яких складалася з точок взаємодії, включаючи кінестетичні точки та точки чутливі до тиску. Нарешті, на основі вищезгаданого теоретичного дослідження запропоновано інтерактивну платформу для технологічного навчання.

Система AR віртуального навчання демонструє, що симулятор корисний для покращення навичок новачків, які зберігаються тривалий період часу. Система віртуального навчання з допоміжною відеосистемою на основі AR, запропонована в цьому дослідженні, є ефективною і може використовуватися як навчальний пристрій, щоб допомогти у розвитку технологічних навичок для новачків.

Порівняно з технологічними навчальними системами віртуальної реальності (VR), технологічні навчальні системи AR мають більш реалістичне середовище навчання, візуально-тактильний досвід ближчий до інженерного людського фактора та більш природне сприйняття інтерактивного занурення. Це особливо важливо для персоналу, який використовує середовище віртуального моделювання, для покращення своїх реальних технологічних навичок.

Дизайн візуального тактильного моделювання на основі AR включає три потоки алгоритму. Перший – це потік візуалізації, який включає побудову фізичної моделі технологічного обладнання. Відтворення AR на

геометричну модель.

Фізична модель фізичних маніпуляцій на основі алгоритму розширеної динаміки на основі кластерів (XPBD). Вона визначає візуальний ефект деформації об'єктів в рамках навчального процесу. Це один із основних компонентів навчальних систем AR.

Поєднання переваг моделювання фізичних маніпуляцій на основі AR сітки та моделювання на основі XPBD складає суть алгоритму та полягає в наступному. Завдяки побудові нових обмежень на основі кластерів, в концепцію алгоритму динаміки вводиться розрахунок Лагранжа на основі позицій (PBD), таким чином вирішуючи проблему обсягів обчислень яка притаманна традиційному алгоритму PBD, продуктивність якого залежить від кількості ітерацій і кроків часу.

Реалізований алгоритм досягає прогнозованої мети дослідження. Під час процесу моделювання фізичного маніпулювання об'єктами (на основі сітки), виявлення зіткнення країв трикутника між краями тіла та поверхнею моделі об'єкта, генерується серія пересічних вершин сітки, котра разом із краєм тіла складає точку тактильного контакту.

Для уточнення положення одиниці сітки трикутника моделі індексуються. Розбита межа сітки проектується на площину на певній відстані від січної площини. Геометрія та топологічна інформаційна модель сітки оновлюються одночасно, щоб створити підрозділи сітки та згенерувати нову трикутну сітку з уточненими межами. Нарешті, топологічна структура вихідної сітки розкладається та змінюється на останньому етапі процесу віртуальної тактильної взаємодії.

З системою Hargy впроваджується система безпеки AR зі штучним інтелектом. Система попереджає користувача про потенційні небезпеки та нещасних випадків, тим самим запобігаючи нещасним випадкам та покращуючи безпеку на робочому місці. Записи з камер, встановлених на окулярах AR і камер відеоспостереження на заводі, надсилаються в

центральну систему, яка порівнює поточну заводську ситуацію з 3D-моделями заводу і за допомогою штучного інтелекту виявляє небезпечні ситуації. Потім система передає цю інформацію на скло AR Оператора і попереджає його про потенційну загрозу його безпеці.

На додаток до функцій безпеки, система також може бути використана для підвищення ефективності та навчання працівників.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Alkhatib R., Lebdy R. (2021). Digital manufacturing and the Fifth Industrial Revolution // Analyzing Future Applications of AI, Sensors, and Robotics in Society / edited by T.H. Musiolik and A.D. Cheok. Hershey, PA: IGI Global. Pp. 69–86.
2. Demir K.A., Cicibaş H. (2019). The next industrial revolution: Industry 5.0 and discussions on Industry 4.0 // Industry 4.0 from the MIS Perspective / edited by S. Gülseçen, Z.A. Reis, M. Gezer, Ç. Erol. Peter Lang GmbH, Internationaler Verlag der Wissenschaften. Pp. 247–260.
3. Sarfraz Z., Sarfraz A., Iftikar H.M., Akhund R. (2021). Is COVID-19 pushing us to the Fifth Industrial Revolution (Society 5.0)? // Pakistan Journal of Medical Sciences. Vol. 37, no. 2. Pp. 591–594.
4. Shaji George A., Hovan George A.S. (2020). Industrial revolution 5.0: the transformation of the modern manufacturing process to enable man and machine to work hand in hand // Seybold Report. No. 15 (9). Pp. 214–234.
5. Alkhatib R., Lebdy R. (2021), “Digital manufacturing and the Fifth Industrial Revolution”, Analyzing Future Applications of AI, Sensors, and Robotics in Society, edited by T.H. Musiolik and A.D. Cheok, IGI Global, Hershey, PA, pp. 69–86.
6. Булдыгин С.С. (2017). Концепция промышленной революции: от появления до наших дней // Вестник Томского государственного университета. № 420. С. 91–95.
7. Курапов Д.А., Конусова А.А., Халимон Е.А. (2021). Анализ и оценка мер, предпринимаемых на федеральном и региональном уровнях власти для выхода экономики России из пандемии // Вестник университета. № 2. С. 109–116. <https://doi.org/10.26425/1816-4277-2021-2-109-116>
8. Манту П. (1937). Промышленная революция XVIII столетия в Англии. М.: Соцэкгиз. 440 с.

9. Сен-Симон А. (1948). О промышленной системе // Избранные сочинения: в 2 т. / пер. с фр. Под ред. и с коммент. Л.С. Цетлина; Вступ. статья В.П. Волгина; Т. 2. М.: Изд-во Академии наук СССР. С. 5–101.
10. Тойнби А. (1898). Промышленный переворот в Англии в 18-м столетии / пер. с англ. М.: типография А.Г. Кольчугина. 340 с.
11. Халимон Е.А., Геокчакян А.Г. (2021). Управление экономикой с позиции научной и цифровой организаций труда // Вестник университета. № 2. С. 130–135.
12. Аренс Ю.А., Каткова Н.А., Халимон Е.А., Брикошина И.С., с. 11–19 E-Management. Т.4, №3. 2021.
13. Buldygin S.S. (2017), “The concept of the industrial revolution: from appearance to the present day”, Tomsk State University Journal, no. 420, pp. 91–95. (In Russian).
14. “The next industrial revolution: Industry 5.0 and discussions on Industry 4.0”, Industry 4.0 from the MIS Perspective, edited by S. Gülseçen, Z.A. Reis, M. Gezer, Ç. Erol. Peter Lang GmbH, Internationaler Verlag der Wissenschaften, pp. 11–14.
15. Khalimon E.A. and Geokchakyan A. G. (2021), “Economic management from the perspective of scientific and digital labor organizations”, Vestnik universiteta, no. 2, pp. 130–135. (In Russian). <https://doi.org/10.26425/1816-4277-2021-2-130-135>
16. Kurapov D.A., Konusova A.A. and Khalimon E.A. (2021), “Analysis and evaluation of measures taken at the federal and regional levels of government for the exit of the Russian economy from the pandemic”, Vestnik universiteta, no. 2, pp. 109–116. (In Russian). <https://doi.org/10.26425/1816-4277-2021-2-109-116>
17. Mantu P. (1937), The industrial revolution of the XVIII century in England, Sotsekgiz, Moscow, USSR. (In Russian).
18. Saint-Simon A. (1948), On the industrial system, Selected Works: in 2

- volumes, Translated from French, edited and commened by L.S. Tsetlin, Introductory article by V.P. Volgin, vol. 2, Publishing House of the Acalemy of Sciences of the USSR, Moscow, USSR, pp. 5–101. (In Russian).
19. Shaji George A. and Hovan George A.S. (2020), “Industrial revolution 5.0: the transformation of the modern manufacturing process to enable man and machine to work hand in hand”, Seybold Report, no. 15 (9), pp. 214–234.
 20. Toynbee A. (1898), The industrial revolution in England in the 18th century, Printing House of A.G. Kolchugin, Moscow, Russia. (In Russian).
 21. Kibsgaard M , Thomsen K K , Kraus M. Simulation of surgical cutting in deformable bodies using a game engine. In: Proceedings of the 9th International Conference on Computer Graphics Theory and Applications. Lisbon, Portugal, SCITEPRESS-Science and and Technology Publications, 2014.
 22. Paulus C J, Untereiner L, Courtecuisse H, Cotin S, Cazier D. Virtual cutting of deformable objects based on efficient topological operations. *The Visual Computer*, 2015, 31(6/7/8): 831841.
 23. Zhu B, Gu L X. A hybrid deformable model for real-time surgical simulation. *Computerized Medical Imaging and Graphics*, 2012, 36(5): 356365. .
 24. Pons-Moll G, Romero J, Mahmood N, Black M J. *Dyna*. *ACM Transactions on Graphics*, 2015, 34(4): 114. .
 25. Pan J J, Yan S Z, Qin H, Hao A M. Real-time dissection of organs via hybrid coupling of geometric metaballs and physics-centric mesh-free method. *The Visual Computer*, 2018, 34(1): 105116.
 26. Berndt I, Torchelsen R, Maciel A. Efficient surgical cutting with position-based dynamics. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 2017, 37(3): 2431.
 27. Niebe S, Erleben K. Numerical methods for linear complementarity problems in physics-based animation. *Synthesis Lectures on Computer*

- Graphics and Animation, 2015, 7(1): 1159 .
28. Wang H M, O'apos; Brien J, Ramamoorthi R. Multi-resolution isotropic strain limiting. *ACM Transactions on Graphics*, 2010, 29(6): 110.
 29. Müller M, Chentanez N, Kim T Y, Macklin M. Strain based dynamics. *Proc. ACM SIGGRAPH/Eurographics Symp. Comput. Animat.*, 2014, 149157.
 30. Bender J, Koschier D, Charrier P, Weber D. Position-based simulation of continuous materials. *Computers & Graphics*, 2014, 44: 110.
 31. Balasubramanian R, Santos V J. The human hand as an inspiration for robot hand development. Cham: Springer International Publishing, 2014.
 32. L'Orsa R, MacNab C J B, Tavakoli M. Introduction to haptics for neurosurgeons. *Neurosurgery*, 2013, 72: A139A153.
 33. Kim M, Kim J, Lee Y, Lee D. On the passivity of mechanical integrators in haptic rendering. In: 2017 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). Singapore, IEEE, 2017, 446452 .
 34. Ang Q Z, Horan B, Najdovski Z, Nahavandi S. Grasping virtual objects with multi-point haptics. 2011 IEEE Virtual Reality Conference, 2011, 189190.
 35. Jeon S, Harders M. Haptic tumor augmentation: exploring multi-point interaction. *IEEE Transactions on Haptics*, 2014, 7(4): 477485.
 36. Chen L, Day T W, Tang W, John N W. Recent developments and future challenges in medical mixed reality. In: 2017 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality(ISMAR). Nantes, France, IEEE, 2017, 123135.
 37. M.R. Endsley, Toward a theory of situation awareness in dynamic systems, *Hum. Factors* 37 (1) (1995) 32–64.
 38. H. Tashakkori, A. Rajabifard, M. Kalantari, A new 3D indoor/outdoor spatial model for indoor emergency response facilitation, *Build. Environ.* 89 (2015) 170–182.
 39. G. Sankaranarayanan, et al., Immersive virtual reality-based training

improves response in a simulated operating room fire scenario, *Surg. Endosc.* 32 (8) (2018) 3439–3449.

40. S. Webel, U. Bockholt, J. Keil, Design criteria for AR-based training of maintenance and assembly tasks, in: *International Conference on Virtual and Mixed Reality*, Springer, 2011, pp. 123–132.
-