

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

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії

(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

(повна назва кафедри)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Комп'ютеризована система для відновлення мобільності  
руки пацієнта з використанням технологій віртуальної реальності

Виконав: студент IV курсу, групи СІс-42  
спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Гуйван Д.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Ясній О.П.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Тим Є.В.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Осухівська Г.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль -2024

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

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії  
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Осухівська Г.М.  
(прізвище та ініціали)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня Бакалавр  
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія  
(шифр і назва спеціальності)

Студенту Гуйвану Дмитру Олександровичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Комп'ютеризована система для відновлення мобільності  
руки пацієнта з використанням технологій віртуальної реальності

Керівник роботи Ясній Олег Петрович., д.т.н., проф.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «26» 04 2024 року № 4/7-468

2. Термін подання студентом завершеної роботи 23.06. 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Технічне завдання

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ.

1. Аналіз технічного завдання.

2. Теоретична частина.

3. Практична частина.

4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

Висновки

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

1. Аналіз існуючих технічних рішень

2. UML схема компонентів системи

3. Конструкція запропонованого рішення

4. Інтерактивне меню



## АНОТАЦІЯ

Комп'ютеризована система для відновлення мобільності руки пацієнта з використанням технологій віртуальної реальності // Кваліфікаційна робота бакалавра // Гуйван Дмитро Олександрович // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедра комп'ютерних систем та мереж, група СІс-42 // Тернопіль, 2024 // с. – 54, рис. – 26, табл. – 2, аркушів А1 – 4, бібліогр. – 42.

Ключові слова: ВІБРОДВИГУН, ВІРТУАЛЬНА РЕАЛЬНІСТЬ, ДАВАЧ, ЕКЗОСКЕЛЕТ, КОЛАЙДЕР, РЕАБІЛІТАЦІЯ, ARDUINO

Кваліфікаційна робота присвячена розробці системи для віртуальної реальності для пацієнтів у зв'язці з тактильною рукавичкою, яка допоможе пацієнтові прискорити відновлення мобільності руки вдома, гейміфікувати процес одужання, тим самим підвищивши захопленість пацієнта.

Описані можливі галузі застосування, важливість та актуальність досліджень у цій галузі. Розглянуто інструменти захоплення рухів, які можна використовувати при реабілітації та більш виконано докладний огляд пристроїв у вигляді рукавичок, їх компонентів та існуючих рішеннях.

Описано особливості віртуальної реальності, які фреймворків застосовуються для досягнення правдоподібної взаємодії у віртуальному оточенні. Проаналізовано існуючі комерційні рішення на ринку, створені задля реабілітації.

Розроблено логічну будову запропонованої системи, вибрано апаратне та програмне забезпечення. Докладно описано процес взаємодії пацієнта із системою, в т.ч. рух руки та захоплення об'єктів. Спроектовано та розроблено комплекс вправ для роботи із системою. Розроблено інтерактивне меню застосунку. Забезпечено збереження та перегляд прогресу пацієнта.

## ANNOTATION

Computerized system for restoring the mobility of the patient's hand using virtual reality technologies // Bachelor thesis // Huivan Dmytro // Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University, Faculty of Computer Information Systems and Software Engineering, Department of Computer Systems and Nets // Ternopil, 2024 // p.- 54, fig. – 26, table. – 2, Sheets A1 – 4, Ref. – 42.

Keywords: VIBRATION ENGINE, VIRTUAL REALITY, SENSOR, EXOSKELETON, COLLIDER, REHABILITATION, ARDUINO

The qualification work deals with the development of a system for virtual reality for patients in connection with a tactile glove, which will help the patient to accelerate the recovery of hand mobility at home, gamify the recovery process, thereby increasing the patient's enthusiasm.

Possible fields of application, importance and relevance of research in this field are described. Motion capture tools that can be used in rehabilitation are considered, and a more detailed review of glove-like devices, their components, and existing solutions is performed.

Features of virtual reality are described, which frameworks are used to achieve believable interaction in a virtual environment. The existing commercial solutions on the market, created for the purpose of rehabilitation, were analyzed.

The logical structure of the proposed system was developed, hardware and software were selected. The process of patient interaction with the system is described in detail, including hand movement and grasping objects. A set of exercises for working with the system has been designed and developed. An interactive application menu has been developed. Patient progress can be saved and reviewed.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ .....	8
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ.....	10
1.1 Недуги, що впливають на мобільність руки.....	10
1.2 Лікування. Тривала реабілітація та VR.....	12
1.3 Інструменти захоплення руху .....	12
1.4 Компоненти інструментів.....	14
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА .....	18
2.1 Існуючі види систем.....	18
2.1.1 З механічним зворотним зв'язком .....	20
2.1.2 Імітують зворотний зв'язок .....	21
2.1.3 Комбіновані та інші версії.....	22
2.1.4 З наукових публікацій.....	23
2.2 Особливості VR.....	24
2.3 Фреймворки для VR.....	25
2.4 Взаємодія у віртуальному просторі.....	27
2.5 Рішення на ринку .....	28
РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА .....	32
3.1 Логічна будова розробленого рішення .....	32
3.2 Апаратне забезпечення.....	32
3.3 Програмне забезпечення.....	35
3.4 Взаємодія.....	36
3.4.1 Рух руки.....	36
3.4.2 Система захоплення об'єктів.....	37

					<b>КС КРБ 123.313.00.00 ПЗ</b>				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.	Гуйван Д.О.				Літ.	Арк.	Аркушів		
Керівник.	Ясній О.П.								
Реценз.					ТНТУ, каф. КС, гр. СІс-42				
Н. Контр.	Тиш Є.В,								
Затверд.	Осухівська Г.М								

3.5 Вправи.....	38
3.6 Допоміжні інструменти .....	40
РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ .....	44
4.1 Працездатність людини – оператора.....	
4.2 Вимоги ергономіки до організації робочого місця оператора ПК.....	49
ВИСНОВКИ.....	52
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	53
ДОДАТКИ	
Додаток А Технічне завдання	

					<b>КС КРБ 123.313.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ СКОРОЧЕНЬ І  
ТЕРМІНІВ

IMU (Inertial Measurement Unit) – інерційний вимірювальний модуль.

LMC (Leap Motion Controller) – контролер руху.

VR (Virtual Reality) – віртуальна реальність.

ОС – операційна система.

ПЗ – програмне забезпечення.

					КС КРБ 123.313.00.00 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## ВСТУП

Здоров'я людини та медицина є однією з найважливіших тем досліджень та розробок, так як безпосередньо впливає на функціонування нашого суспільства та від них залежать людські життя. Через різні умови, будь то спадкові хвороби або різні аварії та нещасні випадки, людина може втратити функціональність частини тіла або органу, що значно ускладнить їй життя та існування в суспільстві.

Однією з найважливіших кінцівок для людини є її рука і, зокрема, її кисть. Адже саме завдяки розуму та дрібній моториці, здатності майструвати інструменти людина знаходиться на вершині ланцюжка планети. Багато активності та найважливіші частини життя в сучасному світі, чи то робота чи відпочинок, вимагають наявності здорової руки та моторики. Тому лікування недуг руки і кисті має велику роль для особи.

Актуальними є створення спеціалізованих застосунків у виді тренажерних систем для відновлення мобільності руки із гейміфікуванням процесу одужання,

Мета роботи – створення тренажера для відновлення мобільності руки пацієнта з використанням технологій віртуальної реальності у зв'язці з тактильною рукавичкою.

Завдання, необхідні для досягнення даної мети:

- провести аналіз дотичних предметних областей;
- розробити систему реалістичного відображення кисті у віртуальному просторі, її руху та взаємодії з віртуальним оточенням;
- реалізувати зчитування та передачу даних з тактильної програми, її інтеграцію у додаток;
- продумати та створити комплекс вправ;
- розробити додатковий допоміжний функціонал тренажерної системи, необхідний для комфортної довгострокової реабілітації.

					<b>КС КРБ 123.313.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

Здорова рука, зокрема кисть і пальці, життєво необхідні для виконання широкого спектра завдань як і у звичайному повсякденному житті, так і у заняттях, котрим потрібна розвинена дрібна моторика і контрольована мобільність пересувань руки. У цьому розділі описано для реабілітації визначених недуг, хвороб можна застосувати VR, статистику на прикладі інсульту, як VR допомагає з больовими відчуттями і чому це зручно при тривалому, довгостроковому лікуванні.

### 1.1 Недуги, що впливають на мобільність руки

Розглянемо, не сильно заглиблюючись в медицину, для лікування яких недуг може бути застосована дана робота. Список аналізованих хвороб:

- інсульт;
- апраксія;
- хвороба Паркінсона;
- розсіяний склероз;
- опіки.

Однією з актуальних хвороб як за кількістю хворих, так і за застосовністю до лікування за допомогою VR є інсульт. Однією з неприємностей інсульту є відмирання клітин мозку, внаслідок якого у пацієнта виникають проблеми з переміщенням кінцівок, зокрема рук, пальців [1]. У 2022 році глобальний ризик інсульту протягом усього життя віком від 25 років і старший становив приблизно 25% як серед чоловіків, так і жінок [6]. Після інсульту повністю одужує менше третини пацієнтів. У топ-10 дослідницьких пріоритетах люди, які перенесли інсульт, ставлять відновлення рук на перше місце [7].

					<b>КС КРБ 123.313.00.00 ПЗ</b>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Гуйван Д.О.</i>				<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Керівник.</i>		<i>Ясній О.П.</i>						
<i>Реценз.</i>								
<i>Н. Контр.</i>		<i>Тиш Є.В.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Осухівська Г.М</i>						
						<i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІс-42</i>		

Дефіцит верхніх кінцівок зустрічається у 85% тих, хто вижив після інсульту, і вони значно впливають на виконання повсякденної діяльності [8]

Апраксія також пов'язана з головним мозком і виникає при ураженні областей кори великих півкуль. Зазвичай виявляється тим, що при збереженні сили в кінцівках та можливості виконання простих рухових актів великої моторики порушується навичка здійснювати тонкі цілеспрямовані рухи.

Хвороба Паркінсона - це хронічно неврологічне захворювання, що повільно прогресує, яке впливає на моторні функції людини. У хвороби є кілька симптомів, одними з яких є м'язова ригідність (скованість м'язів) та гіпокінезія. Саме їх можна лікувати чи хоча б уповільнити, за допомогою фізичних вправ [3].

Особливістю розсіяного склерозу є одночасне ураження мієлінових оболонок мозку, відділів нервової системи, що призводить до утворення різних неврологічних симптомів. Зробити систему для повного відновлення після склерозу складно через широкий спектр симптомів та ступенів інвалідності, але стосовно поточної роботи можлива реабілітація пацієнтів зі слабкістю, частковим онімінням рук, пальців [4].

Опіки є травмою, яка на відміну від інших представлених не пов'язана з мозком та мозковою активністю. Лікування, звичайно, можливе не для всіх типів опіків. У роботі розглядаються глибокі опіки часткової чи повної товщини, >50% площі. При такому типі опіків на руці утворюється щось подібне до кірки, і больових відчуттів немає або мінімальні. І для лікування контрактури (стану кінцівки, при якому вона не може повністю зігнутися або розігнутися в одному або декількох суглобах) корисні часті, постійні вправи [5].

VR може бути відволікаючим механізмом, який споживає когнітивні ресурси та ресурси уваги, а також зменшує психологічне навантаження, тим самим обмежуючи больові процеси та виступаючи як нефармакологічний анальгетик [9].

Рандомізоване перехресне дослідження показало, що час роздумів про біль скорочується на 56% при використанні VR, порівняно з іншими засобами самостійного відволікання (наприклад, медитацією, смартфоном) [10].

					<b>КС КРБ 123.313.00.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

## 1.2 Лікування. Тривала реабілітація та VR

Постійні тренування є критично важливими і необхідні для відновлення. Тому дуже важливо дати пацієнтові мотивацію до виконання щоденних рутинних завдань. За допомогою гейміфікації можна підвищити залучення пацієнта, зменшити нудність повторюваних, неприємних вправ.

VR дозволяє проводити як тренування з медичних вправ, так і задач, які імітують реальне життя. Все це можна проводити, не вдаючись до пошуку додаткових об'єктів та інструментів, а також дозволяє навчити або нагадати необхідні дії при тренуванні.

Важливим плюсом цифровізації реабілітації є можливість автоматизування обліку прогресу пацієнта та його показу у наочному вигляді у будь-який час.

## 1.3 Інструменти захоплення руху

Існують різні Human Computer Interface (HCI) для захоплення рухів. Розглянемо наступні інструменти: Kinect, Leap Motion, Myo, маніпулятори, рукавички та екзоскелети.

Kinect - це безконтактний сенсорний пристрій, який може здійснювати зчитування рухів тіла та голосу (рис. 1.1). Початковий ігровий пристрій, контролер, що постачається для ігрової консолі xbox360. Через хороше співвідношення вартості та простоти отримання і поширеності, використовувався для деяких реабілітаційних досліджень та систем. На даний момент все рідше використовується через старіння пристрою та інших технологій. Не підходить для поточної мети роботи через спрямованість зчитування рухів великих кінцівок та неможливості точного зчитування дрібних рухів руки та пальців.

					КС КРБ 123.313.00.00 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.1 – Microsoft Kinect Sensor для Xbox360

ЛМС також є безконтактним сенсорним пристроєм (рис. 1.2). Головною відмінністю є те, що ЛМС спрямований на зчитування рухів рук та пальців. Має невелику вагу та прийнятну ціну, проте є обмеження в області відстеження та відсутність зворотного відгуку.



Рисунок 1.2 – Контролер руху Leap Motion

Myo armband - це пристрій у вигляді браслета, пов'язки на руку, що використовує електроміографію (рис. 1.3). Тобто він працює через розпізнавання збудження, напруги м'язів руки за допомогою зчитування характерних електричних імпульсів. Пристрій не може зчитувати дрібну моторику, а лише характерні жести. Також, на даний момент виробництво цих пристроїв припинено.

					КС КРБ 123.313.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13



Рисунок 1.3 – Браслет-контролер жестами Муо

Маніпулятори – це різні роботизовані та механотерапевтичні медичні пристрої для конкретних цілей. Недоліками є вузька спрямованість дій, часто - громіздкість, відносна дорожнеча, необхідність помічника.

Рукавички, екзоскелети - це пристрої, що надягають на руку і мають змогу зчитувати їх рух. У цьому варіанті відстеження здійснюється за допомогою фізично розташованих датчиків на руці, рукавичці. Існують різні їхні види, як у плані збирання, так і в плані принципу роботи. Наприклад, при зіткненні, є такі, що примусово обмежують рухи, а є зі зворотнім відгуком. Відповідно, залежно від компонентів їх вартість та можливості різняться.

Далі для повноти картини будуть описані комерційні рішення на ринку і зустрічаються в наукових статтях, а також види компонентів, що найчастіше використовуються.

#### 1.4 Компоненти інструментів

Будуть розглянуті та описані компоненти, що використовуються при розробці даного типу пристроїв і які часто фігурують в аналогічних роботах.

Насамперед варто розглянути плати, звані “мізками”, переважна

					<b>КС КРБ 123.313.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

більшість, яка виконує код, проводить обчислення і до якої під'єднані інші частини. Їх можна розбити на дві основні категорії: плати на мікроконтролері та одноплатні комп'ютери. Типовим представником першої категорії є Arduino [11], другий – Raspberry Pi [12].

Arduino - це торгова марка апаратно-програмних засобів для побудови та прототипування простих моделей та систем. До апаратних засобів відносяться плати з мікроконтролером та плати розширення. Існують різновиди плат, під різні потреби, що різняться за розмірами, роз'ємами, обчислювальною потужністю. До програмних засобів належить Arduino IDE. Програми, іменовані тут скетчами, пишуться на Arduino C, яка є мовою C++ з фреймворком Wiring. У цьому середовищі розробці є текстовий редактор для написання скриптів, менеджер бібліотек і проектів, передобробник, компілятор коду та інструменти для завантаження програми в мікроконтролер. Перевагами таких плат є мале споживання енергії та повний контроль над часом та тривалістю подачі сигналів. Недоліки - відсутність багатозадачності, обмеженість у виборі мови програмування, мінімальна обчислювальна потужність. Тобто Arduino, як представник мікроконтролерів, може одночасно виконувати лише одне завдання, але чудово справляється з цим.

Raspberry Pi – це одноплатний комп'ютер невеликого розміру. Спочатку було розроблено як недорогу систему для навчання школярів, студентів інформатики. Але пізніше почав набирати популярності і використовуватися ширше. Одноплатні комп'ютери виконують програми на базі ОС. Найчастіше цього використовують ОС Linux. Перевагами є багатозадачність, продуктивність, ширші можливості роботи з мультимедіа, інтернетом та великий вибір мов програмування. Недоліки частково впливають із перваг - велике енергоспоживання мікроконтролерів, а також через багатозадачність є ймовірність, що критичний процес проспить свій час.

Існують також гібридні платформи, де на одній платі розташовані одночасно процесор і мікроконтролер. На процесор у випадках перекладають складні завдання, такі як обробка медіа, мережеві комунікації, але в

					<i>КС КРБ 123.313.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						15
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

мікроконтролер лягати діяльність з точному управлінню периферією.

Давач вигину (англ. flex sensor) (рис. 1.4) - це давач у вигляді тонкої, довгої, резистивної смужки, який вимірює величину відхилення або вигину. Зазвичай давач закріплюється, приклеюється до поверхні, а опір чутливого елемента змінюється шляхом згинання поверхні. Оскільки опір прямо пропорційний величині вигину, його використовують як кутомір і часто називають гнучким потенціометром.

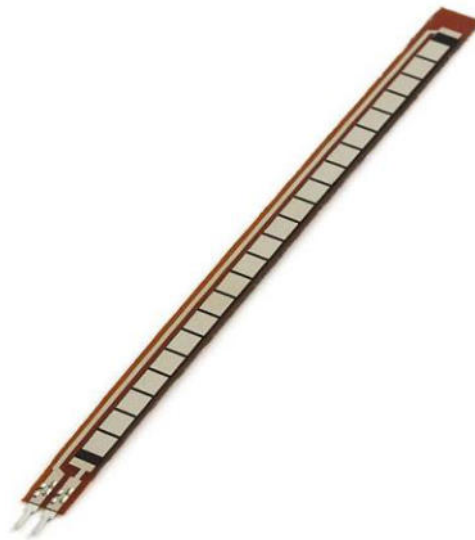


Рисунок 1.4 – Давач вигину

IMU (рис. 1.5) - це електронний пристрій, що дозволяє визначати своє положення у просторі. Вимірює і повідомляє про прискорення щодо власних осей, швидкість обертання і напруженість магнітного поля щодо них, використовуючи набір з акселерометра, гіроскопа, магнітометра і, іноді, барометра. Це дозволяє відстежувати обертальні та поступальні рухи. Ці пристрої мають властивість бути схильні до дрейфу та впливу шумів, що призводить до похибок вимірювань і відхилень. Для компенсування цього недоліку та підвищення рівня точності, компенсації перешкод, дані модулі зазвичай використовуються з фільтрами єдиної оцінки орієнтації.

					КС КРБ 123.313.00.00 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



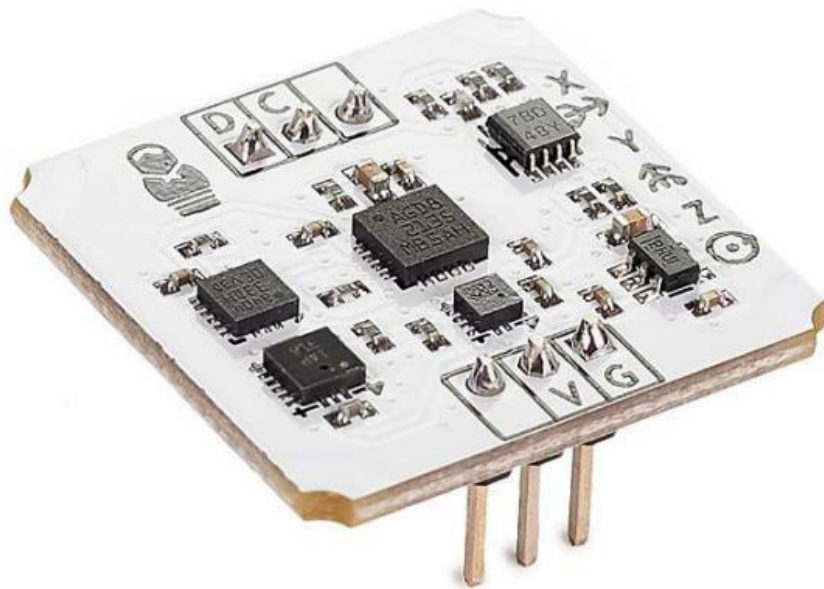


Рисунок 1.5 – ІМУ сенсор

Вібродвигун застосовуються для симуляції зворотного відгуку при зіткненні з об'єктами. Найчастіше використовується вібраційний двигун плоский, як таблетка (рис. 1.6).

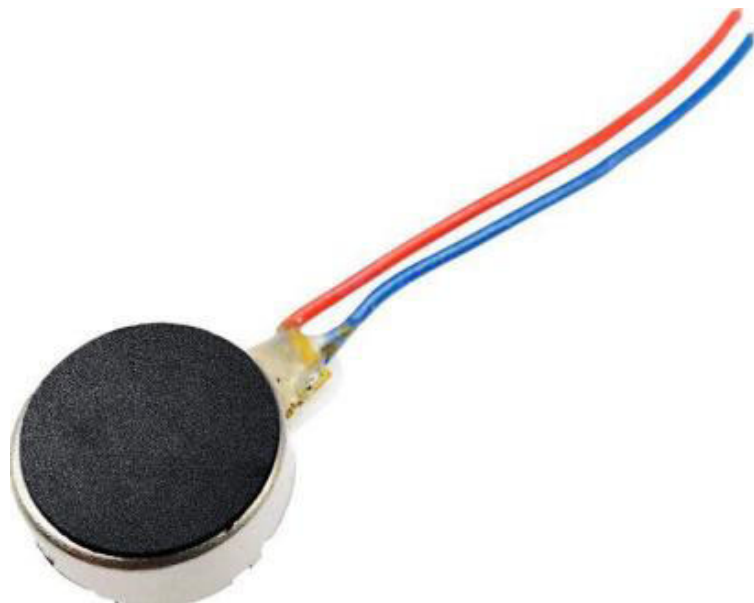


Рисунок 1.6 – Вібродвигун (у виді таблетки)

Сервопривід - це пристрій, що має у своєму механізмі спеціальний давач, яким моніторяться встановлені значення, двигун, блок управління. За рахунок зворотнього зв'язку є можливість точного підтримування зазначеного положення

					<b>КС КРБ 123.313.00.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

валу або постійної швидкості обертання. Використовується для фізичного обмеження руху пальців руки при дотику захоплення. Застосовується як і з великими рукавичками у форм-факторі жорсткого екзоскелета, так і більш м'яких варіантах з нитками.

					<i>КС КРБ 123.313.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		18

## РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Існуючі види систем

При розгляді існуючих на ринку рішень умовно розділимо їх на три наступні категорії рукавичок:

- з механічним зворотним зв'язком;
- імітуючий зворотний зв'язок;
- комбіновані та інші версії.

До першого виду рукавичок відносяться рукавички DextaRobotics Dexmo [13], Haption HGlove [14], VRGluв [15]. Даний тип рукавичок, зазвичай, є екзоскелетом, що одягається на руку. За допомогою конструкції екзоскелета та сервоприводів здійснюється зворотний зв'язок із віртуальним оточенням. При контактній взаємодії з об'єктами сервоприводи обмежують рухи пальців, не даючи їм згинатися далі, наприклад, при захопленні предмета, сервоприводи не дадуть руці стиснутися, протидіючи згинанню пальців, при необхідності впливаючи на зворотний бік, показуючи таким чином його межі. У простіших варіантах замість сервоприводів можуть використовуватися контрольовані дискові гальма та інші схожі пристосування, які перешкоджають стиску, тобто. немає симуляції пружності, шарніри або повністю заблоковані або рухаються вільно.

До другого виду рукавичок відноситься велика група пристроїв: Manus Prime X Haptic VR [16], WEART TouchDIVER [17], Bebop Sensors Forte Data Glove [18], Senso Glove DK3 [19], Noitom Hi5 VR Glove [20]. Даний тип рукавичок, зазвичай, оснащений декількома давачами вигину для відстеження рівня згинання пальців, IMU -сенсорами для відстеження положення пальців у великих ступенях волі, вібромоторами для симуляції зворотного зв'язку і т.д.

					<b>КС КРБ 123.313.00.00 ПЗ</b>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Гуйван Д.О.</i>				<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>
<i>Керівник.</i>		<i>Ясній О.П.</i>					<i>Аркушів</i>
<i>Реценз.</i>					ТНТУ, каф. КС, гр. СІс-42		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Тиш Є.В.</i>					
<i>Затверд.</i>		<i>Осухівська Г.М</i>					

До третього виду можна віднести рукавички HaptX Gloves [21], SenseGlove Nova [22]. Цей тип має комбінований зворотний зв'язок, що поєднує застосування екзоскелета та імітування тактильного зворотного відгуку. Переваги цього підходу значне занурення користувача у VR. Однак це негативно позначається на ціні пристрою, а також його габаритах і вазі.

Розглянемо докладніше представників кожної категорії.

### 2.1.1 З механічним зворотним зв'язком

Dexto (рис. 2.1) – рукавички екзоскелетного типу від китайської компанії DextaRobotics. Це фізично очевидне, але цікаве рішення для симуляції зворотного тактильного зв'язку. Силовий зворотний зв'язок - одне з найкращих рішень, якщо потрібно досягти точної, у плані сприйняття людиною передачі тактильного зворотного зв'язку. З недоліків рішення можна виділити громіздкість конструкції екзоскелета та механізмів, що негативно позначається на тривалій активності користувача, високу ціну та недоступність для звичайних користувачів.



Рисунок 2.1 – Рукавичка Dexto

HGlove - є одним з продуктів французької компанії Haption і є сумішшю між тактильними рукавичками і маніпуляторами. До робототехнічного стаціонарного маніпулятора приєднана конструкція, що одягається на руку. Це

					КС КРБ 123.313.00.00 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

модель екзоскелетного виду на три пальці, призначена для зчитування зусилля і моменту, що крутить, і має 6 ступенів рухливості. Може використовуватись для віддаленого керування роботами.

VRGluv – рукавички від однойменної компанії зі США. Тут також використовується силовий зворотний зв'язок, але у вигляді міцних ниток уздовж тильного боку пальців поверх невеликих корпусних вставок. За словами розробників, їх запатентована технологія може створювати зусилля до 4,5 кг на кожному пальці для імітації розміру, форми, жорсткості та впливу від віртуального об'єкта.

### 2.1.2 Імітують зворотний зв'язок

Prime X Haptic VR (рис. 2.2) – тканинні тактильні рукавички від голландської компанії Manus. На тильній стороні поверх рукавички, трохи нижче за розташування нігтів, розташовані вібродвигуни, що використовуються для симуляції зворотного тактильного відгуку за допомогою вібровіддачі.



Рисунок 2.2 – Рукавичка Prime X Haptic VR

Для відстеження рухів пальців спільно використовуються давачі вигину та IMU сенсори. Є одним із небагатьох продуктів, який може купити звичайний

					КС КРБ 123.313.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

користувач. Розглянемо недоліки цієї моделі. Вібродвигуни, що використовуються, знаходяться на тильній стороні пальців, яка має невелику чутливість, це також менш інтуїтивно і викликає певний дисонанс для користувача. Хоча пристрій може купити будь-який бажаючий, його вартість робить його недоступним для більшості з них.

TouchDIVER - пристрій від італійської компанії WEART. Включає 3 тактильні наперстки, які надягають на великий, вказівний і середній пальці і дозволяють передавати тактильні зусилля, вібрації і температуру.

Forte Data Glove - прості легковагі рукавички від компанії Bebop Sensors зі США. Відстеження здійснюється за допомогою 10 датчиків вигину, по 2 на кожен палець, та одного IMU сенсора для мінімізації дрейфу. Відгук здійснюється шістьма тактильними приводами на кінчиках пальців та долоні.

Ni5 VR Glove - рукавички від міжнародної компанії Noitom. Зчитування положення пальців проводиться за рахунок IMU- сенсорів. Можливості тактильного зворотного зв'язку тут мінімальні, є лише один вібродвигун на тильній стороні долоні, що є серйозним недоліком у порівнянні з конкурентами.

Senso Glove DK3 – рукавички від компанії Senso. 8 IMU сенсорів використовуються для відстеження руки, 5 вібродвигунів для зворотного зв'язку.

Дана модель не покладається на використання стандартних контролерів та трекерів, а на використання IMU сенсорів, що дуже негативно позначається на процесі та результаті калібрування та точності відстеження.

### 2.1.3 Комбіновані та інші версії

HaptX Gloves (рис. 2.3) – тактильні рукавички, зроблені компанією із США, одним із провідних розробників у цій галузі. У кожній рукавичці HaptX Gloves DK2 розміщено по 133 мікродідинних подушки (microfluidic skin). Вони передають шкірі на пальцях тактильні відчуття та виконані у вигляді майданчиків, на яких знаходяться невеликі механізми у вигляді мембран. У них подається стиснене повітря, після чого мембрани починають розширюватися на тиск на кінчик пальця, таким чином симулюючи дотик до предмета. Це дозволяє

					<b>КС КРБ 123.313.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

забезпечувати дуже високий рівень реалістичності зіткнень.



Рисунок 2.3 – Рукавичка HaptX Gloves

Nova - рукавички від компанії SenseGlove з Нідерландів. Попередні версії друкувалися на 3D принтері і мали форм-фактор громіздкого екзоскелета. У останній моделі вони відійшли від цього підходу, вибрали і спроектували на м'якій текстильній основі. Силовий та вібротактильний зворотний зв'язок надають відчуття об'єму віртуальних об'єктів, їх щільності, а також передачу відчуття удару, що імітується.

Teslasuit Glove - комбіновані рукавички з тактильним та силовим зворотним зв'язком у вигляді пластикового екзоскелета від компанії Teslasuit з Великобританії. Екзоскелет за допомогою вібрації та опору може імітувати взаємодію з твердим тілом, тоді як тактильні дисплеї 3 на 3 на кожному пальці створюють відчуття дотику до поверхні. На додаток до цього є можливість зчитування біометричних даних, наприклад, серцебиття за хвилину або рівень насичення киснем.

#### 2.1.4 3 наукових публікацій

Якщо розглянути наукові статті з журналів і конференцій, то там спостерігаються схожі тенденції, за винятком того, що на стадії дослідження зовнішній вигляд пристроїв менш презентабельний і рідко зайво дорогим для

					КС КРБ 123.313.00.00 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

даної стадії. Наприклад, у статті [23] автори розробляють рукавичку у форм-факторі екзоскелета. У статті [24] автори спроектували дві рукавички, одну для відстеження на основі давачів вигину, другу для отримання тактильного зворотного зв'язку за допомогою вібродвигунів. У статті [25] авторами була використана рукавичка з відстеженням пальців на основі IMU сенсорів, а вібродвигуни розташовані в середині пальця, на внутрішній стороні. Також є поодинокі, незвичайні приклади. Наприклад, у статті [26] при проектуванні рукавички була використана чутлива до тиску плівка, яку автори представили як матрицю. Вихідні результати даної матриці автори застосували в нейронній мережі для розпізнавання трьох жестів.

## 2.2 Особливості VR

VR — це реальність, котра сприймається, і яка може бути як схожа, так і зовсім відмінна від справжньої реальності. На відміну від доповненої реальності, в даному випадку єдине, що пов'язане з цим, це рухи самого користувача. У загальному розумінні, до VR відносять все, що так чи інакше створено на комп'ютері і показується в тому чи іншому вигляді. Однак найчастіше вважається більш конкретне сприйняття та взаємодія через шолом, окуляри VR та різноманітні контролери.

В наш час VR активно розвивається та набирає обертів. І в цьому немає нічого незвичайного, адже її перспективи та користь очевидні. На даний момент VR використовується в дедалі більшій кількості сфер та областей:

- розваги, в тому числі ігри, медіа;
- освіта;
- промисловість
- будівництво;
- дизайн;
- медицина.

					КС КРБ 123.313.00.00 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Для трекінгу (відстеження положення та обертання) існує 2 основних підходи (рис. 2.4), що відносяться до оптичного відстеження та використовують у своїй основі алгоритми машинного зору, виробників наборів VR. При першому підході (Outside-in) трекінг здійснюється за рахунок базових станцій, камер, заздалегідь розставлених по приміщенню, які, як і шолом і контролери, під'нані до персонального комп'ютера. Вони розуміють їхнє положення за рахунок вмонтованих маркерів, зазвичай IR LED, і дають хорошу точність за рахунок множинності камер, і відповідно кутів огляду. При другому підході (Inside-out) відстеження ведеться з камер, вмонтованих у сам шолом. У цьому випадку відстеження трохи менш точне і обмежене передньою частиною (немає відстеження при переміщенні за спину), але дешевше, більш адаптоване і просте при використанні в новій обстановці і немає необхідності монтування базових станцій.

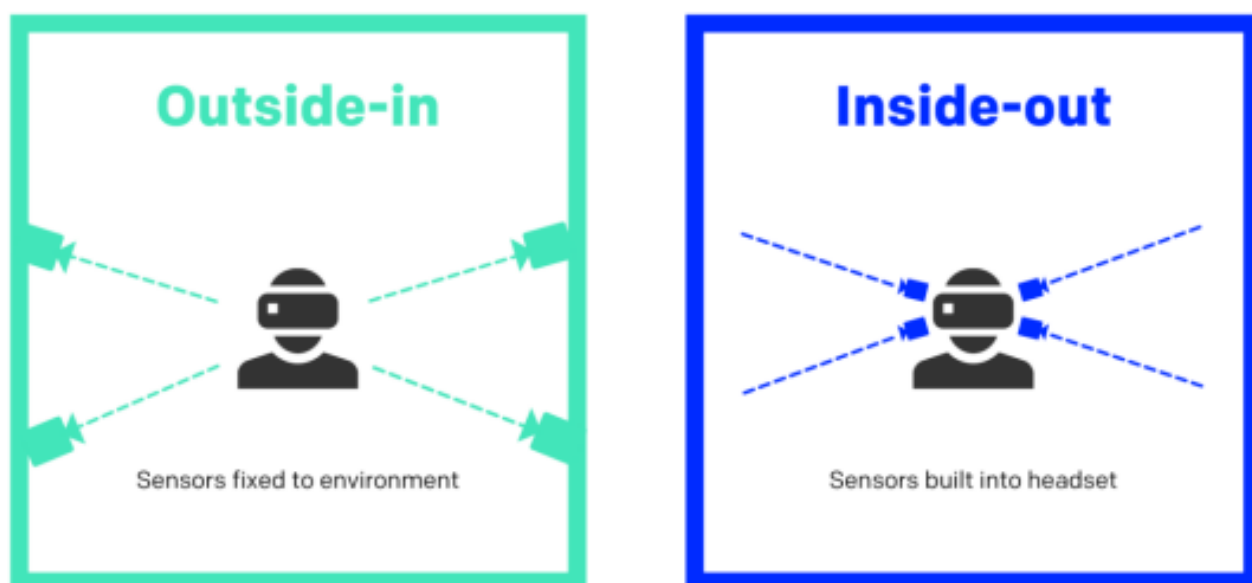


Рисунок 2.4 – Схема роботи OpenXR

## 2.2 Фреймворки для VR

SteamVR [27] — це ПЗ, що передбачає роботу програм через однойменну програму в Steam і працює через OpenVR API. Підходить для більшості

					<b>КС КРБ 123.313.00.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

пристроїв: HTC, Valve, Windows Mixer Reality та деяких інших.

Oculus [28] – це фреймворк для пристроїв лінійки Oculus/Meta. За рахунок вузької спрямованості на свою лінійку пристроїв може дати широкі можливості керування та оптимізацію. Головним недоліком є обмеженість своєї платформи.

OpenXR [29] - це новий стандарт для AR/VR пристроїв, який дозволяє одночасно розробляти додаток на всі основні платформи (рис. 2.5). Раніше, через паралельну розробку попередніх фреймворків, їх несумісність, була неможлива кросплатформова розробка. На момент виходу цей стандарт підтримали всі великі компанії, пов'язані з цією сферою, і на сьогодні більшість підтримують цей стандарт. Недоліком є те, що стандарт відносно новий і ще не всі функції та можливості додані до нього. Тому при сильній необхідності тонкого налаштування або унікальних функцій доведеться використовувати старі фреймворки.

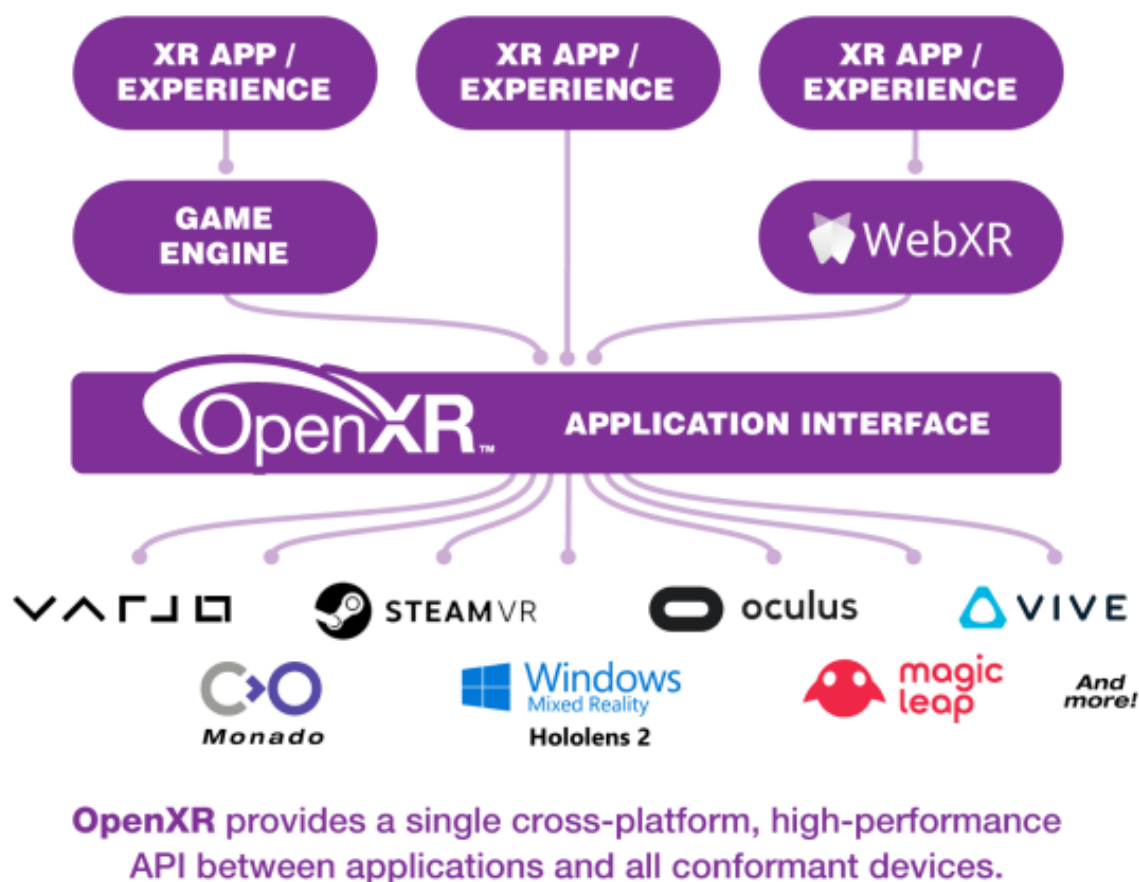


Рисунок 2.5 – Схема роботи OpenXR

					КС КРБ 123.313.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

## 2.3 Взаємодія у віртуальному просторі

Правдоподібність взаємодії є дуже важливим фактором для іммерсивності та занурення у віртуальне середовище. Більше того, підхід до захоплення, що надається, повинен бути розроблений для взаємодії та маніпулювання в реальному часі в середовищах VR, надаючи просту, модульну, гнучку, надійну і візуально реалістичну систему захоплення. Щоб його можна було легко інтегрувати та адаптувати до різних скелетів та моделей рук, з іншими конфігураціями. більшість доступних в даний час рішень захоплення VR засновані виключно на анімації, тому вони обмежені відомою геометрією і не можуть працювати з невидимими раніше об'єктами. Тому система захоплення, що розробляється, повинна бути гнучкою, дозволяючи взаємодіяти з невідомими об'єктами і адаптуючи віртуальну руку до об'єктів незалежно від їх форми і геометрії. Таким чином, користувач зможе вільно вибирати об'єкт для взаємодії без будь-яких обмежень. Розглянемо, які дослідження та підходи існують.

Авторами публікації [30] була проведена велика дослідницька робота зі збирання та опису сучасних трендів технологій (state-of-the-art) з різних тем, що стосуються руки. Розбираються питання, пов'язані з моделюванням руки, торкаючись аспектів як біологічної, так і віртуальної репрезентації; види захоплень рухів руки у реальному світі, способи їх перенесення у віртуальний; анімування руки у віртуальному оточенні, її різних способах взаємодій та підходів щодо їх реалізації.

Виходячи з описаного раніше, в ході дослідницьких та практичних робіт було виділено та випробувано 3 типи можливих взаємодій:

- через базову систему VR, вбудовану у середовище розробки;
- лише через фізичний двигун;
- через фізичний двигун та через надбудови у вигляді власної написаної системи.

Перший підхід має свої позитивні та негативні моменти. Позитивними є швидкість і простота розробки, оскільки існують вже вбудовані основні функції

					<i>КС КРБ 123.313.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						27
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

і легко знайти інформацію та використовувати їх. Негативом є низька іммерсивність, за рахунок розбіжності руху реальних пальців і віртуальних, проходження рук наскрізь через предмети оточення.

Перевагами другого підходу є правдоподібність при контакті з віртуальним оточенням та простота. Недоліками є стабільність і якість при більш складних діях, наприклад, захоплення та утримання предмета. При виконанні цих дій виникатимуть труднощі через детермінованість при обчисленні фізичних прорахунків і внаслідок цього об'єкт складно вистачатиме і утримуватиме.

Третій підхід можна назвати продовженням другого. У ньому, основна взаємодія відбувається через фізичний рушій. Тоді як складніші, комплексні дії відбуваються через розроблену систему. Саме цей підхід був обраний для кінцевого рішення і більш докладно описаний у розділі, присвяченому розробленому рішенню.

## 2.4 Рішення на ринку

Розглянемо існуючі рішення на ринку на деяких конкретних прикладах. Також варто врахувати, що досить багато рішень знаходяться на стадії активної розробки та тестування, або, хоч мають реабілітаційну спрямованість, працюють за іншим принципом або спрямовані на велику моторику. Опишемо знайдені приклади.

OmniVR [31]. Ця реабілітаційна система використовує камеру Microsoft Kinect та комп'ютерний блок з монітором (рис. 2.6). Рішення спрямоване на реабілітацію великих частин тіла та на відповідні фізичні вправи. Недоліки цього рішення в малій іммерсивності, зануренні пацієнта, а також мала застосовність при розвитку дрібної моторики.

Компанія VAST.Rehab [32] використовує схоже рішення.

					КС КРБ 123.313.00.00 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.6 – Використання OmniVR

SaeboVR [33]. Це рішення також використовує пристрій Microsoft Kinect, але спрямоване на реабілітацію руки (рис. 2.7). Воно може розпізнавати основні рухи та жести, проте має недоліки в точності визначення положення руки, малої імерсивності та високої ціни.



Рисунок 2.7 – SaeboVR

REAL System y-Series [34]. Дане рішення, на відміну від попередніх, використовує імерсивну VR і відстежує становище за рахунок декількох пристроїв, що одягаються, розташованих як на руках, так і на проміжних суглобах, що дозволяє краще відстежувати реальне положення і зчитувати кут згину цих суглобів (рис. 2.8). За словами компанії, їх інструмент підтримує повну реабілітацію тіла з упором на зміцнення, діапазон рухів і контроль постави для всіх пацієнтів, які проходять реабілітацію. Він також зачіпає когнітивні функції,

					<b>КС КРБ 123.313.00.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

такі як візуально-просторове сприйняття та реакція на команди. Погано підходить для дрібної моторики, реабілітації кисті.



Рисунок 2.8 – Процес реабілітації з REAL System y-Series

XR Therapy System від компанії Neuro Rehab VR [35]. Ця система використовує автономну VR гарнітуру з контролерами (рис. 2.9). Цікавим моментом є наявність вправ під тренажери, що використовуються у тренажерних залах для заняття фізичними вправами. Так само як і перші описані рішення має спрямованість на велику моторику.



Рисунок 2.9 – Використання XR Therapy System

У результаті аналізу наявних на ринку реабілітаційних систем, лише невелика кількість спрямована на покращення дрібної моторики та реабілітації кисті та пальців. Ще менша кількість використовує іммерсивну VR та рукавички

					КС КРБ 123.313.00.00 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

для відстеження і керування. Також важливою проблемою є те, що більшість цих компаній іноземні, що може додати труднощів у комунікації, купівлі, впровадженні на українських підприємствах та у питаннях конфіденційності інформації. На додаток до цього, вартість більшості рішень висока чи невідома. Виходячи з цієї оцінки було вирішено розробити проект, що має необхідний функціонал і доступніший для вітчизняного споживача.

					<i>КС КРБ 123.313.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		31

## РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

### 3.1 Логічна будова розробленого рішення

На рис. 3.1 показані логічні компоненти та зв'язки між ними. Частина рукавички під'єднується до мікроконтролера Arduino, котрий під'єднується до комп'ютера через кабель UART-USB. Також до комп'ютера під'єднано VR HMD (Head-mounted display), Vive трекери, базові станції.

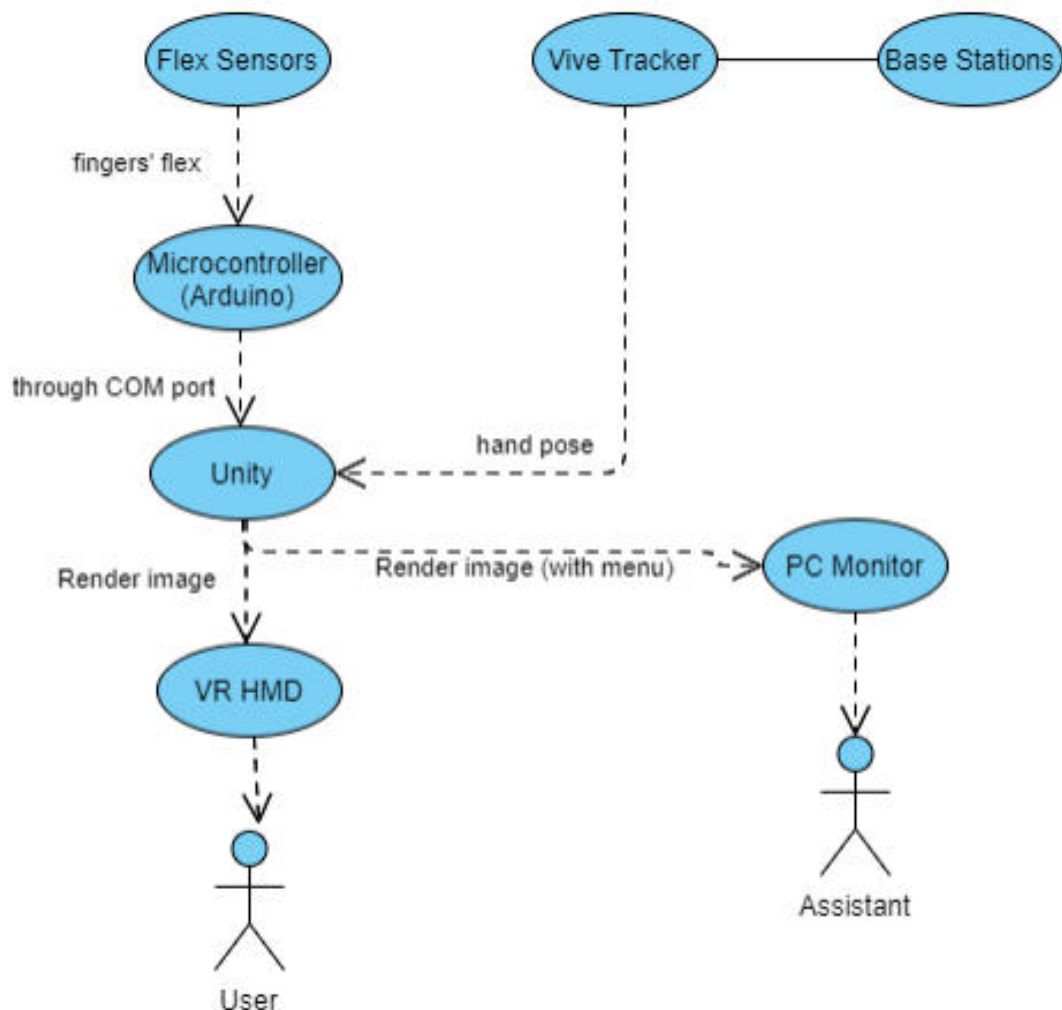


Рисунок 3.1 – UML схема компонентів системи

						КС КРБ 123.313.00.00 ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.	Гуйван Д.О.				Лім.	Арк.	Аркушів				
Керівник.	Ясній О.П.				ТНТУ, каф. КС, гр. СІс-42						
Реценз.											
Н. Контр.	Тиш Є.В,										
Затверд.	Осухівська Г.М										



Трекери Vive відповідають за відстеження положення руки в рукавичці та просторі. Базові станції приймають сигнали від трекерів та HMD та забезпечують їх стійку орієнтацію у просторі. Запущена на комп'ютері програма Unity отримує цю інформацію, обробляє її відповідно до програми та виводить картинку на екрани (на шолом користувача та на монітор комп'ютера з додатковим меню асистента).

### 3.2 Апаратне забезпечення

Основними компонентами апаратної частини є персональний комп'ютер, гарнітура VR HTC Vive з контролерами та трекерами Vive, базові станції (маяки) SteamVR, розроблена рукавичка, сформована за мотивами напрацювань попередників [36-38].

Зібрана рукавичка (рис. 3.2) на даний момент є не остаточним, а випробувальним рішенням. Компоненти рукавички: звичайна тканинна рукавичка, давачі вигину (виробник Spectra Symbol), Arduino Mega 2560 на базі мікроконтролера ATmega2560, UART-USB кабель, множина сполучних проводів типу "мама-тато", що використовуються для подовження, з'єднання частин на платах Arduino.

У ході розробки рішення були спроби впровадити сенсор IMU для відстеження обертання, орієнтації рукавички в просторі. Однак виникли проблеми з дрейфом та накопиченням похибок вимірів, а саме з ризиканням.

					<i>КС КРБ 123.313.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						33
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

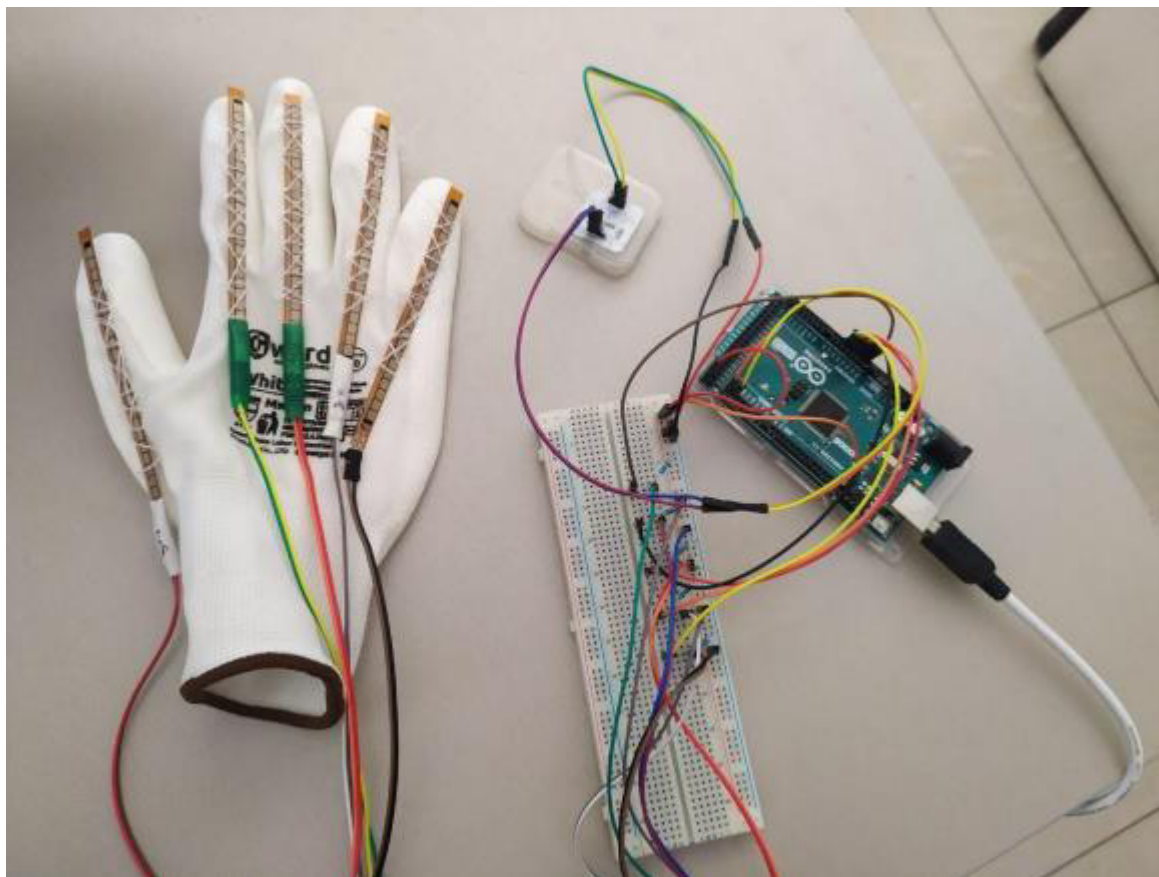


Рисунок 3.2 – Зібрана рукавичка (на стадії перевірки концепції)

Після дослідження цієї проблеми були отримані висновки, що, можливо, проблема лежить у фільтрі Madgwick, у доданому до сенсора бібліотеці, або в самому сенсорі. Через це на поточній стадії було вирішено відмовитись від його використання. У подальших версіях рішення можлива зміна IMU сенсора, його впровадження та використання у комбінації з Vive трекером.

У наступних версіях рукавички планується використання меншої версії мікроконтролера, наприклад Arduino Nano, або використання іншого мікроконтролера, який буде підібраний за певними, потрібними параметрами кількості аналогових і цифрових виходів, кількості пам'яті для вбудованого ПЗ і т.д. Це дозволить додатково знизити підсумкову вартість системи, оскільки плати Arduino мають більшу вартість, ніж звичайні, менш відомі варіанти. Також планується додати Bluetooth адаптер та акумулятор для бездротового використання рукавички та вібродвигуни для отримання тактильного зворотного зв'язку.

					КС КРБ 123.313.00.00 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.3 Програмне забезпечення

Так як рукавичка базується на контролері Arduino, скрипт для неї був написаний у програмі, котру надає компанія виробник Arduino IDE. Цей скрипт зчитує дані з датчиків гнучкості, які одержує у вигляді значень опору (рис. 3.3). Потім він переводить значення опору нові значення в діапазоні 0-100 для кращого розуміння і зручності використання їх далі в Unity.

Було написано метод для калібрування цих значень на основі значень згинання, розгинання протягом кількох секунд. Надалі буде створено окрему сцену для зручного калібрування з докладними інструкціями та вказівками. Ardity [39], рішення з відкритим вихідним кодом, використовувалося для з'єднання через COM -порт контролера Arduino та програми Unity.

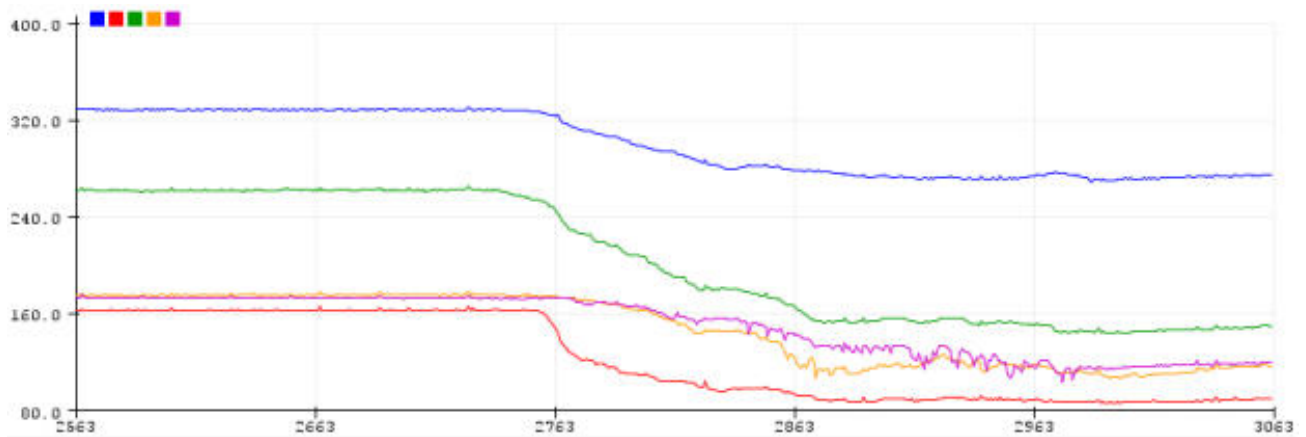


Рисунок 3.3 – Значення, що отримуються з датчиків вигину

Для написання програм було використане середовище розробки Unity версії 2020 LTS. Для VR був використаний новий стандарт OpenXR, що спрощує процес розширення та оновлення у майбутньому, у тому числі для інших платформ.

## 3.4 Взаємодія

### 3.4.1 Рух руки

Знаходиться у компоненті під назвою PhysicsPoser. Логіка роботи компонента така, що якщо рука знаходиться поряд з іншим фізичним об'єктом, що має колайдери, і недалеко від реального положення, вона плавно переміщається і обертається за допомогою вбудованого фізичного рушія Unity, в іншому випадку вона поміщається прямо в цільову позицію, минаючи фізичний двигун.

На рис. 3.4 показані зелені капсули колайдерів, які є фізичним представленням частин руки в двигуні. У основи кисті та на кожній фаланзі кріпляться компоненти ArticulationBody. Вони працюють як суглоби, тому при застосуванні зовнішньої сили пальці згинаються. Згинання можна виконати, виставивши потрібні значення, що використовується при захопленні.

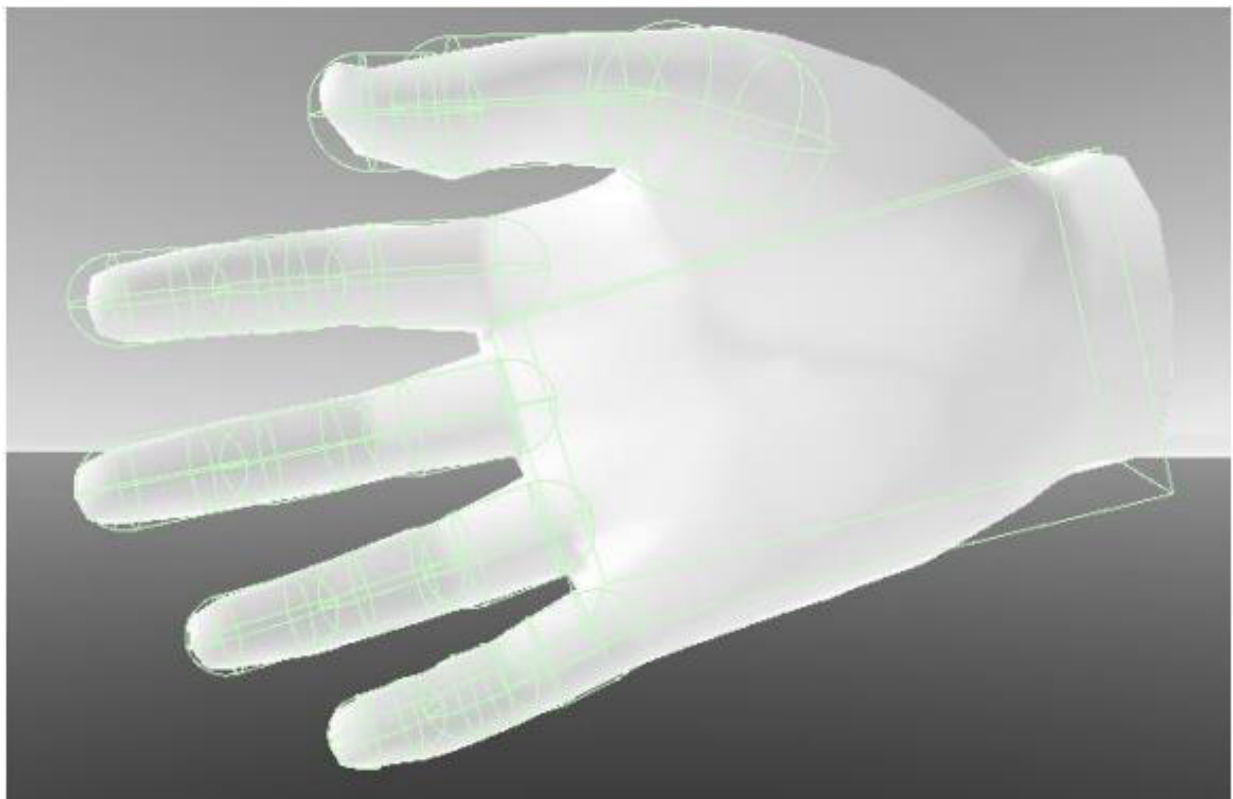


Рисунок 3.4 – Колайдери руки

### 3.4.2 Система захоплення об'єктів

На рис. 3.5 показаний пайплайн, послідовність з основними компонентами системи захоплення та порядком потоку інформації. Він складається із 4 логічних блоків, 5 компонентів. Далі кожен із них буде описаний докладніше.

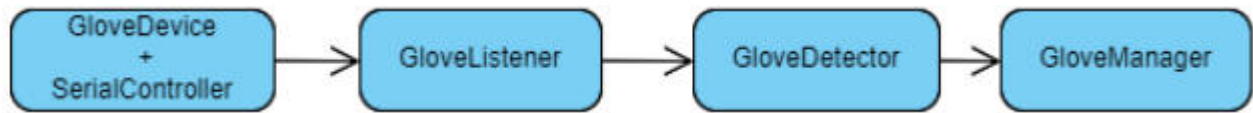


Рисунок 3.5 – Пайплайн захоплення

GloveDevice, SerialController. Дані компоненти відповідають за прийняття інформації з рукавички, її контролера та інтерпретацію цієї інформації. Компонент GloveDevice визначає рукавичку, як пристрій, що виконується серед Unity, його характеристики. Компонент SerialController отримує інформацію із зазначеного COM-порту і передає її в GloveListener та екземпляр GloveDevice в рамках середовища введення.

GloveListener. Отримуючи інформацію про поточний стан важливих складових рукавички з попередніх компонентів, перетворює їх у необхідні значення кута згину фаланг та змінює кут суглобів, згинаючи пальці віртуальної руки.

GloveDetector. Компонент на фалангах пальців. Визначає, коли ця фаланга, частина пальця, стосується об'єкта і повідомляє про це GloveManager.

GloveManager. Оперує інформацією, отриманою із групи компонентів GloveDetector. Перевіряє 2 групи виявлення: на великому пальці та інших. Умови для захоплення: щоб принаймні один GloveDetector з кожної групи сигналізував про зіткнення, немає захоплення іншого об'єкта на поточний момент, є мінімальний необхідний рівень згину. Захоплення об'єкта здійснюється за серединною точкою, отриманою з точок дотику, про які сигналізують компоненти GloveDetector.

Відчуття ваги предметів під час захоплення різних предметів також є важливим моментом для занурення [40]. Було реалізовано ефект ваги для

					КС КРБ 123.313.00.00 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

предметів та ефект прозорої проєкції. Залежно від ваги предмета змінюється рух віртуального становища до реального. Рух із захопленням важким об'єктом відчувається з більшою інерцією, з меншою швидкістю і візуальним зміщенням, що показує тяжкість об'єкта. Прозора проєкція руки (рис. 3.6) використовується і показується при досягненні помітної різниці в положеннях віртуальної та реальної руки, що допомагає користувачеві не губитися і потрібно для більш чіткого, чіткого розуміння.

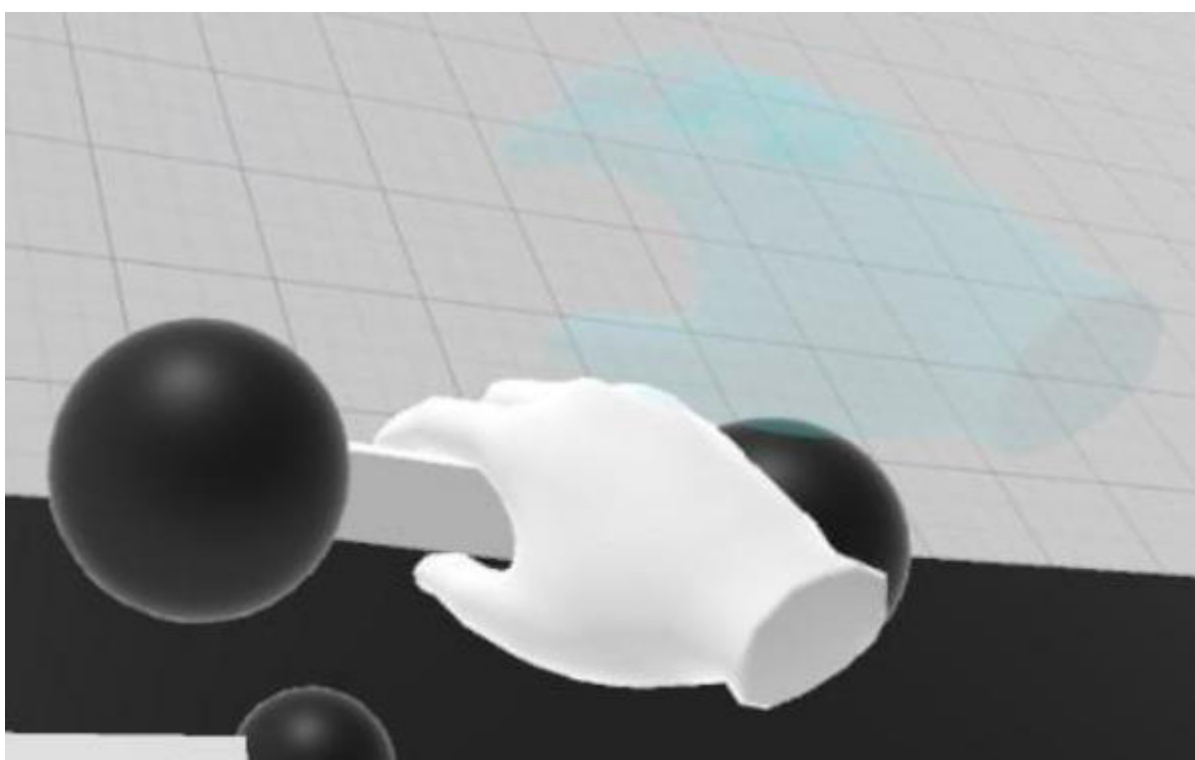


Рисунок 3.6 – Піднімання об'єкта з вагою та прозора проєкція руки

### 3.5 Вправи

У ході цієї роботи було спроектовано та розроблено комплекс вправ. Для кожної вправи була створена сцена, оточення для неї, а також написані компоненти, для виконання логіки кожної з вправ відповідно до їх умов. У табл. 3.1 можна побачити список всіх розроблених сцен вправ, де у першому стовпці представлені назви вправ, у другому - їх короткий опис, й у третьому - критерій успіху успішного завершення вправи користувачем.

					<b>КС КРБ 123.313.00.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Таблиця 3.1 – Список розроблених вправ

Вправа	Опис	Критерій успіху
Lever	Пацієнту потрібно потягнути за важіль, який має поступово наростаючу тугість (чим ближче до кінця, тим тугіше)	Кут важеля більший або дорівнює цільовому куту
Glowing points	З'являються крапки, що світяться, і хворому потрібно потрапити по них пальцем	Пацієнту необхідно потрапити за необхідною кількістю точок або потрапити за найбільшою кількістю точок за відведений час
Ball tossing	Пацієнт підкидає м'яч пальцем вгору	Підкинути м'яч на певну висоту задану кількість разів
Cubes (BBT)	Box and Blocks Test. Пацієнту необхідно перемістити кубики з одного відсіку до іншого	Перемістити потрібну кількість кубиків або найбільшу кількість за відведений час
Ball and glass	Пацієнт повинен схопити кульку, покласти її в склянку, потім піднести склянку до губ і випити	Покласти м'яч у склянку, піднести його до голови, викотити кульку зі склянки на обличчя
Door	Відкриття дверей	Повернути ручку на потрібний кут, відкрити двері на потрібний кут
Jar	Відкриття кришки банки	Повернути кришку банки на потрібний кут
Flex fingers	Вправа на згинання пальців	По черзі згинати-розгинати кожен палець на необхідний кут, наприкінці згинати-розгинати всі пальці одночасно
Flex wrist	Вправа на згинання зап'ястя	Згинання-розгинання зап'ястя до необхідного кута
Moving objects	Сцена, що містить об'єкти різного розміру, форми та ваги	Наразі немає критеріїв успіху



### 3.6 Допоміжні інструменти

Меню помічника (рис. 3.7) використовується лікарем або родичем для налаштування параметрів або для допомоги в деяких службових діях. У лівій частині екрана знаходяться універсальні налаштування, а в правій - спеціальні налаштування поточної вправи, якщо вони є. Логіка дій кнопок універсальних налаштувань, пов'язаних із роботою інтерфейсу для помічника, задаються у компоненті ExerciseSettingsUI.



Рисунок 3.7 – Меню помічника

Опишемо схему роботи, зверху вниз за зображенням.

На самому верху автоматично вводиться назва вправи на основі імені поточної сцени і в той же момент назва відправляється в компонент системи прогресу ProgressSystem, що відповідає за збереження та завантаження результатів вправи, щоб вона збереглася у відповідній директорії.

Другим за списком йде таймер, що показує час, що минув зі старту вправи.

Третім пунктом йде список, що розкривається, з підключеними портами, оновлення якого йде на початку запуску сцени вправи або по кнопці, що

					КС КРБ 123.313.00.00 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



знаходиться поруч. У цьому списку вибирається порт, яким підключена рукавичка.

Під номером чотири знаходиться текстове поле, в яке вписується ідентифікатор поточного користувача.

П'ятим йде список, що розкривається, з усіма доступними вправами. Через нього можна вибрати та перейти на сцену іншої вправи.

Знизу знаходяться кнопки Recenter та Restart. Recenter відповідає за скидання центрування, щоб у разі зміщення користувача під час ініціалізації віртуального простору була можливість розташувати його у вихідній точці появи. Кнопка Restart відповідає за перезапуск поточної сцени, якщо виникли якісь проблеми або користувач хоче спробувати почати заново, не чекаючи кінця поточної сесії

Інтерактивне меню на руці (рис. 3.8) дозволяє пацієнту самостійно і швидко виконувати основні дії, що найчастіше використовуються всередині VR-застосунку. За допомогою нього можна скинути центр положення користувача, перезапустити сцену вправи, викликати меню зі списком недавніх результатів цієї вправи та перейти на сцену вибору вправ.

Меню з'являється, коли ви повертаєте лицьову сторону долоні до обличчя. Таким чином, воно буде з'являтися тільки за необхідності і решту часу воно не заважатиме процесу тренування.

					<i>КС КРБ 123.313.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		41



Рисунок 3.8 – Інтерактивне меню, розташоване на руці

Було розроблено систему збереження та перегляду прогресу пацієнта. Збереження прогресу здійснюється на комп'ютері користувача в текстовому форматі для представлення структурованих даних JSON. Збереження в папці впорядковано в такий спосіб. Папка проекту – saves – введене ім'я користувача під час проходження вправи – назва вправи – файл збереження, що містить дату та час проходження.

На графі прогресу (рис. 3.9) пацієнт чи лікар можуть динамічно переглядати раніше збережений прогрес.



Рисунок 3.9 – Граф прогресу

У списку, що розкривається, користувач може змінити вправу, що відображається. У текстовому полі збоку користувач може вписати бажане ім'я для показу. За допомогою кнопок «+» та «-» користувач може змінити кількість відображених збережених днів. Якщо одного і того ж дня було кілька збережень, відображається найкраще з них.

Розмір графіка автоматично підлаштовується як під кількість збережень, і під значення. При наведенні курсору на елемент збереження з'являється підказка з точним значенням вибраного елемента. Прогрес може відображатися у двох видах: лінійний графік та стовпчаста діаграма.

## РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

### 4.1 Працездатність людини – оператора

Під працездатністю людини розуміють можливість її виконувати роботу з необхідною якістю та в установлений час.

Працездатність людини залежить як від зовнішніх чинників, так і від внутрішнього стану (внутрішні чинники). До зовнішніх чинників належать: кількість та форма отриманої інформації, зручність робочого місця, характер взаємовідносин в колективі, вплив чинників середовища існування. До внутрішніх чинників належать: рівень підготовки, тренуваність людини та її емоційна стійкість [41].

У процесі роботи людина переживає різні функціональні стани, які зумовлюють різні рівні її працездатності.

На рисунку 4.1 наведено зміни функціонального стану та якості роботи людини у процесі одного трудового циклу (зміни). Виділяють 4 фази працездатності: пристосування до праці, стійкої працездатності, субкомпенсації, втоми. Тривалість усіх фаз та усього циклу роботи залежить від рівня підготовки людини до роботи [41].

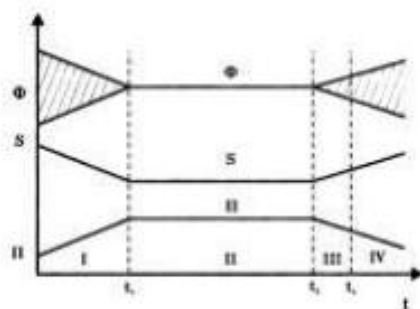


Рисунок 4.1 – Фази працездатності

					<b>КС КРБ 123.313.00.00 ПЗ</b>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Гуйван Д.О.			Літ.	Арк.	Аркушів
Керівник.		Ясній О.П.					
Реценз.					ТНТУ, каф. КС, гр. СІс-42		
Н. Контр.		Тиш Є.В.					
Затверд.		Осухівська Г.М.					

Тут  $\Phi$  – показник функціонального стану;

Б – помилки роботи;

П – продуктивність праці.

Фаза пристосування до праці (0 – 1) – це час, протягом якого людина адаптується до майбутніх умов праці. Основний показник поступово досягає свого встановленого значення. Тривалість періоду пристосування організму до умов праці залежить від багатьох чинників, серед яких основними є інтенсивність роботи (чим інтенсивніша робота, тим цей період коротший) та рівень готовності людини до майбутньої роботи.

Значного скорочення фази пристосування до праці можна досягти за рахунок попередньої підготовки людини до роботи (виконання фізичних вправ, адаптації зору, слуху та ін.) та шляхом посиленого навчального навантаження. Суть останнього полягає в тому, що оператор перед початком роботи проводить короткочасне тренування щодо розв'язання однієї чи кількох задач підвищеної складності.

Фаза стійкої працездатності ( $t_1 - t_2$ ) характеризується найвищою якістю праці при оптимальних рівнях функціонування фізіологічних систем організму. Тривалість цього періоду залежить від інтенсивності роботи. Чим інтенсивніша праця, тим коротший цей період. Найоптимальніша динамічна робота, коли цей період може бути в десятки разів довшим, ніж при статичній діяльності.

На процес стійкої працездатності великий вплив справляють емоції. Негативні (страх, невпевненість, поганий настрій) знижують працездатність. Позитивні (впевненість, спокій, бадьорий настрій) значно продовжують період стійкої працездатності.

Продовження періоду стійкої працездатності можна забезпечити [41]:

- оптимальним рівнем напруги психофізіологічних функцій;
- комфортними умовами праці;
- правильним поєднанням режимів праці та відпочинку;
- емоційним розвантаженням;

					<b>КС КРБ 123.313.00.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

– використанням тонізуючих напоїв (кава, чай), фармакологічних засобів, зокрема препаратів рослинного походження (вітаміни, препарати, які впливають на енергетичні та метаболічні процеси);

– інформуванням людини про наслідки її діяльності, наглядом та контролем її роботи.

Практичний досвід свідчить, що вживання легких стимуляторів допомагає знизити сонливість, сприяє підвищенню працездатності на короткий період [42]. Однак активні стимулятори на відповідальних видах робіт здатні викликати негативний ефект – погіршується самопочуття, знижується рухливість та швидкість реакцій. Поширене серед населення вживання транквілізаторів, викликаючи заспокоєння та запобігаючи розвитку неврозів, може знизити психічну активність, сповільнити реакції, спричинити апатію та сонливість.

Фаза субкомпенсації ( $t_2 - t_3$ ) розглядається як початок розвитку втоми. В цей період якість праці ще зберігається на високому рівні, але тільки за рахунок перенапруги відповідних функцій організму.

Фаза втоми (з моменту у характеризується чітко вираженим зниженням якості роботи при подальшому погіршенні функціонального стану людини. Об'єктивними показниками втоми є зміна частоти пульсу, дихання, зорової та слухової чутливості.

Наступною фазою життєдіяльності людини повинна бути фаза відновлення працездатності (відпочинку), яка може тривати від 3 до 5 хвилин; 60 — 90 хв. і навіть декілька діб.

Раціональний режим праці та відпочинку передбачає дотримання певної тривалості безперервної роботи на персональному комп'ютері і перерв, регламентованих з урахуванням тривалості робочої зміни, виду трудової діяльності. Для попередження передчасної стомлюваності операторів ПК рекомендується організувати робочу зміну шляхом чергування робіт з використанням персонального комп'ютера і без нього [42].

При виникненні у працюючих з ПК зорового дискомфорту та інших несприятливих суб'єктивних відчуттів, незважаючи на дотримання

					<i>КС КРБ 123.313.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

санітарногігієнічних і ергономічних вимог, рекомендується застосовувати індивідуальний підхід з обмеженням часу роботи з ПК.

У випадках, коли характер роботи вимагає постійної взаємодії з ВДТ (набір текстів або введення даних тощо) з напругою уваги та зосередженості, при виключенні можливості періодичного перемикання на інші види трудової діяльності, не пов'язані з ПК, рекомендується організація перерв на 10 -15 хвилин через кожні 45-60 хвилин роботи. Тривалість безперервної роботи з ВДТ без регламентованого перерви не повинна перевищувати однієї години.

Сумарний час регламентованих перерв залежить від тривалості роботи, виду та категорії трудової діяльності з використанням ПК (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Сумарний час регламентованих перерв залежно від тривалості роботи, виду та категорії трудової діяльності з ПК

Категорія роботи з ПК	Сумарний час регламентованих перерв, хв	
	при 8-годинній зміні	при 12-годинній зміні
I	50	80
II	70	110
III	90	140

Під час регламентованих перерв з метою зниження нервово-емоційного напруження, стомлення зорового аналізатора, усунення впливу гіподинамії та гіпокінезії, запобігання розвитку позотонічної (статичного) втоми доцільно виконувати спеціально розроблені комплекси вправ.

#### 4.2 Вимоги ергономіки до організації робочого місця оператора ПК

Для збереження працездатності й попередження розвитку захворювань опорно-рухового апарату операторів ПК необхідно організувати для них робочі місця, що відповідають вимогам ДСТУ. Виконання цих вимог показані на рис.

					КС КРБ 123.313.00.00 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2 і приведено конструктивні особливості встановлюваних робочих столів і стільців, що забезпечують можливість індивідуального регулювання відповідно росту працюючих і створення для них зручної пози [42].

При правильній організації робочого місця продуктивність праці оператора зростає на 8 – 20%. Відповідно до ДСТУ конструкція робочого місця й розташування всіх його елементів повинна відповідати антропометричним, фізичним і психологічним вимогам. Велике значення має також характер роботи. Зокрема, при організації робочого місця оператора ПК повинні бути дотримані наступні основні умови:

- оптимальне розміщення устаткування, що входить до складу робочого місця;
- достатній робочий простір, що дозволяє здійснювати всі необхідні рухи й переміщення;
- необхідно природне й штучне освітлення для виконання поставлених завдань;
- рівень акустичного шуму не повинен перевищувати допустимого значення.

Головними елементами робочого місця оператора є письмовий стіл і крісло. Основним робочим положенням є положення сидячи. Робоча поза сидячи викликає мінімальне стомлення оператора ПК. Раціональне планування робочого місця передбачає чіткий порядок і сталість розміщення предметів, засобів праці й документації. Те, що потрібно для виконання робіт частіше, розташовано в зоні легкої досяжності робочого простору.

Моторне поле – простір робочого місця, у якому можуть здійснюватися рухові дії людини [42].

Максимальна зона досяжності рук – це частина моторного поля робочого місця, обмеженого дугами, описуваними максимально витягнутими руками при русі їх у плечовому суглобі. Оптимальна зона – частина моторного поля робочого місця, обмеженого дугами, описуваними передпліччями при русі в

					<b>КС КРБ 123.313.00.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48



ліктьових суглобах з опорою в точці ліктя й з відносно нерухомим плечем. Зони досяжності рук у горизонтальній площині зображено на рис. 4.2.

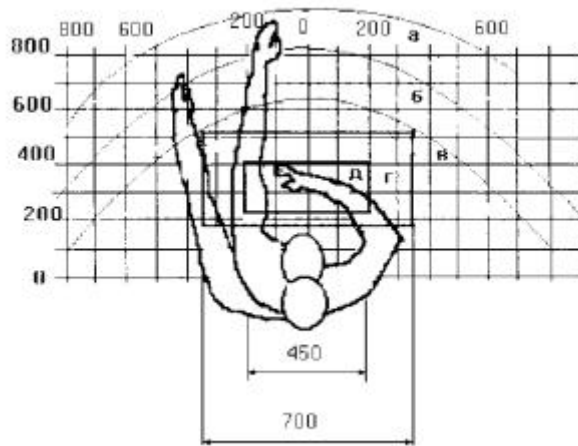


Рисунок 4.2 – Зони досяжності рук у горизонтальній площині

а - зона максимальної досяжності; б - зона досяжності пальців при витягнутій руці; в - зона легкої досяжності долоні; г - оптимальний простір для грубої ручної роботи; д - оптимальний простір для тонкої ручної роботи.

Розглянемо оптимальне розміщення предметів праці й документації в зонах досяжності рук [42]:

- монітор розміщується в зоні а (у центрі);
- клавіатура - у зоні г/д;
- системний блок розміщується в зоні б (ліворуч);
- принтер перебуває в зоні а (праворуч);
- документація - у зоні легкої досяжності долоні - в (ліворуч) - література й документація, необхідна при роботі;
- висота стола повинна бути обрана з урахуванням можливості сидіти вільно, у зручній позі, при необхідності опираючись на підлокітники;
- нижня частина стола повинна бути сконструйована так, щоб користувач ПК міг зручно сидіти, не був змушений підтискати ноги;

					КС КРБ 123.313.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

– поверхня стола повинна мати властивості, що виключають появу відблисків у полі зору користувача;

– конструкція стола повинна передбачати наявність висувних ящиків (не менш 3 для зберігання документації, літератури, особистих речей).

Параметри робочого місця вибираються відповідно до антропометричних характеристик. При використанні цих даних у розрахунках варто виходити з максимальних антропометричних характеристик.

При роботі в положенні сидячи рекомендуються наступні параметри робочого простору: ширина - не менш 700мм; глибина - не менш 400мм; висота робочої поверхні стола над підлогою 700-750мм. Оптимальними розмірами стола є: висота 710мм; довжина стола 1300мм; ширина стола 650мм.

Під робочою поверхнею має бути передбачений простір для ніг: висота - не менш 600мм; ширина - не менш 500мм; глибина - не менш 400мм.

Важливим елементом робочого місця оператора ПК є крісло. При проектуванні крісла виходять із того, що при будь-якому робочому положенні оператора його поза повинна бути фізіологічно правильною, тобто положення частин тіла повинне бути оптимальним.

Для задоволення вимог фізіології, що впливають із аналізу положення тіла людини в положенні сидячи, конструкція робочого сидіння повинна задовольняти наступним основним вимогам:

– допускати можливість зміни положення тіла, тобто забезпечувати вільне переміщення корпусу й кінцівок тіла;

– допускати регулювання висоти залежно від росту працюючої людини ( у межах від 400 до 550мм );

– радіус кривизни в горизонтальній площині 400мм;

– кут нахилу спинки повинен змінюватися в межах 90-110° до площини сидіння.

					<b>КС КРБ 123.313.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

Інсульт та багато інших захворювань є проблемою для повноцінного повсякденного життя багатьох людей. Тому вивчення нових потенційних шляхів з використанням галузей техніки, що розвиваються, є одним з найбільш ймовірних способів поліпшення процесу реабілітації. VR як одна з таких областей може забезпечити суттєво новий рівень занурення, який потенційно може покращити комфорт, ефективність, а також зменшити біль під час процесу реабілітації.

В рамках виконаної роботи було проведено аналіз сучасних технологій, підходів, досліджень щодо реалізації реабілітаційних тренажерів VR.

Як одне з можливих рішень, були розроблені та представлені як основні частини роботи: рукавички та її інтеграція у додаток, правдоподібний рух, захоплення, взаємодія з віртуальним оточенням, так і різні додаткові інструменти: система збереження, завантаження прогресу, інтерактивний граф для перегляду динаміки прогресу, меню помічника для допомоги в налаштуванні процесу та його керуванням, допоміжне інтерактивне меню зі швидким доступом на руці, множина різноманітних вправ і т.д.

Надалі планується зробити нову рукавичку з Bluetooth, двигунами тощо, щоб зробити рукавичку більш компактною та зручною у використанні; відполірувати та розширити вправи. Також у планах отримати рекомендації від медиків та провести експеримент із групою пацієнтів з аналізом результатів та анкетуванням.

Планується подальший розвиток та впровадження розробки.

					КС КРБ 123.313.00.00 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Mekbib D. B. et al. Virtual reality therapy for upper limb rehabilitation in patients with stroke: a meta-analysis of randomized clinical trials // *Brain injury*. 2020. V. 34. №. 4. P. 456-465.
2. Skorenkyu, Yu., Kozak, R., Zagorodna, N., Kramar, O., Baran, I. Use of augmented reality-enabled prototyping of cyber-physical systems for improving cybersecurity education. *Journal of Physics: Conference Series.*, 2021, 1840(1), 012026.
3. Oleh Pastukh, Volodymyr Stefanyshyn, Ihor Baran, Ihor Yakymenko and Vasyl Vasylykiv. Mathematics and software for controlling mobile software devices based on brain activity signals. *CEUR Workshop Proceedings*, 2023, 3628, pp. 330–337.
4. Webster A. et al. The co-design of hand rehabilitation exercises for multiple sclerosis using hand tracking system // *Biomedical visualisation*. Springer, Cham, 2019. P. 83-96.
5. Joo S. Y. et al. Effects of virtual reality-based rehabilitation on burned hands: a prospective, randomized, single-blind study // *Journal of clinical medicine*. 2020. V. 9. №. 3. P. 731.
6. GBD 2016 Lifetime Risk of Stroke Collaborators. Global, regional, and country-specific lifetime risks of stroke, 1990 and 2016 // *New England Journal of Medicine*. 2018. V. 379. №. 25. P. 2429-2437.
7. Palamar A., Karpinski M., Palamar M., Osukhivska H., Mytnyk M. Remote Air Pollution Monitoring System Based on Internet of Things. *CEUR Workshop Proceedings, 2nd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems (ITTAP 2022)*, Ternopil, Ukraine, November 22–24, 2022. Vol. 3309. P. 194-204..
8. Lai S. M. et al. Persisting consequences of stroke measured by the Stroke Impact Scale // *Stroke*. 2002. V. 33. №. 7. P. 1840-1844.

					КС КРБ 123.313.00.00 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

9. Tran J. E. et al. Immersive Virtual Reality to Improve Outcomes in Veterans With Stroke: Protocol for a Single-Arm Pilot Study // *JMIR Research Protocols*. 2021. V. 10. №. 5. P. e26133.

10. Hoffman H. G. et al. Virtual reality hand therapy: A new tool for nonopioid analgesia for acute procedural pain, hand rehabilitation, and VR embodiment therapy for phantom limb pain // *Journal of Hand Therapy*. 2020. V. 33. №. 2. P. 254-262.

11. Arduino. URL: <https://www.arduino.cc/> (дата звертання: 16.04.2024).

12. Raspberry Pi. Teach, learn, and make with the Raspberry Pi Foundation. URL: <https://www.raspberrypi.org/> (дата звертання: 16.04.2024).

13. Dexta Robotics - Touch the Untouchable. URL: <https://www.dextarobotics.com/> (дата звертання: 18.04.2024).

14. Haption. URL: <https://www.haption.com/en/> (дата звертання: 18.04.2024).

15. VRGluв. Force Feedback Haptic Gloves for VR Training. URL: <https://www.vrgluв.com/> (дата звертання: 19.04.2024).

16. Manus. Finger & Full-body tracking for Mocap and VR. URL: <https://www.manusmeta.com/> (дата звертання: 19.04.2024).

17. WEART. Just a Touch Away - Weart - Haptic Feedback Technology. URL: <https://www.weart.it/> (дата звертання: 19.04.2024).

18. BeBop Sensors. Intelligent Sensing Technologies | BeBop Sensors. URL: <https://bebopsensors.com/> (дата звертання: 21.04.2024).

19. Senso Devices. URL: <https://senso.me/> (дата звертання: 21.04.2024).

20. Noitom. Noitom Motion Capture Systems | Motion Capture for All. URL: <https://www.noitom.com/> (дата звертання: 21.04.2024).

21. HaptX. Haptic gloves for virtual reality and robotics | HaptX. URL: <https://haptx.com/> (дата звертання: 22.04.2024).

22. SenseGlove. SenseGlove | Feel the virtual like it's real. URL: <https://www.senseglove.com/> (дата звертання: 22.04.2024).

23. Abdallah I. B., Bouteraa Y., Rekik C. DESIGN AND DEVELOPMENT OF 3D PRINTED MYOELECTRIC ROBOTIC EXOSKELETON FOR HAND

					КС КРБ 123.313.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

REHABILITATION // *International Journal on Smart Sensing & Intelligent Systems*.  
2017. V. 10. №. 2.

24. Chen X. et al. A wearable hand rehabilitation system with soft gloves // *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. 2020. V. 17. №. 2. P. 943-952.

25. Liu H. et al. High-fidelity grasping in virtual reality using a glove-based system // *2019 international conference on robotics and automation (icra)*. IEEE, 2019. P. 5180-5186.

26. Wang X. et al. Haptic Glove for Object Recognition and Hand Motion Detection // *2020 Chinese Automation Congress (CAC)*. IEEE, 2020. P. 7192-7196.

27. SteamVR. URL: <https://www.steamvr.com/> (дата звертання: 23.04.2024).

28. Oculus Developer Center | Overview. URL: <https://developer.oculus.com/> (дата звертання: 24.04.2024).

29. OpenXR. URL: <https://www.khronos.org/openxr/> (дата звертання: 24.04.2024).

30. Wheatland N. et al. State of the art in hand and finger modeling and animation // *Computer Graphics Forum*. 2015. V. 34. №. 2. P. 735- 760.

31. OmniVR Virtual Reality Therapy System. URL: <https://www.acplus.com/omnivr/> (дата звертання: 27.04.2024).

32. VAST.Rehab - virtual reality rehabilitation with biofeedback. URL: <https://vast.rehab/> (дата звертання: 27.04.2024).

33. SaeboVR | VR Rehab System for Stroke Recovery | Saebo. URL: <https://www.saebo.com/shop/saebovr/> (дата звертання: 28.04.2024).

34. The REAL® System, Virtual Reality Rehabilitation Tool. URL: <https://www.realsystem.com/> (дата звертання: 28.04.2024).

35. NEURO REHAB VR. XR THERAPY SYSTEM. URL: <https://www.neurorehabvr.com/> (дата звертання: 29.04.2024).

36. Shigapov M., Kugurakova V., Zykov E. Design of digital gloves with feedback for VR // *2018 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS)*. IEEE, 2018. P. 1-5.

					КС КРБ 123.313.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

37. Shigapov M., Kugurakova V. Design and development of a hardware and software system for simulation of feedback tactility // *2021 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON)*. IEEE, 2021. P. 1-6.

38. Z. Shang and Z. Shen, "Single-pass inline pipeline 3D reconstruction using depth camera array," *Autom Constr*, vol. 138, p. 104231, 2022.

39. Ardity: Arduino + Unity over COM ports. URL: <https://ardity.dwilches.com/> (дата звертання: 30.04.2024).

40. Rietzler M. et al. Breaking the tracking: Enabling weight perception using perceivable tracking offsets // *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. 2018. P. 1-12.

41. Толок А.О., Крюковська О.А. Безпека життєдіяльності: Навч. посібник. 2011. 215 с.

42. Основи охорони праці: Підручник.; 3-тє видання, доповнене та перероблене / За ред. К. Н Ткачука. К.: Основа, 2011. 480 с.

43. Осухівська Г. М., Тиш Є. В., Луцик Н. С., Паламар А. М. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційних робіт здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія» усіх форм навчання. Тернопіль, ТНТУ. 2022. 28 с.

44. Zagrodna, N., Skorenkyu, Y., Kunanets, N., Baran, I., Stadnyk, M. Augmented Reality Enhanced Learning Tools Development for Cybersecurity Major. *CEUR Workshop Proceedings*, 2022, 3309, pp. 25–32.

					<b>КС КРБ 123.313.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток А.  
Технічне завдання



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

**“Затверджую”**

Завідувач кафедри КС

\_\_\_\_\_ Осухівська Г.М.

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 р

**КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ МОБІЛЬНОСТІ  
РУКИ ПАЦІЄНТА З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЙ ВІРТУАЛЬНОЇ  
РЕАЛЬНОСТІ**

**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

на 9 листках

**Вид робіт:**

Кваліфікаційна робота

**На здобуття освітнього ступеня «Бакалавр»**

**Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»**

**«УЗГОДЖЕНО»**

Керівник кваліфікаційної роботи

\_\_\_\_\_ д.т.н., проф. Ясній О.П.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.

**«ВИКОНАВЕЦЬ»**

Студент групи СІс-42

\_\_\_\_\_ Гуйван Д.О.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.

**Тернопіль 2024**

# 1 Загальні відомості

## 1.1 Повна назва та її умовне позначення

Повна назва теми кваліфікаційної роботи: «Комп'ютеризована система для відновлення мобільності руки пацієнта з використанням технологій віртуальної реальності».

Умовне позначення кваліфікаційної роботи: КС КРБ 123.313.00.00

## 1.2 Виконавець

Студент групи СІс-42, факультету комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедри комп'ютерної інженерії, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, Гуйван Дмитро Олександрович.

## 1.3 Підстава для виконання роботи

Підставою для виконання кваліфікаційної роботи є наказ по університету (№ 4/7-468 від 26.04.2024 р.)

## 1.4 Планові терміни початку та завершення роботи

Плановий термін початку виконання кваліфікаційної роботи – 27.04.2024 р.

Плановий термін завершення виконання кваліфікаційної роботи – 23.06.2024 р.

## 1.5 Порядок оформлення та пред'явлення результатів роботи

Порядок оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу здійснюється у відповідності до чинних норм та правил ІСО, ГОСТ, ЕСКД, ЕСПД та ДСТУ.

Пред'явлення проміжних результатів роботи з виконання кваліфікаційної роботи здійснюється у відповідності до графіку, затвердженого керівником роботи.

Попередній захист кваліфікаційної роботи відбувається при готовності роботи на 90% , наявності пояснювальної записки та графічного матеріалу.

Пред'явлення результатів кваліфікаційної роботи відбувається шляхом захисту на відповідному засіданні ЕК, ілюстрацією основних досягнень за допомогою графічного матеріалу.

## 2 Призначення і цілі створення системи

### 2.1 Призначення системи

Комп'ютеризована система для відновлення мобільності руки пацієнта з використанням технологій віртуальної реальності призначена розробці системи для віртуальної реальності для пацієнтів у зв'язці з тактильною рукавичкою, яка допоможе пацієнтові прискорити відновлення мобільності руки вдома, гейміфікувати процес одужання, тим самим підвищивши захопленість пацієнта.

До складу системи повинні входити як апаратна складова, так і програмна.

Доцільність створення зумовлена тим фактом, що програмних додатків, котрі використовують віртуальну реальність для реабілітації кінцівок, недостатньо, щоб кожен зміг оцінити переваги такого підходу.

### 2.2 Мета створення системи

Основна мета створення комп'ютеризованої системи для відновлення мобільності руки пацієнта з використанням технологій віртуальної реальності полягає у створення тренажера для відновлення мобільності руки пацієнта з використанням технологій віртуальної реальності у зв'язці з тактильною рукавичкою.

Для того, щоб досягти поставленої мети роботи, необхідно розв'язати наступні задачі:

- провести аналіз дотичних предметних областей;
- розробити систему реалістичного відображення кисті у віртуальному

просторі, її руху та взаємодії з віртуальним оточенням;

- реалізувати зчитування та передачу даних з тактильної програми, її інтеграцію у додаток;

- продумати та створити комплекс вправ;

- розробити додатковий допоміжний функціонал тренажерної системи, необхідний для комфортної довгострокової реабілітації.

## 2.3 Характеристика об'єкту

### 2.3.1 Основні задачі та функції об'єкту

Комп'ютеризована система для відновлення мобільності руки пацієнта з використанням технологій віртуальної реальності може використовуватись закладами охорони здоров'я для покращення процесу реабілітації пацієнтів з проблемами моторики рук із занурення у віртуальну реальність. Така реабілітація дає змогу краще засвоювати захоплення предметів кістю руки через візуалізацію, причому це стосується різного віку, від дошкільнят до дорослих людей. Згодом реабілітаційний процес стане ще продуктивнішим та цікавішим завдяки розвитку технології віртуальної реальності.

При проектуванні складових системи, зокрема апаратного і програмного забезпечення, необхідно проаналізувати предметну область та розробити концептуальні схеми взаємодії даних.

## 3 Вимоги до системи

### 3.1 Вимоги до системи в цілому

Комп'ютеризована система для відновлення мобільності руки пацієнта з використанням технологій віртуальної реальності є тренажерною системою для відновлення мобільності руки у ігровій формі. Такий спосіб застосування засобів віртуальної реальності має забезпечити, із використанням спеціально розроблених вправ, процес реабілітації у ігровій формі.

Розробка повинна забезпечувати використання на платформах Windows. В цілому, у проектованій системі повинні бути забезпечені:

- надійність роботи апаратної частини;
- точність захоплення об'єктів;
- продуктивність роботи програмного забезпечення;
- часова ефективність та ефективність використання ресурсів системи.

### 3.1.1 Вимоги до структури та функціонування системи

До структури та функціонування комп'ютеризованої системи для відновлення мобільності руки пацієнта з використанням технологій віртуальної реальності входять: персональний комп'ютер, гарнітура VR HTC Vive з контролерами та трекерами Vive, базові станції (маяки) SteamVR, звичайна тканинна рукавичка, давачі вигину (виробник Spectra Symbol), Arduino Mega 2560 на базі мікроконтролера ATmega2560, UART-USB кабель, множина сполучних проводів типу "мама-тато", що використовуються для подовження, з'єднання частин на платах Arduino. Сенсор IMU для відстеження обертання, орієнтації рукавички в просторі.

В цілому, концептуальна модель комп'ютеризованої системи для відновлення мобільності руки пацієнта з використанням технологій віртуальної реальності повинна описувати предметну область, а саме визначення позиціювання маркерів об'єктів та можливість візуалізації об'єктів.

Функціональні вимоги, що висуваються до системи, виглядають наступним чином:

- зчитування та запису даних від маркерів;
- можливість налаштування параметрів пристрою;
- можливість скидання центру положення користувача, перезапуску сцени вправи;
- виклик меню зі списком недавніх результатів вправи;
- можливість переходу на сцену вибору вправ;
- реалізація збереження результатів та перегляду прогресу пацієнта;
- часова ефективність на рівні 1 с;
- масштабованість програмної та апаратної складових системи.

### 3.1.2 Вимоги до способів та засобів зв'язку між компонентами системи

Взаємодія складових частин рукавички із персональним комп'ютером побудована на використанні кабелю UART-USB з мікроконтролером Arduino. Також до комп'ютера під'єднано VR HMD (Head-mounted display), Vive трекери, базові станції. Трекери Vive відповідають за відстеження положення руки в рукавичці та просторі. Базові станції приймають сигнали від трекерів та HMD та забезпечують їх стійку орієнтацію у просторі. Запущена на комп'ютері програма Unity отримує цю інформацію, обробляє її відповідно до програми та виводить картинку на екрани (на шолом користувача та на монітор комп'ютера з додатковим меню асистента).

### 3.1.3 Вимоги по діагностуванню системи

Діагностика комп'ютеризованої системи для відновлення мобільності руки пацієнта з використанням технологій віртуальної реальності відбувається у відповідності до затвердженого розкладу профілактичних заходів.

### 3.1.4 Перспективи розвитку, модернізація системи

Перспективами розвитку та модернізації комп'ютеризованої системи для відновлення мобільності руки пацієнта з використанням технологій віртуальної реальності є можливий перехід на нові версії апаратного та програмного забезпечення, адаптація та інтеграція з додатковими пристроями користувачів (Bluetooth адаптер та акумулятор для бездротового використання рукавички та вібродвигуни для отримання тактильного зворотного зв'язку). Існуюча апаратна складова системи при цьому не повинна зазнавати значних змін, а програмне забезпечення системи повинно передбачати гнучкість та здатність до масштабування.

### 3.1.5 Вимоги до надійності системи

Комп'ютеризована система для відновлення мобільності руки пацієнта з використанням технологій віртуальної реальності повинна бути захищена на кількох рівнях: фізичному, операційної системи та на рівні доступу до бази даних. Фізичний рівень захисту повинен забезпечувати надійність щодо доступу до апаратного забезпечення.

На рівні операційної системи повинен бути організований доступ на основі визначених прав доступу до використання програмного забезпечення, що функціонує.

Доступ до інформації, що зберігається у базі даних, повинен бути авторизованим на рівні системи керування базами даних. Лише користувачі з наділеним правом доступу та адміністратори мають можливість вносити зміни у базу даних в межах їхньої компетенції.

### 3.1.6 Вимоги до функцій та задач, які виконує система

Функціональні вимоги та задачі, які повинна реалізувати комп'ютеризована система для відновлення мобільності руки пацієнта з використанням технологій віртуальної реальності полягають в наступному:

- можливість зчитування міток на об'єкті ;
- формування зворотного зв'язку при успішній чи невдалій візуалізації моделі;
- надання точних та адекватних результатів;
- забезпечення часової ефективності роботи системи;
- забезпечення зручності використання програмного продукту.

### 3.1.7 Вимоги до апаратного забезпечення

Вимоги до апаратного забезпечення для використання системи:

- процесор – 2,2 ГГц або більш потужний з кількістю логічних ядер >8;
- RAM – 8 ГБ або більше;
- об'єм дискового простору – 1 Тб.

### 3.1.8 Вимоги до програмного забезпечення

- ігровий рушій Unity 2020 LTS;
- Arduino IDE;
- Ardity;
- стандарт OpenXR;

#### 4 Вимоги до документації

Документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ

Комплект документації повинен складатись з:

- пояснювальної записки;
- графічного матеріалу:
  - 1 Аналіз існуючих технічних рішень.
  - 2 UML схема компонентів системи.
  - 3 Конструкція пропонованого рішення.
  - 4 Інтерактивне меню.

\*Примітка: У комплект документації можуть вноситися міни та доповнення в процесі розробки.

#### 5 Техніко-економічні показники

Планована собівартість розробки повинна становити не більше 20 000 грн.

\*Примітка: собівартість системи може змінюватись під час розрахунку в процесі розробки.

#### 6 Стадії та етапи проектування

Таблиця 1 – Стадії та етапи виконання кваліфікаційної роботи бакалавра

№ етапу	Назва етапу виконання кваліфікаційної роботи	Термін виконання
1.	Ознайомлення з завданням до кваліфікаційної роботи	27.04 – 29.04
2.	Розробка технічного завдання	30.04 – 02.05
3.	Підбір джерел про системи відновлення мобільності рук	03.05 – 08.05
4.	Опрацювання літературних джерел	09.05 – 12.05
5.	Виконання дослідження щодо розробки системи відновлення мобільності рук з використанням віртуальної реальності	13.05 – 16.05
6.	Розроблення програмного коду	17.05 – 20.05
7.	Оформлення розділу «Аналіз технічного завдання»	21.05 – 27.05
8.	Оформлення розділу «Теоретична частина»	28.05 – 31.05
9.	Оформлення розділу «Практична частина»	01.06 – 05.06



10.	Виконання завдання до підрозділу «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці»	06.06 – 08.06
11.	Оформлення кваліфікаційної роботи	08.06 – 11.06
12.	Нормоконтроль	09.06 – 12.06
13.	Перевірка на плагіат	11.06 – 14.06
14.	Попередній захист кваліфікаційної роботи	14.06 – 17.06
15.	Захист кваліфікаційної роботи	24.06

## 7 Додаткові умови виконання кваліфікаційної роботи

Під час виконання кваліфікаційної роботи у дане технічне завдання можуть вноситися зміни та доповнення.