

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет інформаційних радіотехнологій та технічного захисту інформації
(повна назва)

Кафедра медіаінженерії та інформаційних радіоелектронних систем
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)
(позначення документа)

Створення мультимедійної системи віртуальної реальності для
покращення навчального процесу
(тема)

Виконав:
студент 2 курсу, групи СТМм-21-1
Михайло ВОЛКОВ
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 171 Електроніка
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)
Освітня програма Системи, технології і
комп'ютерні засоби мультимедіа
(повна назва освітньої програми)

Керівник проф. Марина КОЛЕНДОВСЬКА
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри _____ Володимир КАРТАШОВ
(підпис) (прізвище, ініціали)

2022 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інформаційних радіотехнологій та технічного захисту інформації
Кафедра Медіаінженерії та інформаційних радіоелектронних систем

Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Спеціальність 171 Електроніка
(код і повна назва)

Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма "Системи, технології і комп'ютерні засоби мультимедіа"

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

« ____ » _____ 20 ____ р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Студентові Волкову Михайлу Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Створення мультимедійної системи віртуальної реальності для покращення навчального процесу

затверджена наказом по університету від " 21 " 11 2022 р. № 1503 СТ

2. Термін подання студентом роботи 08.12.2022 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) _____

1. Дослідити види та реалізації систем віртуальної реальності

2. Дослідити конструкцію та принцип роботи віртуальної реальності

3. Дослідити переваги та поширення VR систем у навчанні

4. Створення мультимедійної системи для професійного навчання

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі

ВСТУП

1. Аналітичний огляд розвитку систем VR

2. Аналітичний огляд типів та технологій систем VR

3. Аналіз принципу роботи та сфери використання VR систем

4. Створення мультимедійної системи віртуальної реальності для покращення навчального процесу

ВИСНОВКИ

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

ДОДАТКИ

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням обов'язкових креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій:

1. Актуальність роботи; 2. Сфера застосування; 3. Історична справка; 4. Системи віртуальної реальності; 5. Конструкція VR; 6. Принцип роботи VR; 7. Створення мультимедійної системи VR; 8. Тестування; 9. Висновки.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термин виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналітичний огляд розвитку систем VR	21.11.22–28.11.22	
2.	Аналітичний огляд типів та технологій систем VR	21.11.22–28.11.22	
3.	Аналіз принципу роботи та сфери використання VR систем	23.11.22–02.12.22	
4.	Створення мультимедійної системи віртуальної реальності для покращення навчального процесу	01.12.21–05.12.22	
5.	Графічна частина роботи	07.12.21–08.12.22	
6.	Перевірка керівником	07.12.22–08.12.22	
7.	Перевірка на академічний плагіат	08.12.22–09.12.22	
8.	Перевірка завідувачем кафедри, рецензування	09.12.22–10.12.22	

Дата видачі завдання 21.11.2022 р.

Студент  Михайло ВОЛКОВ
(підпис)

Керівник роботи _____ проф. Марина КОЛЕНДОВСЬКА
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи має: 61 с., 27 рис., 2 додатки, 49 посилань.

ВІРТУАЛЬНА РЕАЛЬНІСТЬ, ДОПОВНЕНА РЕАЛЬНІСТЬ,
МУЛЬТИМЕДІЙНІ СИСТЕМИ ВІРТУАЛЬНОЇ РЕАЛЬНОСТІ,
ВИКОРИСТАННЯ ВІРТУАЛЬНОЇ РЕАЛЬНОСТІ У НАВЧАННІ,
КОНТРОЛЕРИ УПРАВЛІННЯ В ВІРТУАЛЬНОМУ СЕРЕДОВИЩІ.

Об'єкт дослідження – мультимедійна система віртуальної реальності.

Предмет дослідження – використання мультимедійної системи віртуальної реальності в професійному навчанні.

Мета кваліфікаційної роботи – розробити мультимедійну систему віртуальної реальності.

Методи дослідження – теоретичний аналіз, статистична обробка даних.

У даній роботі наведено шлях розвитку систем віртуальної реальності та їх аналогів, сфери в яких відбувався розвиток та сучасний вид систем віртуальної реальності. Аналіз VR-пристроїв та додаткових до них контролерів їх різновиди та можливості що дають для взаємодії з віртуальним оточенням. Розглянуто принцип роботи VR та сфери в яких ця технологія використовується та перспективи розширення в інших галузях та сферах. Оглянуто наявні системи мультимедійних систем в галузі професійного залізничного навчання. Створено контролер управління тяговим рухомим складом для роботи в парі з VR системою.

ABSTRACT

The explanatory note of the qualification work has: 61 pages, 27 figures, 2 appendices, 49 references.

VIRTUAL REALITY, AUGMENTED REALITY, MULTIMEDIA SYSTEMS OF VIRTUAL REALITY, USE OF VIRTUAL REALITY IN EDUCATION, MANAGEMENT CONTROLLERS IN A VIRTUAL ENVIRONMENT.

The object of research is a multimedia system of virtual reality.

The subject of the research is the use of a multimedia system of virtual reality in professional training.

The purpose of the qualification work is to develop a multimedia virtual reality system.

Research methods – theoretical analysis, statistical data processing.

In this paper, the path of development of virtual reality systems and their analogues, the areas in which the development and the modern type of virtual reality systems took place are given. Analysis of VR devices and controllers additional to them, their varieties and the possibilities they provide for interaction with the virtual environment. The working principle of VR and the areas in which this technology is used and the prospects for expansion in other industries and areas are considered. The existing systems of multimedia systems in the field of professional railway training are reviewed. A traction rolling stock management controller was created to work in conjunction with the VR system.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

3D - 3-Dimensional;

AR - Augmented Reality;

FPS - Frames Per Second;

HMD - Head-mounted display;

LCD - Liquid Crystal Display;

NASA - National Aeronautics and Space Administration;

OLED - Organic Light Emitting Diode;

VR – Virtual reality;

ПК – Персональний комп'ютер.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	6
ВСТУП	8
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД РОЗВИТКУ СИСТЕМ VR	10
2 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ТИПІВ ТА ТЕХНОЛОГІЙ СИСТЕМ VR	17
2.1 Аналіз типів віртуальної реальності	17
2.2 Принципи імітації відчуттів в віртуальній реальності.....	20
2.2 Аналіз принципів управління системати VR	23
3 АНАЛІЗ ПРИНЦИПУ РОБОТИ ТА СФЕРИ ВИКОРИСТАННЯ VR СИСТЕМ	25
3.2 Аналіз використання VR в галузі освіти	28
3.3 Аналіз використання VR системи в медицині	31
3.4 Аналіз використання VR в промисловості	35
4 СТВОРЕННЯ МУЛЬТИМЕДІЙНОЇ СИСТЕМИ ВІРТУАЛЬНОЇ РЕАЛЬНОСТІ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ НАВЧАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ	40
4.1 Аналіз існуючих мультимедійних системи для покращення навчального процесу імітування управління реальними апаратами з тягового рухомого складу	40
4.2 Створення мультимедійної системи для покращення навчального процесу імітування управління органами управління тягового рухомого складу з використанням VR-технологій	43
4.3 Тестування мультимедійної системи	49
ВИСНОВКИ.....	52
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	54
ДОДАТКИ.....	62
ДОДАТОК А.....	63
ДОДАТОК Б	72

ВСТУП

Ідея створення систем віртуальної реальності не нова і бере свій початок з другої половини 20-го століття. Впродовж цього часу системи зазнали серйозних змін по більшій частині в технічній складовій, а цільовій вони залишилися майже не змінними - для розваг та навчання. На даний час випускають серійні системи VR різних виробників, що дозволяють в повній мірі відчувати занурення в процес гри чи навчання. Мають якість зображення яка дозволяє чітко бачити оточуючий віртуальний світ, та широкий вибір додаткових контролерів для розширення взаємодії та зворотнього.

Все більша доступність VR систем дозволяє використовувати їх в більш широкому масштабі. Наприклад якщо років 10 назад, про такі системи чули одиниці, та використовувалися декілька великих компаній у сфері науки та техніки, дозволяючи більш докладно вивчити питання чи провидити навчання. Наприклад для пілотів цивільної та військової авіації чи підготовка космонавтів для роботи на орбіті чи іншому середовищі умови якого складно або дорого втілити. Наразі ці системи використовують не тільки провідні компанії та виробники, для покращення знань та навичок своїх робітників в темі виробництва чи безпеки праці. Лікарі проходять навчання, маючи можливість провести складну операцію в спеціальній програмі для відпрацювання навичока. За допомогою систем віртуальної реальності проводять профілактики захворювань чи фобій, що дозволяють більш м'яко побороти той чи інший страх.

Актуальність цієї теми виходить саме з навчання, опанування навичок, проходження тих чи інших етапів виробництва, проектування, дослідження. Завдяки розвитку різних галузей науки та техніки з кожним роком ці процеси пришвидшуються, а з тим паралельно стають більш складними, що знову потребує зменшення часу на базові складові навчання чи виробничого процесу, та більшої кількості кваліфікованих спеціалістів. Робота направлена

на дослідження ефективності такого навчання чи практики порівняно з вже традиційною методикою теорії та практики на комп'ютері за допомогою спеціалізованої програми.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД РОЗВИТКУ СИСТЕМ VR

Віртуальна реальність - ілюзія взаємодії з динамічним об'ємним оточенням, створювана у людини за допомогою апаратно-програмних засобів, наприклад комп'ютерної графіки, акустичних та тактильних засобів пред'явлення інформації та сигналів зворотного зв'язку про власні рухи.

Попередником VR систем, можна вважати стереоскоп - розміщуються дві плоскі фотографії, зняті під різним кутом. При розгляді (стереопари) [1] кожне око переглядало «свою» фотографію, що створювало тривимірний ефект. Пристрій використовувався і використовується як для практичних цілей (наприклад, для дешифрування аерофотознімків земної поверхні), так і для розваг. Але головне — форм-фактор віртуальних окулярів та технологія формування в очах об'ємного зображення з того часу не змінилися. Щоб переконатись у цьому, достатньо одного погляду на найпоширеніший радянський «шолом віртуальної реальності» — стереоскоп Салют-М (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Стереоскоп [1]

Технологія стереоскопа стала основою стереокінематографа, відомого як 3D-кіно.

Спроби поглибити людину в розважальний чи навчальний процес продовжувались, на прикладі (Sensorama 3D (рис. 1.2)) [2] апарат, що дозволяв «опинитися у вирію подій, за допомогою стереозвука, 3D дисплеєм, запахогенераторами та вібруючими сидіннями, що змінюють своє положення залежно від того, що відбувається на екрані. В наш час ця технологія притерпів деякі зміни залишилася тільки у вигляді розваг у парках атракціонів.

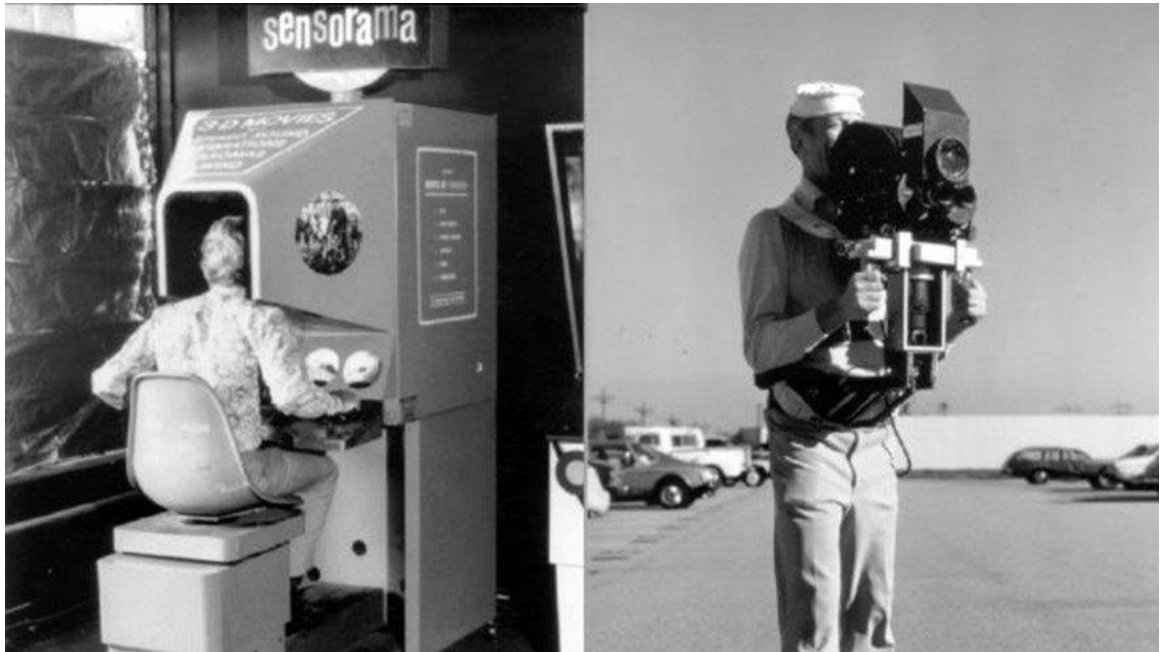


Рисунок 1.2 - 3D апарат Sensorama [2]

В сучасних VR системах звичайною функцією є відстеження голови користувача, першу спробу зробити щось подібне було здійснено 1961 року. Це був секретний військовий проект, під час реалізації якого вчені створили (Headsight (рис. 1.3)) [3], що складався з магнітної системи відстеження положення голови користувача, відеошолома з дисплеєм та трансляційних камер. Початкова мета - створити апарат, що дозволяє віддалено вивчати будь-які місця, де особисто побувати з якоїсь причини було б неможливо (або небезпечно).



Рисунок 1.3 – Headsight [3]

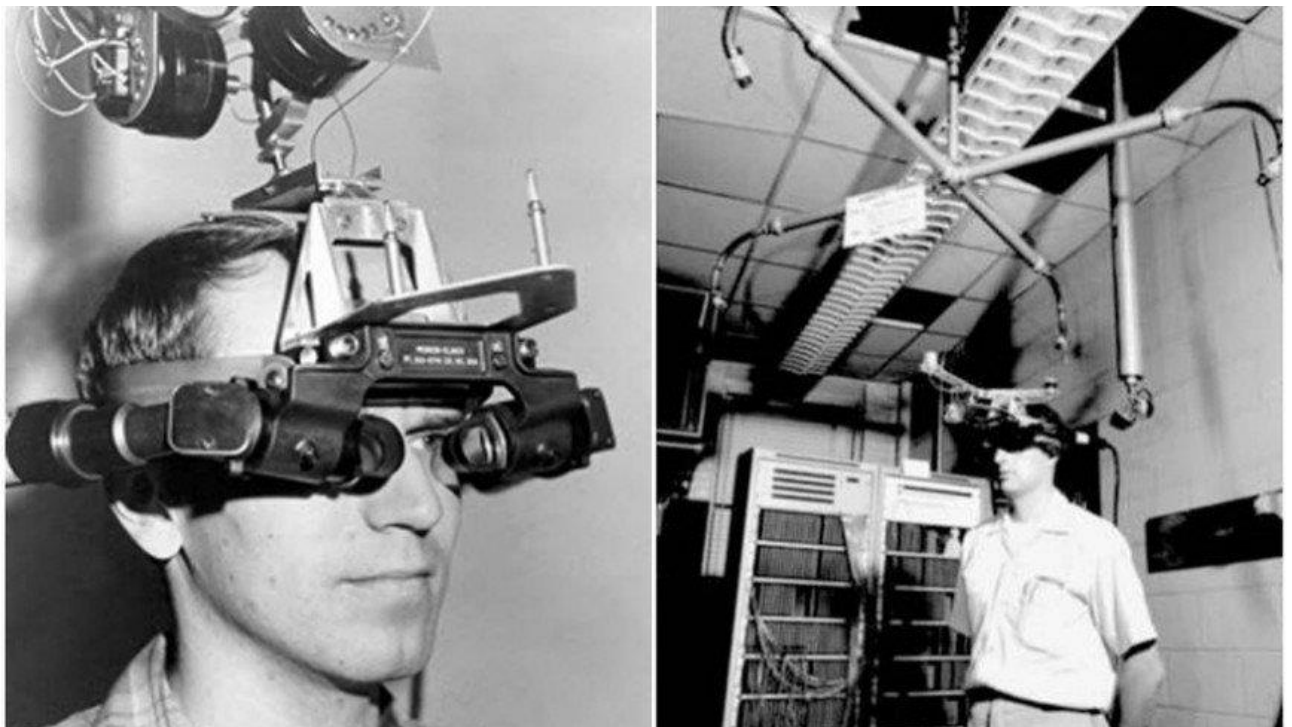


Рисунок 1.4 – система Дамоклів меч [4]

Систему (Дамоклів меч (рис. 1.4)) [4], можна назвати продовженням попередньої бо також використовується магнітне відстежування положення голову. Широко вважається першим (HMD) система з 3D головкою

стеженням і здатністю відображати віртуальне середовище. Пристрій був примітивним як з точки зору інтерфейсу користувача і реалізму, так і графічні зображення, що містять віртуальне середовище були прості каркасні елементи.

У 1985 р. з'являється компанія, що залишила помітний слід у розвитку VR - VPL Research. VPL Research відома як перша компанія, що розпочала серійне виробництво та продаж шоломів та рукавичок віртуальної реальності. У 80-х вони розробили такі системи, як DataGlove, EyePhone HMD та Audio Sphere.

Всі ці пристрої були пов'язані з ігровою індустрією і не представляли нічого принципово нового, але були досить технологічні для серійного виробництва, а також прості у використанні.

Система RB2 вже повноцінне 3D обчислює комп'ютером, с відстеженням не тільки голови користувачів але і рухів рук, (RB2 (рис. 1.5)) [5], була комерційною розробкою, але через дороговизну не знайшла свою нішу, ні в ігровому ні в навчальному процесі, але це був серйозний крок вперед.[7]



Рисунок 1.5 – система віртуальних реальності RB2 [5]

Але великі компанії та військові продовжували працювати над цією технологією, так наприклад NASA створила свою систему віртуальної реальності для тренувань та вивчення різних явищ. У 1989 р. компанія Crystal River Engineering Inc, яка взяла активну участь у проєкті NASA з системи віртуальної реальності (віртуальна система NASA (рис. 1.6)) [6]. Національне агентство використовувало добре відомі на той момент засоби віртуальної реальності. Серед інновацій було використання повноцінного костюма, а також перспективної за рівнем реалістичності аудіосистеми. Особливістю останньої стало використання бінауральних ефектів замість банального стерео. Така VR система вже мала в своєму арсеналі LCD дисплей з оптикою, що дозволяв більш чітко бачити користувачу навчальну програму чи наприклад небесні об'єкти. Це пристрій що найбільш наближався до сучасного вигляду таких пристроїв.



Рисунок 1.6 – Віртуальна система NASA [6]

У 1979 році з'являється перший VR-шолом, близький до сучасних функціональних можливостей. Мова про дрібносерійну модель військового авіаційного тренажера VITAL від McDonnell-Douglas Corporation. Він був оснащений системою відстеження голови, а також руху очей пілота та комп'ютерною генерацією картини у стереоскопічних відеоокулярах.

Шолом оснащувався CRT дисплеями для кожного ока, а також постачався стереонавушниками та мікрофоном для зв'язку з диспетчером.

Також в цей час продовжують розробляти різні контролери сумісні з VR окулярами так наприклад у 1982-го року Sandin та Defanti працювали над рукавичками Sayre, які можуть контролювати рухи рук за допомогою фотоелементів та джерел світла. У момент руху кількість світла, що потрапляє на поверхню фотоелемента, змінювалося, зміни у вигляді електричних сигналів фіксувалися системою. Деякі автори пишуть про це як про перші дослідження у розпізнаванні жестів.

З 1986 по 1989 з'являється ще один авіасимулятор, відомий як Super Cockpit, (Super Cockpit (рис. 1.17)) [7]. Тренувальна кабіна тренажера була оснащена комп'ютерними 3D-картами, пілот може бачити та чути у режимі реального часу. Система стеження та датчики шолома дозволяли пілоту керувати літаком за допомогою жестів, мови та рухів очей.

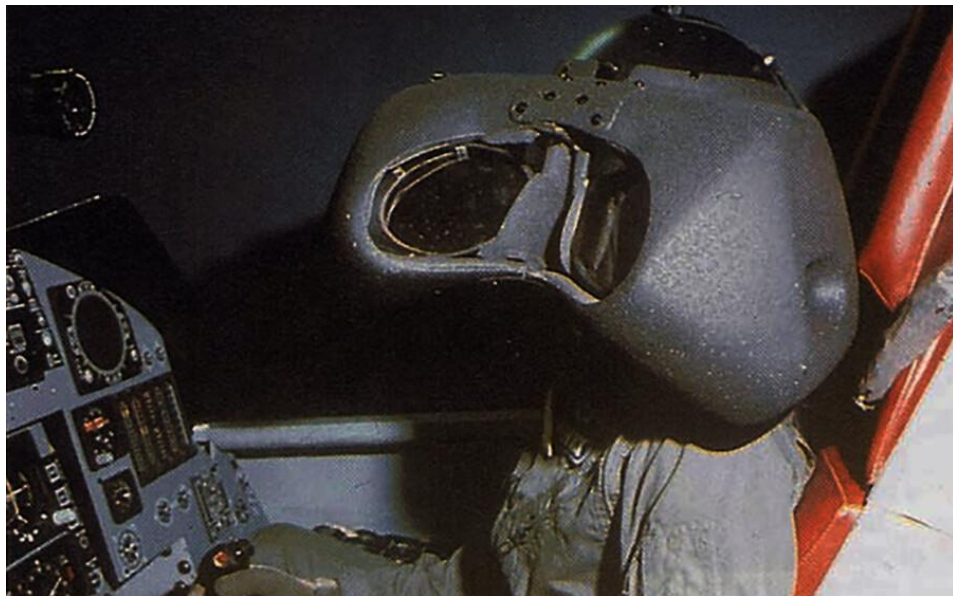


Рисунок 1.7 - Super Cockpit [7]



Рисунок 1.8 – Система віртуальної реальності SEGA [8]

Завдяки вдосконаленню ця технологія почала розвиватися та пробуватися в ігровій індустрії, так наприклад японська компанія SEGA випустила свій шлем віртуальної реальності (система віртуальної реальності SEGA (рис. 1.8)) [8]. Але через низьку якість зображення та артефактів не дуже сприйняло ігрова спільнота.

Виходячи з вище викладаного аналітичного огляду зрозуміло, що основна ідея створення системи для взаємодії з віртуальним оточенням, полягає у тому що людина знаходячись в офісі, вдома чи на полігоні, мала змогу пройти та придбати досвід який в реальному житті досягають роками, а умови для отримання його у реальному житті можуть бути небезпечні чи потребують складних систем та прийомів для їх відтворення.

Другорядна ідея - це новий крок у розважальній сфері, що дозволяє як у фільмах, так і в комп'ютерних іграх людині повністю зануритись у вигаданий світ чи сценарії, в яких вона не може фізично опинитися. Технологія також відкриває нові можливості для розробників розважального контенту, тим самим розвиваючи не тільки галузь технічного прогресу та навчання, а ще творчості, що є невідомою частиною життя. [8]

2 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ТИПІВ ТА ТЕХНОЛОГІЙ СИСТЕМ VR

2.1 Аналіз типів віртуальної реальності

Імерсивні VR-технології, які забезпечують реалістичну симуляцію віртуального світу з високим ступенем деталізації. Для їх реалізації потрібен високопродуктивний комп'ютер, здатний розпізнавати дії користувача та реагувати на них у режимі реального часу, та спеціальне обладнання, що забезпечує ефект занурення.

VR технології без занурення. До них відносяться симуляції з трансляцією зображення, звуку та контролерів на екрані, бажано широкоформатному. Такі системи відносять до віртуальної реальності, оскільки вони значно перевищують інші мультимедійні засоби за ступенем впливу на глядача, хоча й не повністю реалізують вимоги до VR.[5]

Технології віртуальної реальності з інфраструктурою спільної роботи. Серед них Second Life – тривимірний віртуальний світ з елементами соціальної мережі, який налічує понад мільйон активних користувачів, гра Minecraft та інші. Такі світи не забезпечують повного занурення (проте у Minecraft вже є версія для віртуальної реальності, яка підтримує шоломи Oculus Rift і Gear VR). Але з іншого боку, у віртуальних світах взаємодія з іншими користувачами добре організована, чого часто не вистачає «справжнім» продуктам віртуальної реальності.

Віртуальні світи використовуються не тільки в ігровій індустрії: завдяки таким платформам, як 3D Immersive Collaboration, можна організувати 3D робочі та навчальні простори - це називається «імерсивна співпраця». Забезпечення повного занурення та, водночас, взаємодії з користувачем у віртуальність є одним із важливих напрямків VR.

Найпоширенішим засобом занурення у віртуальну реальність є спеціалізовані шоломи/окуляри. На дисплеї перед очима користувача

відображається 3D-відео. Гіроскоп і акселерометр, прикріплені до тіла, відстежують рухи голови і передають дані в комп'ютерну систему, яка змінює зображення на дисплеї в залежності від показань датчиків. В результаті користувач має можливість «озирнутися» у віртуальну реальність і відчувати себе в ній, як у реальному світі.[2]

Для більш реалістичного занурення у світ віртуальної реальності, крім датчиків, що відстежують положення голови, VR-пристрої можуть використовувати системи стеження, які відстежують рухи зіниць очей і дозволяють визначити, куди дивиться людина у кожен момент часу, а також відстежувати рухи тіла людини з метою повторення їх у віртуальному світі. Таке стеження може здійснюватися за допомогою спеціальних датчиків або відеокамери.

Традиційних 2D-контролерів (миша, джойстик тощо) вже недостатньо для взаємодії з віртуальною реальністю, тому їх замінюють 3D-контролери (маніпулятори, що дозволяють працювати в тривимірному просторі).

Для систем цього типу важливим є широкий кут огляду, точність роботи системи трекінгу при відстеженні нахилів і поворотів голови користувача, а також мінімальна затримка між детектуванням зміни положення голови в просторі та виведенням на дисплеї відповідного зображення.

Шоломи віртуальної реальності можна розділити на декілька груп, а саме:

1. Окуляри, в яких обробка та відображення зображення забезпечується смартфоном (Android, iPhone, Windows Phone). Смартфон став повноцінним пристроєм не тільки для зв'язку але й для роботи та розваг. Сучасний смартфон має все для того щоб відворити об'ємний вимір, процесор, пам'ять, а головне екран з високою роздільною здатністю, а деякі мають і високу частоту оновлення екрану та датчики що дозволяють визначати положення в просторі що є основою для ефекту присутності.

2. Окуляри, в яких обробка зображення забезпечує зовнішній пристрій (ПК, Xbox, PlayStation тощо). Зовнішній пристрій повинен бути високопродуктивним, а окуляри мають датчики положення.

3. Автономні окуляри віртуальної реальності такі як: Lenovo Mirage Solo, Oculus Quest від Facebook, Samsung Gear VR.

Шоломи є основним компонентом VR з повним зануренням, оскільки не тільки забезпечують об'ємне зображення та стереозвучання, а й частково ізолюють користувача від навколишньої реальності.

MotionParallax3D-дисплеї до пристроїв цього типу належать безліч різних пристроїв: від деяких смартфонів до кімнат віртуальної реальності (CAVE). Системи цього типу формують у користувача ілюзію об'ємного об'єкта за рахунок виведення однією чи кількома дисплеїв спеціально сформованих проєкцій віртуальних об'єктів, згенерованих з інформації про становище очей користувача. При зміні положення очей користувача щодо дисплеїв зображення на них відповідним чином змінюється. Всі системи даного типу задіють зоровий механізм сприйняття об'ємного зображення паралакс руху (Motion Parallax). Також, здебільшого, вони забезпечують виведення стереозображення за допомогою стереодисплеїв, задіявши стереоскопічний зір. Системи трекінгу для MotionParallax3D-дисплеїв відстежують координати очей користувачів у просторі. Для цього використовуються різні технології: оптична (визначення координат очей користувача на зображенні з камери, відстеження активних або пасивних маркерів), значно рідше ультразвукова. Найчастіше системи трекінгу можуть включати додаткові пристрої: гіроскопи, акселерометри і магнітометри. Для систем даного типу важлива точність відстеження положення користувача у просторі, а також мінімальна затримка між детектуванням зміни положення голови у просторі та виведенням на дисплеї відповідного зображення. Системи даного класу можуть виконуватися в різних форм-факторах: від віртуальних кімнат з повним зануренням до екранів віртуальної реальності розміром від трьох дюймів.

Так система повинна вловлювати найменші рухи голови користувача і відстежувати їх з високою швидкістю і точністю, щоб мозок не фіксував спотворення геометрії об'єкта, викликані затримкою зміни зображення. Затримка повинна бути не більше 19 мс, для інтерактивних ігор - не більше 10 мс.

Віртуальний ретинальний монітор конструкції даного типу проектують зображення безпосередньо на сітківку ока. В результаті користувач бачить зображення, що «висить» у повітрі перед ним. Пристрої даного типу ближчі до систем доповненої реальності, оскільки зображення віртуальних об'єктів, які бачить користувач, накладаються зображення об'єктів реального світу. Тим не менш, за певних умов (темна кімната, досить широке покриття сітківки зображенням, а також у поєднанні з системою трекінгу) пристрої такого типу можуть використовуватися для занурення користувача у віртуальну реальність.

Також існують різні гібридні варіанти: наприклад, система CastAR, в якій одержання коректної проекції зображення на площині досягається за рахунок розташування проекторів безпосередньо на окулярах, а стереоскопічний поділ - за рахунок використання світлоповертаючого покриття поверхні, на яку проводиться проектування. Але поки такі пристрої широко не поширені та існують лише у вигляді прототипів.[2]

2.2 Принципи імітації відчуттів в віртуальній реальності

Невід'ємною частиною для занурення у віртуальну реальність є відчуття. Це так звані пристрої із зворотним зв'язком.

Застосовуються для вирішення завдань віртуального прототипування та ергономічного проектування, створення різноманітних тренажерів, медичних тренажерів, дистанційному управлінні роботами, у тому числі мікро- та нано-системах створення віртуальних скульптур. Також здатність імітувати тактильні відчуття знайшла своє застосування в ігровій сфері. Рукавиці

віртуальної реальності — дозволяють відслідковувати положення рук і пальців, щоб симулювати маніпуляції з віртуальними об'єктами та відчувати їх на «додик» передаючи користувачу відчуття взаємодії.

Так наприклад рукавички віртуальної реальності були створені фахівцями з Каліфорнійського університету в Сан-Дієго з використанням технологій виготовлення м'яких роботів. Рукавички дозволяють відчувати тактильний відгук при взаємодії з об'єктами віртуальної реальності і пройшли успішні випробування на віртуальному імітаторі гри на піаніно з віртуальною клавіатурою. На відміну від подібних аналогів, ці рукавички виготовлені з м'якого екзоскелета, обладнаного м'якими м'язами, призначеними для роботів, який робить їх набагато легшим і зручнішим у використанні. Тактильна система складається з трьох основних компонентів:

- сенсор Leap Motion (його функція - визначення положення та руху рук користувача);
- м'язи Mskibben - латексні порожнини з плетеним матеріалом - які відгукуються на рухи, що створюються переміщенням пальців користувача;
- розподільний щит, завдання якого полягає в управлінні самими м'язами, які створюють тактильні відчуття.

Планується, що перчатки віртуальної реальності знайдуть застосування у відеоіграх і цифрових розвагах, а й у хірургії.

Перчатки загалом мають різну калкість та якість датчиків, але найчастіше одні й тіж самі такі як наприклад: вібраційні двигуни, які відповідають за роботу зворотного зв'язку. Також вбудований гіроскоп, акселерометр та магнітомір. На великих пальцях стоять спеціальні датчики вимірювання кута обертання. Найбільш дорогі та продвинуті версії дозволяють відчувати цей текстуру та різний ступінь твердості тих чи інших віртуальних матеріалів, це досягається завдяки спеціальній біометричній системи (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Перчатка для VR [9]

Контролери зі зворотнім зв'язком — пристрої, що за допомогою кнопок, стіків, датчиків положення, тощо, дозволяють симулювати маніпуляції з віртуальними об'єктами. Завдяки вібрації можуть передавати тактильні відчуття та ступінь взаємодії с предметом чи механізмом у віртуальній реальності. До них входять перчатки зі зворотним зв'язком та контролери, (перчатка для VR) [9].

Якщо порівнювати перчатки для віртуальної реальності та контролери, то перчатки для реалістичності взаємодії та занурення у ігровий чи навчальний процес краще себе показують, але й мають вищу ціну, через більшу кількість та якість датчиків, які окрім переміщення, дають зворотній зв'язок на окремі частини руки користувача. Контролери більш дешевші, та передають менший діапазон зворотного зв'язку, але тим не менш дають вповній мірі взаємодіяти з оточуючим віртуальним світом.[3]

2.2 Аналіз принципів управління системати VR

Управління в VR відрізняється плавністю і точністю від звичайного управління мишою та клавіатурою, бо в віртуальному просторі користувач на пряму взаємодіє з об'єктами та оточуючим простором, що дає змогу більш точно позиціонувати чи регулювати та що важливо відчувати взаємодію.

Серед основних можливих сценаріїв взаємодії користувача з інтерфейсом VR є наступні:

- виділення об'єкта (об'єкт необхідно виділити перед тим, як над ним можна буде виконати реальну дію);
- маніпуляції з виділеним об'єктом, тобто використання функцій, доступних після його виділення;
- розміщення і переміщення предметів, тобто їх вільне розташування в будь-якому місці горизонтальної площини і обертання навколо вертикальної осі;
- створення або зміна об'єктів, тобто використання функцій, які дозволяють вибирати між попередньо визначеними параметрами, серед яких можуть бути, наприклад, тип створеного об'єкта, розмір, вага, колір тощо.
- введення даних, тобто введення тексту, виділення виділених об'єктів у віртуальному просторі тощо.

Для найбільш точного відтворення контакту користувача з навколишнім середовищем використовуються користувацькі інтерфейси, які найбільш реалістично відповідають змодельованим: кермо комп'ютера з педалями, ручки керування пристроєм, цілевказівник у вигляді пістолета тощо.

Для безконтактного контролю об'єктів використовуються як рукавички віртуальної реальності, так і відстеження рухів рук, що здійснюється за допомогою відеокамер. Останній, як правило, реалізується на невеликій території і не потребує додаткового обладнання від користувача.

Рукавички віртуальної реальності можуть бути невід'ємною частиною костюма віртуальної реальності, який відстежує зміни положення всього тіла, а також передає тактильні, температурні та вібраційні відчуття.

Пристрій для відстеження переміщень користувача може являти собою вільно обертову кулю, в яку поміщається користувач, або здійснюватися тільки за допомогою костюма віртуальної реальності, підвішеного в повітрі або зануреного в рідину. Також розробляються технічні засоби для моделювання запаху.

Наприклад, технологія керування рухами очей *Mise-Unseen* від *Microsoft* дозволяє контролювати віртуальний світ і маніпулювати віртуальними об'єктами за допомогою рухів очних яблук.

Розробляючи інтерфейс VR-системи, треба мати на увазі, що нормальна взаємодія з нею може бути ускладнена у випадках, коли користувач уже працює у віртуальному середовищі. Наприклад, можливий сценарій, коли користувач навчального додатку віртуальної реальності тримає в руках якийсь інструмент, вивчаючи його можливості та способи його використання. У цьому випадку користувачеві може бути незручно або навіть неможливо викликати довідку по цьому інструменту, так як його руки вже зайняті. У таких додатках необхідно передбачити підтримку голосового управління, яке здійснюється за допомогою спеціальних вбудованих мікрофонів. Альтернативою також може бути управління за допомогою жестів.[3]

3 АНАЛІЗ ПРИНЦИПУ РОБОТИ ТА СФЕРИ ВИКОРИСТАННЯ VR СИСТЕМ

3.1 Аналіз принципу роботи VR систем

Розглянемо конструкцію VR системи: складається з таких основних частин: безпосередньо з корпусу який має реміні для закріплення на голові користувача, акумулятор як додаткова функція, щоб працювати/грати без дротів, (конструкція VR (рис. 3.1)) [10]. В корпусі розміщені: дисплей, оптика, апаратна частина з датчиками ззовні такі як камери або сенсори та внутрішні наприклад гіроскоп та акселерометр.



Рисунок 3.1 – Конструкція VR [10]

Основною частиною такої системи є дисплей та оптика. Дисплей для системи віртуальної реальності повинен мати високу частоту оновлення та роздільну здатність. Високу частоту оновлення серед технологій екранів мають наприклад OLED екрани, вони і використовувалися на початок масового випуску VR систем. Але через те що очі користувача знаходяться на невеликій відстані, то можна помітити ефект «зернистості». Тому в сучасних система використовують Super-Fast LCD. Частота оновлення

екрана должна быть для систем віртуальної реальності від 80 Гц, для того щоб зображення було як найбільш плавнішою та без затримок. Найвища частота оновлення у шолома Valve Index - 144 Гц, але на практиці навряд є комп'ютер, який може видавати такий FPS на високих налаштуваннях графіки.

Для створення ефекту занурення, обробляються комп'ютером та виводяться два зображення які зміщенні відносно одне одного так, щоб коли спостерігач дивився з певної відстані, мозок сам поєднував два зображення. Таким же чином працює і наш мозок. Якщо почергового закрити ліве та праве око, видно, що зображення трішки зміщається, такі «відеосигнали» приходять з кожного ока, мозок «зшиває» їх та перевертає. Для того щоб зображення не було плоским після самого дисплея встановлений набір лінз, які імітують кут огляду наближений до людського.

Для відстеження (трекінгу) перміщення користувача існує дві системи. Перший називається «inside-out tracking» або внутрішній трекінг. Він працює так, на шоломі розміщуються камери з широким кутом огляду, які відстежують ваші контролери та положення шолома щодо предметів довкілля. Щоб контролери точно були видні, вони підсвічуються сенсорами. Переваги такого підходу, у тому що він дешевший і для користувача простий у налаштуванні та використанні. Мінус - такий трекінг не найточніший, а також камери не можуть фіксувати положення рук, коли вони поза оглядом - наприклад, за спиною. А руки за спиною у VR-іграх – це не рідкість. В рухомих іграх наприклад рух за спину є жестом для того щоб взяти щось з інвентаря, або різні інструменти чи зброю. Така система трекінгу використовується у Oculus Rift S та Quest, а також у молодшого HTC Vive Cosmos.

Друга система називається «Lighthouse», або «Маяк». Або ще називають як зовнішній трекінг. «Маяки виступають базовими станціями що встановлюються один навпроти одного, окреслюючи ігрову зону в який буде

відбуватися трекінг переміщень та рухів контролерів. (Трекінг зона «маяків» (рис. 3.2)) [11].

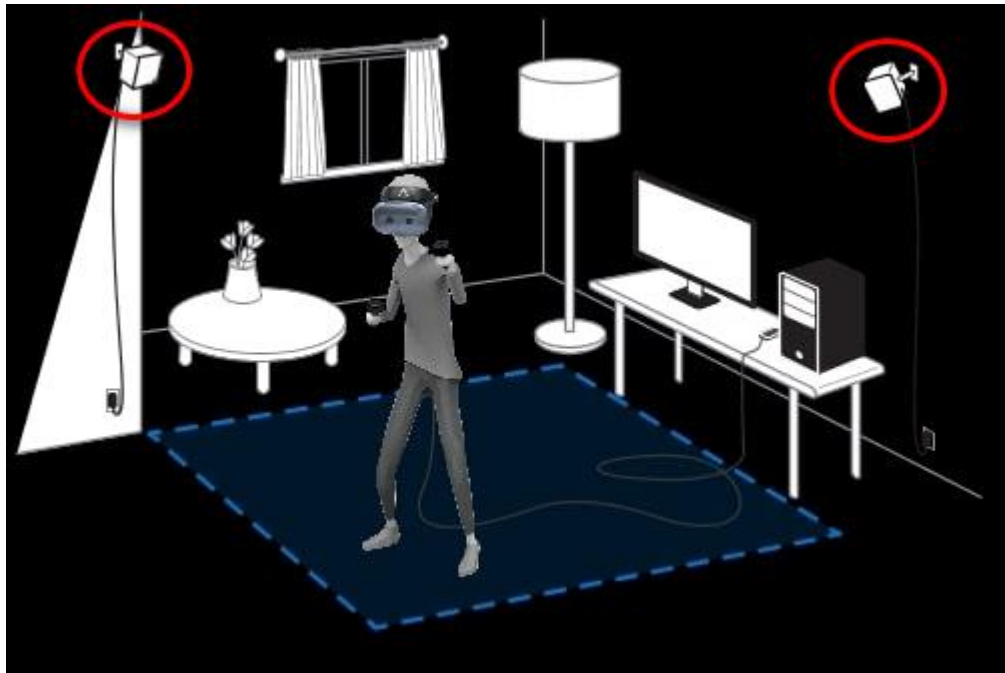


Рисунок 3.2 – Трекінг зона «маяків» [11]

Базова станція в конструкції має основні елементи, це інфрачервоний світлодіод, та два мотори з лазерами що обертаються на 360 градусів по вертикалі тобто “Y” та горизонталі “X” координаті. (Принцип роботи базової станції (рис. 3.3)) [12]

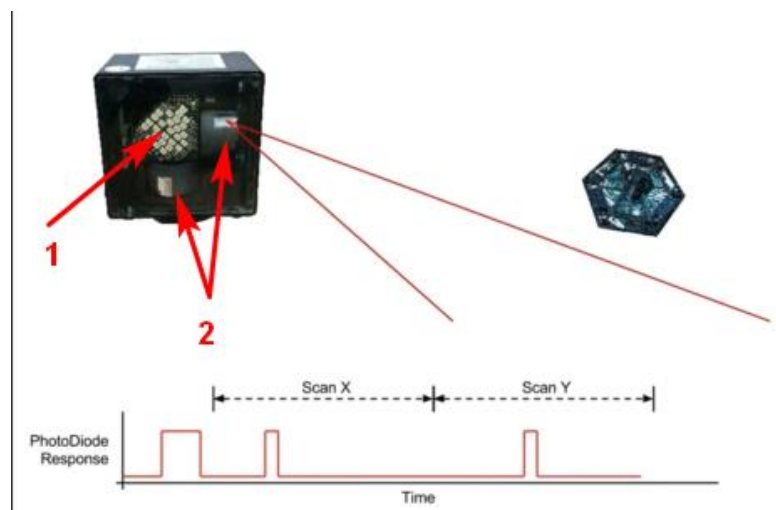


Рисунок 3.3 – Принцип роботи базової станції [12]

Де: 1 – Інфрачервоний світлодіод;

2 – Мотори з лазерами.

Процес трекінгу починається як перша базова станція блимає інфрачервоним світлом. Кожне інфрачервоне миготіння це початок відліку. Відразу за ним випускаються широкі лазерні промінь по чергово по горизонталі та вертикалі, які падають в межах зони трекінгу. І так 60 разів на секунду. З моменту отримання першого миготіння шолом та контролери починають відлік. Сенсори на шоломі вловлюють лазерний промінь. Через зміщення сенсорів на шоломі у просторі, сигнал від лазера вловить наприклад на відліку 3, інший на 5, третій, на 11. І базуючись на цій затримці часу між базовою станцією та сенсорів шолома у часі, розраховується положення шолома і контролерів у просторі.

Для ігор для кращого занурення та ефекту присутності краще використовувати другий метод трекінгу – зовнішній «маяк» бо він точніший та дозволяє рухатися без обмежень та «сліпих зон» для контролерів, але з тим и дорожчий. Для навчальних цілей, якщо специфіка предмету чи спеціальності для програми-симуляція не потребує повного спектру переміщення контролерів у просторі, то доцільніше використовувати VR систему з внутрішнім трекінгом «inside-out tracking» для навчання [4].

3.2 Аналіз використання VR в галузі освіти

Можна зробити висновок з історії розвитку систем віртуальної реальності що з початку технологія була як розвага, для занурення у інший вимір або атмосферу. Далі в цій технології побачили перспективу військові, які вбачали в ній можливість удосконалити ту чи іншу техніку, підвищивши її боєздатність, гнучкість в бою та захист особового складу. Друга сторона цієї технології це навчання, коли неможливо чи складно відтворити умови навчання. Так наприклад, космічна галузь почала розробляти та працювати з

системами віртуальної реальності, що дає змогу в буквальному сенсі поглянути на задачу під іншим кутом.

На разі багато галузей починають чи вже використовують у своїх цілях системи віртуальної та доповненої реальності. Однією з широких галузей є навчання.

Освіта - це фундамент суспільства, адже передача знань завжди була пріоритетом для його розвитку. В епоху цифрових пристроїв та нових технологій віртуальна реальність в освіті стає справжнім відкриттям нового розвитку методів навчання.

Ще кілька років тому віртуальна реальність була дуже далекою від освіти. Технології віртуальної реальності складно вписувалися в метод для навчання по перше через свою ціну, не кожен освітній заклад міг використовувати системи віртуальної реальності для навчання. Технології VR в освіті наразі актуальна тема, ефект від якої дуже швидко можна оцінити. Навчання у початкових освітніх закладах, наприклад, будувалось на тому, щоб зацікавити дітей у вивченні того чи іншого предмету. Коли перед дитиною сухі цифри та формули, у математиці, хімії, фізиці, чи мікроорганізми та рослини лише на фотоілюстраціях в підручниках – це може відбити бажання вчитися, коли є інтернет та ігри які більш цікавіші. Тому системи віртуальної реальності виступають «клином» що починають вибивати «клин» комп'ютерних розваг та заохочують дітей до вивчення наук. А в вищих закладах допомагає розібратися з більш важкими та об'ємними задачами. Так наприклад, для відпрацювання якихось навичок чи дослідження якогось ефекту потрібна аудиторія з лабораторіє. Це висуває низку потреб, таких як наявність обладнання, та можливо якихось розхідників. Друге - це саме обладнання треба обслуговувати, і останнє це безпека. На таких предметах як наприклад хімія з реагентами чи фізика з електричним струмом, потребують заходів техніки безпеки та особливої уваги від викладача. Завдяки спеціальним додаткам, такі лабораторні можна

безпечно проводити в віртуальній аудиторії зі всім необхідним, і зробити навчання більш гнучким.

Так в недалеко майбутньому, використання цієї технології дасть свої результати, учні краще та швидше будуть засвоювати матеріал, а головне навчання їх надихне на те щоб більше зануритись в ту чи іншу науку, покаже, що наука це не нудні формули та обчислення, а мистецтво.

Навчання за допомогою віртуальної реальності можна розділити на три напрямки формати – відео, платформа, програми.

Відео – мається на увазі відео які зняті в форматі 360, коли користувач не може виконувати дії, але ефект присутності через можливість огледітись, вже дуже сильно занурює.

Платформи – таких як Rumii, дозволяє створити віртуальну середу для навчання, тобто учні у окулярах віртуальної реальності, разом знаходяться у віртуальній аудиторії, чи іншому місці яке відноситься до теми уроку. Так наприклад при вивчення географії можна бути біля інтерактивної карти, завдяки якій перенестись до столиці країни що вивчається, що зробить вивчення цікавішим та наочнішим.

Або побувати для розваги чи для теми уроку в музеї завдяки The VR Museum of Fine Art, або щоб краще зрозуміти будову людського тіла на біології скористатися програмою Human Anatomy VR. Таких програм нараз не велика кількість, але вже дозволяє різноманітнити навчання, з часом таких програм стане більше.

Для зручності використання таких систем навчальними закладами, створюють системи які об'єднані в пакет «RedBoxVR» (рис. 3.4), що має в своєму розпорядженні необхідні інструменти для середніх освітніх закладів.



Рисунок 3.4 – Пакет «RedBoxVR» [13]

Такі системи можна використовувати не тільки в школах, університетах, а в гуртках, секціях, (пакет «RedBoxVR») [13].[9]

3.3 Аналіз використання VR системи в медицині

Сучасна медицина з VR,AR,360-градусному відео має величезний потенціал. Ці широкі в плані використання технології можуть вирішувати завдання, пов'язані з корпоративним навчанням, безпекою, маркетингом, зовнішньою та внутрішньою комунікацією і навіть із лікуванням та реабілітацією .

Віртуальна реальність в навчання спеціалістів використовується для відпрацювання навичок, бо віртуальна реальність відриває людину від зовнішнього світу, дозволяє їй зосередитися на навчанні і дає можливість скільки завгодно разів попрактикуватися і помилятися. Технологія дозволяє недосвідченим фахівцям освоювати практику паралельно з теорією, що підвищує ефективність навчання, сприяє запам'ятовуванню процесу.

VR відмінно застосуємо там, де важлива наявність досвіду та відмінне розуміння складних процесів. Насамперед це навчання хірургів за допомогою віртуальної реальності. Провести складну операцію на серці чи вивчити системи організму зсередини дозволяє ця технологія, (навчання хірургів за допомогою) VR (рис. 3.5) [14].



Рисунок 3.5 – Навчання хірургів за допомогою VR [14]

Оцінили VR-навчання, як технології для візуалізації, хірурги в 2017 році. Тоді переможцем найпрестижнішого конкурсу EdSim Challenge став проект Virtual reality для навчання хірургів Osso VR. Дослідники довели, що VR виявився вдвічі ефективнішим, ніж інші методи навчання.[10]

Біотехнологічна компанія BIOCAD, використовуючи окуляри VR, навчає співробітників готувати лабораторії до досліджень, виконувати практичні роботи, запобігати надзвичайних ситуацій. Практиканти знайомляться з регламентом та правилами роботи компанії в рамках віртуальних екскурсій.

SimX випустила дві безкоштовні симуляції COVID-19 з освітньою метою. Розробники зазначають, що проект створений за сприяння лікарів, які зіткнулися з пандемією у Вашингтоні та Каліфорнії. Симуляції дають лікарям первинне розуміння роботи зі ЗІЗ, а також з діагностики та стаціонарного лікування.

Розробники Viraar (рис. 3.6) [15], створили AR-окуляри, які використовують для віддалених консультацій під час проведення операцій. Пристрій показує те, що відбувається досвідченому хірургу і той, в режимі онлайн, може коригувати дії колеги.



Рисунок 3.6 – Проект Viraar [15] <http://surl.li/edeyf>

Застосовують у навчанні та AR. Технологія дозволяє в повному обсязі розглянути предмети, явища, органи. Доповнена реальність підказує при взаємодії з медобладнанням або під час проведення операцій.

Американська компанія Onkos Surgical, що займається лікуванням раку, використовує доповнену реальність при проведенні операцій із видалення складних пухлин. Програма з AR робить трекінг на тіло пацієнта і підказує хірургам під час проведення інвазивних операцій.

Технології доповненої реальності допомагають фахівцям вивчити будову складного медичного обладнання. AR-додаток, що розповідає про пристрій ліофільної сушарки, використовує BIOCAD. За допомогою мобільного пристрою навіть у польових умовах можна отримати об'ємне і повне уявлення про габарити і пристрій обладнання, розглянути необхідні деталі і вузли.

Наприклад, у клініках США минулого року лікарів навчили у VR основам розмови з пацієнтами, які необґрунтовано відмовилися щеплювати дітей. Дослідження показало, що 87% педіатрів через місяць після навчання у

VR зазначили, що симуляція на практиці допомогла їм краще спілкуватися із сім'ями.[11]

VR-пристрої сьогодні намагаються застосовувати для діагностики та профілактики міопії, а також низки інших проблем із зором.

Наприклад, компанія Total Vision вже розробила шолом для діагностики хвороб очей. Спеціальні датчики, вбудовані в дисплей, дозволяють виявити в оці людини сліпі зони, які можуть вказувати на ті чи інші недуги, пов'язані з погіршенням зору.

Віртуальна реальність сьогодні починає застосовуватись при реабілітації пошкоджень рухового апарату, адаптації після інсульту, хвороби Альцгеймера, при лікуванні деяких психічних розладів та полегшенні симптомів хронічних захворювань.

Наприклад с хворобою Альцгеймер лікарі знайшли метод не лікування, а діагностики цієї хвороби, як і в ситуації з іншими захворюваннями, чим раніше приступити до лікування хвороби Альцгеймера, тим воно буде ефективнішим. Тому багато сучасних досліджень спрямовані на те, щоб виявляти це захворювання на перших його етапах.

Новий метод, який використовує технології віртуальної реальності, дозволяє діагностувати хворобу Альцгеймера на ранніх стадіях ефективніше, ніж когнітивні тести, які зазвичай використовують неврологи.

Метод, розроблений вченими з Лондонського університету, заснований на роботі професора Джона О'Кіфа – лауреата Нобелівської премії з медицини та фізіології за 2014 рік. Він досліджував те, як наш мозок визначає положення тіла у просторі. Відділ мозку, який відповідає за цю функцію, одним з перших страждає на хворобу Альцгеймера. До останнього часу методу, за допомогою якого можна було б виявити цю поразку, не існувало.

Технологія, яку пропонують лікарі, складається з VR шолома та приєднаної системи управління. Одягнувши це обладнання, людині потрібно виконати ряд завдань, що висвічуються на екрані. Для їх успішного

виконання людині потрібно мати “внутрішню карту місцевості” – розуміти, де вона розташовується щодо інших предметів. Ця здатність страждає у людей із хворобою Альцгеймера ще до того, як вони починають виявляти порушення пам'яті. Пацієнт, який має труднощі у виконанні такого завдання, з високою надійністю може отримати діагноз "хвороба Альцгеймера".[12]

3.4 Аналіз використання VR в промисловості

Можна задати питання, навіщо в інженерії - технології віртуальної реальності, бо вже давно для обчислень та створення креслень та проектів використовують потужності програм на комп'ютерах, що і так дуже серйозно покращують та пришвидшують розробку чи удосконалення продукту.

Насамперед, для того, щоб знизити помилки у проектуванні та прискорити узгодження складного технічного проекту. Обговорювати проект у масштабі 1:1 з усіма учасниками процесу наочніше, ніж використовувати креслення, зменшені копії (макети) або дивитися 3D-модель на «плоському» екрані.

По-друге, для тестування ергономіки та навчання персоналу. Створюючи новий продукт, компанія має бути впевнена, що його буде зручно експлуатувати та обслуговувати. Використання системи віртуальної реальності разом із системами зворотного тактильного зв'язку дозволяє скоротити витрати й час створення натурних прототипів.

У 1999 р. концерн Ford відзвітував про те, що застосування систем віртуального проектування забезпечило \$40 млн економії на інженерних витратах і більше \$1 млрд завдяки пов'язаним змінам у виробничому циклі

З появою шоломів Oculus Rift і HTC VIVE спектр розв'язуваних завдань значно розширився. Так само, як і кількість компаній, які могли дозволити собі цю технологію. Завдяки здешевленню та з ти покращенню шоломів, з їх допомогою стало можливим вирішення проблем

Помилки при проектуванні (нових будівель, заводів, складських приміщень) та великі витрати на розробку проекту.

Завдяки VR: завантажуючи 3D-модель проекрованої будівлі або приміщення у VR, проектувальник може побачити проект у масштабі 1:1 і краще оцінити якість проектування, а також ергономічні характеристики об'єкта, що неможливо зробити, розглядаючи 3D-модель на екрані монітора. Разом із спеціалістами з відділів логістики та безпеки вони можуть погодити розташування обладнання у приміщенні, організацію виробничих потужностей та протестувати сценарії роботи та відповідність вимогам безпеки до введення будівлі в експлуатацію.

Крім того, таку віртуальну будівлю можна показати внутрішнім та зовнішнім замовникам проекту, партнерам та інвесторам

Так компанія Safran Nacelles, менше, ніж за рік, заощадила 300 000€ за рахунок інвестиції в систему VR. Французька компанія стала розробляти нові гондоли лише за 42 місяці, а раніше цей процес тривав 60 місяців. Safran Nacelles також спромоглася закінчити проект на 8 місяців раніше, а тривалість проекту передбачалася близько 18 місяців. Тим самим економія склала 40% від бюджету.

Проблеми великих витрат на узгодження проектів на базі натурних прототипів

З віртуальною реальністю обговорення проекту не з кресленнями та зображенням на моніторі, а з прототипом у масштабі 1:1 знижує витрати та час на підготовку до макетної комісії. Така візуалізація виступає своєрідною спільною «мовою», якою можуть говорити всі учасники процесу: як інженери-конструктори, так і генеральні директори із замовниками. Крім того, наочна перевірка проекту та можливість його помацати допомагає виявити помилки на ранніх стадіях проектування.

Наприклад автомобільна компанія SEAT за рахунок використання віртуальної реальності зменшила тривалість виробництва та скоротила кількість макетів. Під час розробки нового автомобіля аналізується до трьох

мільйонів деталей. Завдяки технологіям перегляду у VR, де модель представлена в реальному масштабі, скоротився час аналізу конструкції та кількість фізичних прототипів. За підсумками завдяки цьому підходу скоротився час виробництва.

Одна з найчастіших проблем це брак практичного досвіду фахівці, через що отримують травми та псують дороге обладнання

Віртуальна реальність дає можливість наочно показати, роботу обладнання та техніку безпеки с з нею, чи обговорення плану евакуації, навчання та тестування персоналу не з кресленнями та зображеннями, а з прототипом будівлі в масштабі 1:1 дозволяє підвищити швидкість та якість навчання, та зменшити витрати на підготовку фахівців до роботи зі складним обладнанням, знизити ризик аварії на виробництві чи поломки дорогого обладнання. Помилка не призведе до аварії чи поломки, а працівник отримає реальний досвід. Одночасно з проектуванням цехів, можливе паралельне навчання операторів, які надалі там працюватимуть. Тим самим, при відкритті оновленої ділянки співробітники зможуть одразу взятися за роботу та не витрачати час на навчання. Також у VR можна провести тестування налаштувань заводських ліній. Швидкість виробництва, якість продукції відіграє важливу роль в успіху підприємства, тому так важливо економити час на процесах, які можуть протікати паралельно один одному за допомогою VR можна імітувати позаштатні ситуації. Найчастіше відтворити такі випадки в реальному житті або небезпечно, або занадто дорого, тому персонал знав лише теоретично, як вийти зі складної або аварійної ситуації.

Із застосуванням технологій віртуальної реальності персонал може бути готовим до будь-якої проблеми. [13]

Ford скоротив кількість травм на виробництві на 70% та знизив ергономічні проблеми на 90% (навчання на підприємстві Ford (рис. 3.7)) [16]. За допомогою VR лабораторії тут прагнуть покращити та зробити безпечною монтажну лінію та робочий простір оператора. Для аналізу використовуються понад 52 датчики, які розташовуються на тілі людини.

Вони зчитують рухи і передають координати базу даних. Ергономіст, отримавши значення, може відіграти певні сценарії та убезпечити життя робітників.



Рисунок 3.7 – Навчання на підприємстві Ford [16]

У великих компаніях існує така проблема як комунікація між підрозділами, відділами, бо вони можуть знаходитись в різних місцях міста чи навіть світу, що супроводжується великими витратами часу та бюджету на відрядження.

Використовуючи VR для обговорення проекту не потрібно перебувати в одному приміщенні, але важливо перебувати в одному віртуальному просторі, що забезпечує шоломи віртуальної реальності та відповідне ПЗ. Колективне обговорення та демонстрація проекту у VR скорочує витрати на відрядження та час на погодження проекту (рис. 3.8) [17].

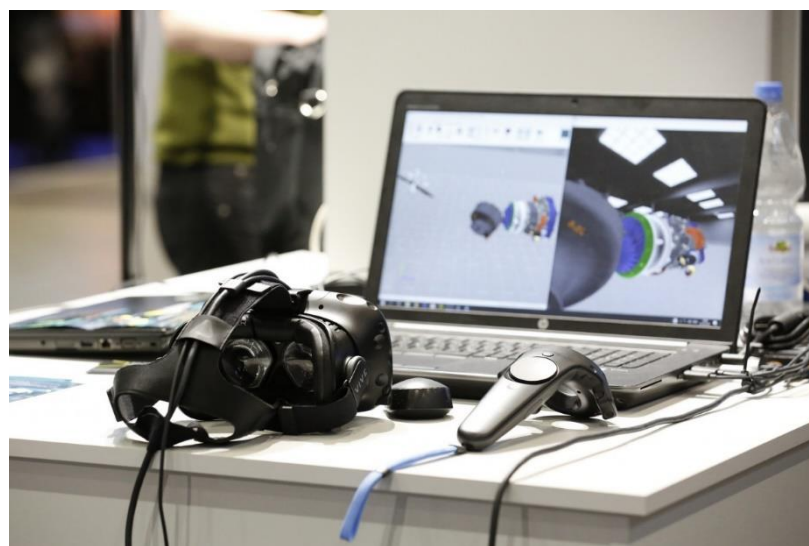


Рисунок 3.8 – Робота над проектом Callisto за допомогою VR [17]

Так французький національний космічний центр, за рахунок використання засобів віртуальної реальності заощадив близько 12 місяців при розробці проекту Callisto на 4 роки. Ракетний прискорювач проектувався в САПР, а VR проводився докладний розбір літального апарату та допоміжних елементів для запуску.

Це дозволило обговорювати проект віддалено, проаналізувати які інструменти необхідні для збирання, розмір будівлі, процес транспортування на місце старту і протестувати всю систему в цілому.

Цей проект показав можливість одночасного вирішення різноманітних завдань. Підбиваючи підсумки, що крупними та не дуже компаніям та галузями вже тривалий час використовується технологія віртуальної реальності, а десь тільки починає бути нормою, але технологія з кожним днем стає досконалішою так дешевшою, вона вже допомагає вирішувати як було описано вище проблеми та питання, що націлені на такі аспекти як: навчання, безпека праці, удосконалення процесу розробки.

З вище приведених прикладах видно, що VR суттєво прискорює навчання, особливо зі складними операціями чи пристроям. До таких можна віднести залізничний транспорт в особливості управління тяговим рухомим складом. Крім великої кількості теоретичних знань як по самому тяговому складу так і інструкцій повинен знати машиніст чи помічник машиніста, велику роль грають практичні навички. Коли основні дії доведені до автоматизму то спеціаліст в нестандартній ситуації чи навіть критичній, робить регламентовані дії набагато швидше, а головне точніше та безпечніше, знаючи, що за чим йде, та чого треба уникати. Швидше приймає рішення, що впливає як на затримку на лінії так можливе и на життя та здоров'я людей.[14]

4 СТВОРЕННЯ МУЛЬТИМЕДІЙНОЇ СИСТЕМИ ВІРТУАЛЬНОЇ РЕАЛЬНОСТІ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ НАВЧАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ

4.1 Аналіз існуючих мультимедійних системи для покращення навчального процесу імітування управління реальними апаратами з тягового рухомого складу

Для імітування різних пристроїв та нестандартних ситуацій, використовуються різні стенди та тренажери, деякі з них можуть бути реальними апаратами з тягового рухомого складу, чи їх аналоги. Для імітування управління, розробляються та створюються тренажери (тренажер управління електровозом) [18], зроблені реальних пультів управління з використання комп'ютерних програм, що імітують той чи інший маршрут слідування, на якому інструктор може задавати різні параметри погодних умов, та нестандартних ситуацій про які студент не знає, та має бути готовим теоретично, а завдяки тренажеру і практично (рис. 4.1).



Рисунок 4.1 – Тренажер управління електровозом [18]

Також такі тренажери допомагають психологічно підготуватися до непередбачуваних ситуацій, бути впевненим в своїх знаннях та силах, (стенд пневматичної системи локомотива (рис. 4.2)) [19].

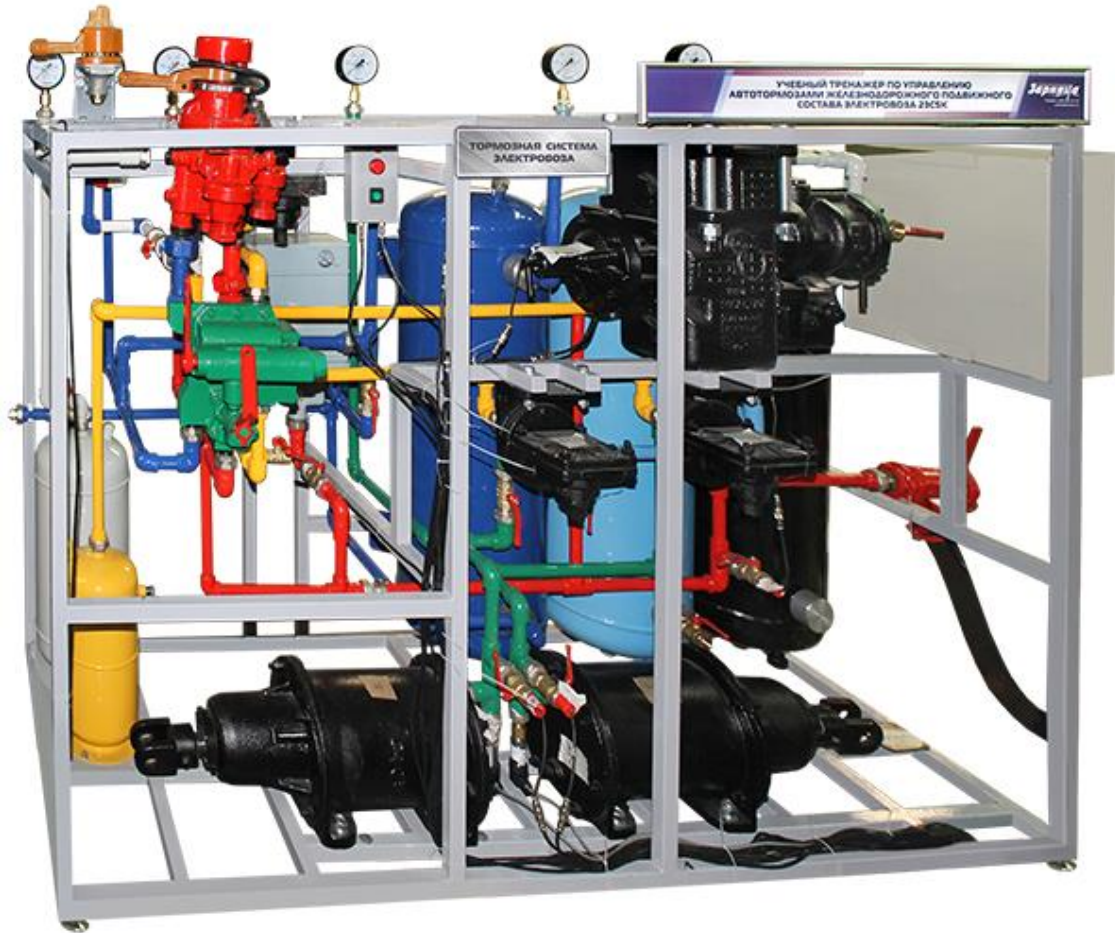


Рисунок 4.2 – Стенд пневматичної системи локомотива [19]

Класи-тренажери добре відображають роботу електричної, пневматичної та інших систем, але вони займають цілу аудиторію (клас-тренажер електровоза (рис. 4.3)) [20], та дорогі в проектуванні та реалізації.



Рисунок 4.3 – Клас-тренажер електровоза [20]

Такі спеціалізовані класи знаходяться частіше в депо, та спеціальних школах машиністів. Але краще якщо ще на початку вивчення залізничної професії в освітньому закладі, студент мав змогу «доторкнутися» до майбутньої професії та вже напрацювати навички. Для такого підійде як раз VR. Вже існують програми для імітування керуванням та роботи з тяговим рухомим складом.

Так наприклад вже в програмі «Garry`s Mod» зі спеціальними додатками «Metrostroі» навіть вдома можна практикуватися в управлінні та роботі з составами метрополітену, актуальними для нашої транспортної системи, (пульт керування електропоїздом в додатку «Metrostroі» (рис. 4.4)) [21]



Рисунок 4.4 – Пульт керування електропоїздом в додатку «Metrostroï» [21]

Для «Garry's Mod» існує модифікація «VR Mod» за допомогою якої можна управляти рухомим складом за допомогою VR шлему та контролерів, набагато сильніше поглиблює в процес практики, та покращують запам'ятовування алгоритмів роботи.

4.2 Створення мультимедійної системи для покращення навчального процесу імітування управління органами управління тягового рухомого складу з використанням VR-технологій

Виходячи з приведенного вище огляду систем віртуальної реальності, їх оснащення та можливостей можна виділити такі варіанти систем мультимедійних систем.

Системи подібний до (CAVE). Формування ефекту об'ємності досягається завдяки виводу зображення на декілька дисплеїв чи екранів через проектори. Камери відслідковують положення очей користувача та корегують зображення для посилення ефекту присутності. Таку систему та її аналоги використовують у тренувальних капсулах пілотів літаків. Другий варіант мультимедійної системи являє собою шолом віртуальної реальності

працюючий в парі з контролерами або з перчатками для взаємодії з віртуальним оточенням та інтерфейсом в програмі.

Два ці варіанти мультимедійних систем для реалізації навчання та практики в галузі транспорту підходять, маючи свої переваги та недоліки. Перший варіант з системою екранів з відстеженням положення очей та кабіною управління дозволяють наблизити студента майже до реальних умов роботи та нестандартних ситуацій, але дорога реалізації, якщо говорити про поширеність використання систем віртуальної реальності. Другий варіант завдяки шолому віртуальної реальності та контролерів чи перчаток, дозволяє опинитися локації (злітна смуга, відкрите море, залізничний шлях) та взаємодіяти з органами управління через систему зворотнього зв'язку що мають контролери (перчатки).

Можно зробити висновок що для створення оптимальної мультимедійної системи для обраного симулятора «Metrostroii», підійде об'єднання двох реалізацій такої системи, а саме, використання VR-шлему для ефекту присутності, та створення міні-пульта керування, що замінить традиційну пару контролерів, та дозволить викристовувати простіший, для суміжних дій наприклад пересування, та взаємодії.

Було обрано основні органи управління:

- 1- Контролер машиніста – відповідає за розгін та гальмування електропоїздом
- 2 - Тумблер закриття дверей;
- 3 - Тумблер вибору сторони відкриття дверей, та кнопки відкриття лівих або правих дверей вагонів;
- 4 - Реверс – дозволяю змінювати напрямок руху електропоїзда

Такий набір органів управління буде зручний при практиці у шоломі віртуальної реальності. Дизайн контролера управління (рис. 4.5) [22].

Корпус контролера зроблений компактним, обрані кнопки на елементи управління середнього розміру для зручної роботи в VR-шоломі.



Рисунок 4.5 – Дизайн контролера управління [22]

Для контролера управління тягою обрано перемикач з 10-а положеннями, з яких використовується 7-м. Реверс реалізовано потенціометром для компактності та для схожого положень реверса як на реальному пульті. Для перетворення сигналів з кнопок до ПК обрано мікроконтролер «Arduino» (структурна схема роботи контролера управління (рис. 4.6)) [23]. Кожному органу присвоєно значення літери клавіатури що відповідає налаштуванням управління в симуляторі.



Рисунок 4.6 - Структурна схема роботи контролера управління [23]

Розглянемо принципову схему контролера управління (рис. 4.7).


```

int lastval;
//контроллер
int pinIn      = A0;
int keyValue   = 0; // Состояние покоя
int lasti;
int state;
int i;
//переключатель двери
boolean butt_flag = 0;
boolean butt;
//ТУМБЛЕР СТОРОНЫ ДВЕРЕЙ
boolean butt_flag1 = 0;
boolean buttl;
//
void setup() {
    //КОНТРОЛЛЕР
    pinMode(pinIn, INPUT);
    // БЛОКИРОВКА ДВЕРЕЙ
    pinMode(12, INPUT_PULLUP);
    //ИНФОРМАТОР
    pinMode(5, INPUT_PULLUP);
    //ТУМБЛЕР СТОРОНЫ ДВЕРЕЙ
    pinMode(4, INPUT_PULLUP);
//ПЕВЕРС
        revval = analogRead(potent_pinn);
    revval = map(revval, 100, 1000, 0, 3);
    constrain(revval, 0, 3);
    Serial.println(revval);
    //
        if(revval > revLastVal)
        {
            Keyboard.press('0');
            delay(200);
            Keyboard.release('0');
            if(revLastVal != revval){
revLastVal = revval;
                }
        }
        else if (revval < revLastVal){
            Keyboard.press('9');
            delay(200);
            Keyboard.release('9');
            if(revLastVal != revval){
revLastVal = revval;
                }
        }
    }
}

```



```

//ЗАКРЫТИЕ ДВЕРЕЙ
butt = !digitalRead(12);
    if(butt == 1 && butt_flag ==0) {
        butt_flag = 1;
        Keyboard.press('v');
        delay(100);
        Keyboard.release('v');
    }
    else if(butt ==0 && butt_flag ==1)
    {
        butt_flag =0;
        Keyboard.press('v');
        delay(100);
        Keyboard.release('v');
    }
//ПЕДАЛЬ
    if(!digitalRead(11) == HIGH){
        Keyboard.press(32);
        delay(100);
        Keyboard.release(32);
    }
// КНОПКИ СТОРОНА ДВЕРЕЙ
if (!digitalRead(8)== HIGH) {
    Keyboard.press('d');
    delay(100);
Keyboard.release('d');
}
if (!digitalRead(7)== HIGH) {
    Keyboard.press('a');
    delay(100);
Keyboard.release('a');
}
//ИНФОРМАТОР
if (!digitalRead(5) == HIGH) {
    Keyboard.press('=');
    delay(100);
Keyboard.release('=');
}
//ТУМБЛЕР СТОРОНЫ ДВЕРЕЙ
butt1 = !digitalRead(4);
if (butt1 == 1 && butt_flag1 ==0){
    butt_flag1 = 1;
    Keyboard.press('a');
    delay(100);
    Keyboard.release('a');
}

```

```

else if(butt1 ==0 && butt_flag1 ==1)
{
    butt_flag1 = 0;
    Keyboard.press('d');
    delay(100);
    Keyboard.release('d');
}

```

4.3 Тестування мультимедійної системи

Для тестування було дві групи користувачів: перша група освоювали управління, правила руху та роботу з тяговим рухомим складом з клавіатури та миші. Друга - користувачі деякий час звикали до віртуальної реальності та розташуванню органів управління на контролері пульта керування. Після декілька рейсів для опанування основними навичками управління та сигналізації, обом групам додано нестандартні ситуації по типу перекриття сигналу (перемикання світлофора на червоний) на шляху прямування, людина на колії, та деякі несправності на тяговому рухомому складі.

Після тестування було зроблено експрес-опитування з основ управління, руху, та нестандартних ситуацій та висновків з самих дій в нестандартних ситуаціях. Виходячи з графіків, видно, що друга група сприйняла та засвоїла інформацію краще, та реагували на нестандартні ситуації швидше ніж перша.

Діаграма експрес-опитування першої групи (рис. 4.8) [25], діаграма експрес-опитування другої групи (рис. 4.9) [26].

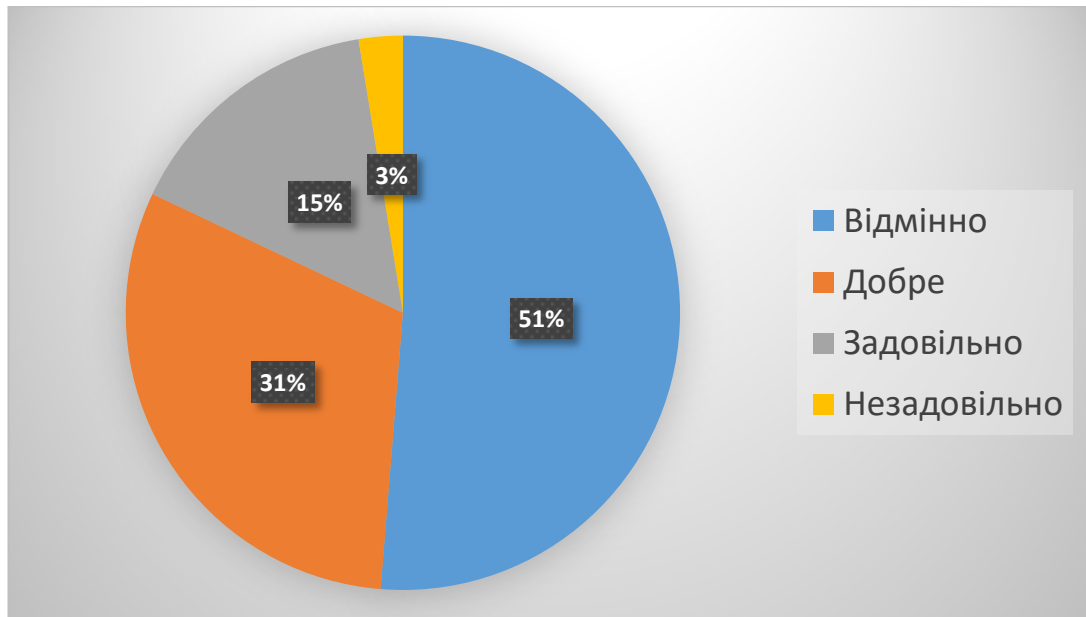


Рисунок 4.8 – Діаграма експрес-опитування першої групи [25]

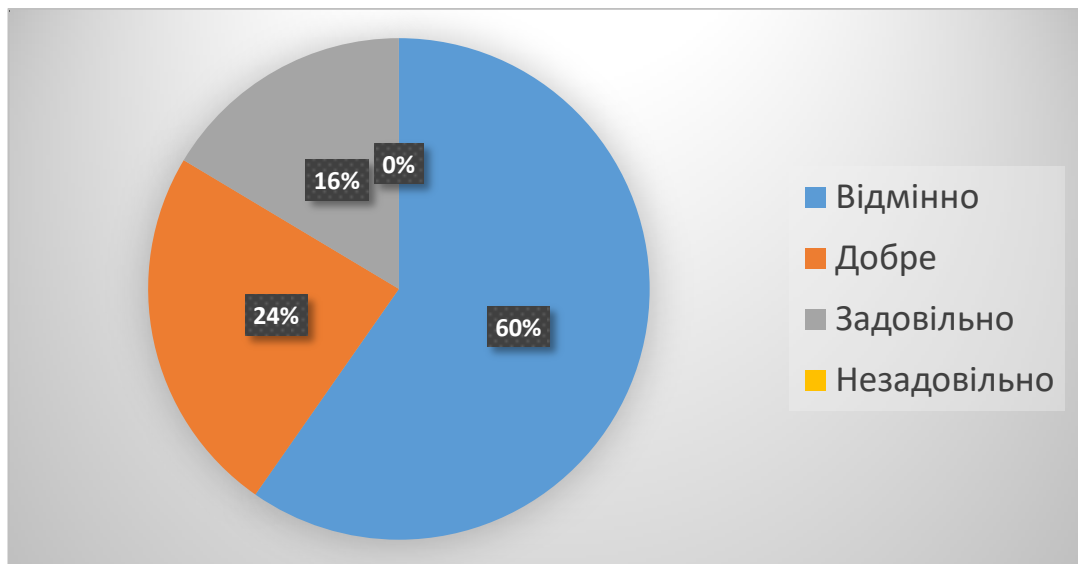


Рисунок 4.9 – Діаграма експрес-опитування другої групи [26]

Виходячи з другого графіку можна помітити що студентів що сдали опитування незадовільно відсутня. Це пов'язано з тим, що завдяки ефекту занурення, та дій виконаних фактично своїми руками тільки в віртуальному просторі, користувач запам'ятав краще алгоритми дій та їх послідовність. Головне у користувачів з'явилась зацікавленість до об'єкта вивчення, як в ігровому плані так і в навчальному.

За цим проведено опитування користувачів після їх роботи в симуляторі з мультимедійною системою віртуальною реальності. Діаграма опитування користувачів після роботи в симуляторі (рис. 4.10) [27].

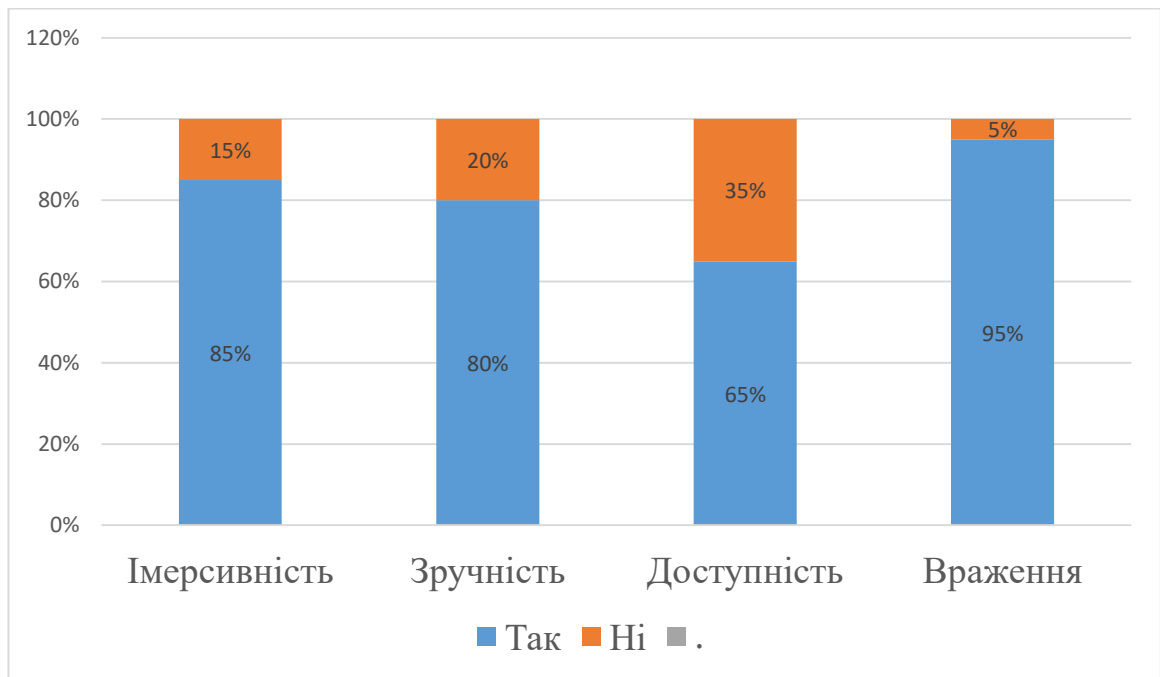


Рисунок 4.10 – Діаграма опитування користувачів після роботи в симуляторі [27]

Звертаючись до результатів опитування, можна побачити, що «Імерсивність» такого виду навчання ніж зі звичаними інструментами вище. «Зручність» - навіть з основним набором органів управління в контролері управління також оцінений як високий. «Доступність» - тобто можливість виокристовувати таку мультимедійну систему наприклад чи аудиторії для самих користувачів оцінили як вище середнього. «Враження» - показник того, як такий вид практики заохочує користувача повернутися до гри чи вивчення.

З опитувань можна зробити висновок, що такий спосіб навчання та практики з використанням мультимедійних систем з віртуальною реальністю, ефективніший та цікавіший.

ВИСНОВКИ

В данній роботі було розглянуто розвиток систем віртуальної реальності, від стереоскопа до сучасних систем що дозволяють повноцінно використовувати їх як в ігровому контенті так в навчальних цілях. Розглянуті різні модифікації та додаткові контролери для VR систем, що розширюють можливості в той чи іншій програмі, дозволяючи більш глибоко та зручно працювати чи грати. Розглянуто сценарії використання систем віртуальної реальності, які показують, що на даний час системи вже знайшли свою нішу не тільки в ігровому контенті, а й в науці, техніці, медицині та освіті. Системи дозволяють швидше опанувати навички та відпрацьовувати ті чи інші ситуації, регламенти та алгоритми роботи, наприклад для хірургів чи та важких та небезпечних виробництвах та об'єктах, таких як хімічна чи біо-лібораторії.

Показано принцип роботи систем віртуальної реальності, які матеріали технології дешевші для виготовлення та роботи системи, та принципи трекінгу, що дозволяють більш широко використовувати в освіті для університетів та шкіл, а які дорожчі, але й дозволяють більш точніше та ширше працювати в віртуальному просторі.

На прикладі симулятора «Metrostroï» та додатка для нього «VR Mod», було проведено дослідження, ціллю якого було дізнатися, чи пришвидше навчання в системі віртуальної реальності опанування навичок управління та взаємодії з системами рухомого складу та принципів руху, аніж просто в класичній схемі з монітором. Дослідження показало, що по-перше, навчання пришвидшується завдяки тому, що користувачу не треба запам'ятовувати клавіші та їх комбінації для управління у грі, бо взаємодія відбувається безпосередньо з органами управління. По-друге ефект присутності дозволяє швидше виявити помилки та неточності в процесі навчання, бо користувач та дивиться так як робив би це на реальному рухомому складі. Останнє і головне, те що, у людини вже формуються більш наближені звички на

моторні дії при роботі, знає куди дивитись і чому важливіше приділити увагу. А така навчика як правильно поставлена зорова увага, та швидкість реакція на зміни, дуже важливі на транспорті.

Такі висновки доводять що VR-системи це майбутнє навчання, та згодом стане звичайним на поширинем явищем ще в більших галузях та спеціальностях.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. *Denis Aleksandrovich Kiryanov. Features of the organization and classification of virtual reality interfaces* // Програмні системи та обчислювальні методи. — 2022-02. — Вип. 2. — С. 25–41.
2. Віртуальна реальність. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B8%D1%80%D1%82%D1%83%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%80%D0%B5%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C (дата звернення: 25.11.2022).
3. Virtual Reality URL: <https://www.it.ua/ru/knowledge-base/technology-innovation/virtualnaja-realnost-vr?preview=1#:~:text=> (дата звернення: 26.11.2022)
4. Як працює VR. URL: <https://habr.com/ru/company/droider/blog/538748/> (дата звернення: 26.11.2022).
5. *Lévis Thériault, Jean-Marc Robert, Luc Baron. Virtual Reality Interfaces for Virtual Environments* // Virtual Reality International Conference : журнал. — 2004
6. *Virtual reality : concepts and technologies.* — Boca Raton, FL: CRC Press, 2011. — 1 online resource (xx, 409 pages)
7. Історія VR. URL: <https://habr.com/ru/company/pult/blog/517296/> (дата звернення: 27.11.2022).
8. Детальна історія віртуальної реальності. URL: <https://ixbt.games/articles/2022/10/28/ne-vzletaet-industriya-vr-igr.html> (дата звернення: 27.11.2022)
9. Віртуальна реальність в освіті. URL: <https://vrfaq.info/virtualnaya-realnost-v-obrazovanii-texnologii-i-ispolzovanie/> (дата звернення: 27.11.2022)
10. Віртуальна реальність у медицині. URL: <https://habr.com/ru/post/376725/> (дата звернення: 27.11.2022)
11. VR/AR: як технології використовують у медицині. URL: <https://modumlab.com/blog/medicine> (дата звернення: 27.11.2022)

12. Як VR застосовують в медицині? URL: <https://mediglobus.com/ru/how-is-virtual-reality-used-in-medicine/> (дата звернення: 27.11.2022)
13. VR у промисловості. URL: <https://habr.com/ru/post/509374/> (дата звернення: 27.11.2022)
14. VR в суднобудуванні. URL: <https://sudostroenie.info/novosti/35552.html> (дата звернення: 28.11.2022)
15. A Comparative Example Between The Use Of Pca And Mds For Image Classification / Hernandez, W., Mendez, A., Flor-Unda, O., Camejo, I.M., Kolendovska, M. // IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 29th IEEE International Symposium on Industrial Electronics, ISIE 2020; Delft; Netherlands; 17 June 2020 до 19 June 2020; Volume 2020-June, June 2020, № 9152565, Pages 1353-1358
16. Algorithm For Generating Refined Frequency Estimates In Atmospheric Radio Sounding Systems / Kartashov V., Hernandez W., Hernandez-Balbuena D., M. Kolendovska, Konovalenko O., Melnyk V. // IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 29th IEEE International Symposium on Industrial Electronics, ISIE 2020; Delft; Netherlands; 17 June 2020 до 19 June 2020; Volume 2020-June, June 2020, № 9152562, Pages 79-82
17. Application of Fast Frequency Shift Measurement Method for INS in Navigation of Drones / D. Avalos-Gonzalez, D.H. Balbuena, V. Tyrsa, V.M. Kartashov, M. Kolendovska, S. Sheiko, O. Sergiyenko, V. Melnyk, F.N. Murrieta-Rico // IECON 2018 – 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. – P. 3159–3164.
18. Avalos-Gonzalez, D., Sergiyenko, O., Hernandez-Balbuena, D., Tyrsa, V., Kartashov V.M., V., Rivas-Lopes, M., Murrieta-Rico, F.N. Constraints definition and application optimization based on geometric analysis of the frequency measurement method by pulse coincidence // Measurement: Journal of the International Measurement Confederation (USA). 2018, V.126. P. 184-193.

19. Book "Control and Signal Processing Applications for Mobile and Aerial Robotic Systems", Hardback - Advances in Computational Intelligence and Robotics English. Edited by Oleg Sergiyenko, Moises Rivas-Lopez, Wendy Flores-Fuentes, Julio Cesar Rodríguez-Quinonez, Lars Lindner. Editorial IGI Global, Hershey, United States, January 2020, 340 páginas. ISBN10 152259924X, ISBN13 9781522599241
20. Cesar Sepulveda-Valdez ; Oleg Sergiyenko ; Vera Tyrsa ; Wendy Flores-Fuentes ; Julio César Rodríguez-Quinonez ; Fabian Natanael Murrienta-Rico ; Jesús Elías Miranda-Vega ; Paolo Mercorelli ; Marina Kolendovska. "Geometric analysis of a laser scanner functioning based on dynamic triangulation," 2020 IEEE 29th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), Delft, Netherlands, 17-19 of June 2020, pp. 1398-1403, doi: 10.1109/ISIE45063.2020.9152268.
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9152268>
21. Cuauhtémoc Mariscal-García; Wendy Flores-Fuentes; Daniel Hernández-Balbuena; Julio C. Rodríguez-Quinonez ; Oleg Sergiyenko. "Classification of Vehicle Images through Deep Neural Networks for Camera View Position Selection," 2020 IEEE 29th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), Delft, Netherlands, 17-19 of June 2020, pp. 1376-1380, doi: 10.1109/ISIE45063.2020.9152440.
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9152440>
22. Developing and Applying Optoelectronics in Machine Vision/ O. Sergiyenko, J.C. Rodriguez-Quinonez, IGI Global, 2016; 341p.
23. Experimental estimation of direction finding to unmanned air vehicles algorithms efficiency by their acoustic emission, /Oleynikov, V., Zubkov, O., Kartashov, V., ...Sheiko, S., Babkin, S.//2019 IEEE International Scientific-Practical Conference: Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2019 - Proceedings, 2019, стр. 175-178, 9061337

24. Features of acoustic noise of small unmanned aerial vehicles / Semenets, V.V., Kartashov, V.M., Leonidov, V.I. // Telecommunications and Radio Engineering (English translation of Elektrosvyaz and Radiotekhnika), 2020, 79(11), стр. 985-995
25. Geometric Analysis Of A Laser Scanner Functioning Based On Dynamic Triangulation / Sepulveda-Valdez, C., Sergiyenko, O., Tyrsa, V, Mercorelli, P., Kolendovska, M. // IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 29th IEEE International Symposium on Industrial Electronics, ISIE 2020; Delft; Netherlands; 17 June 2020 до 19 June 2020; Volume 2020-June, June 2020, № 9152268, Pages 1398-1403
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9152255>
<https://ieeexplore.ieee.org/document/9161870>
26. I. Y. A. Corpus, L. Lindner, O. Sergiyenko. "Transimpedance Amplifier for Laser Scanning System Range Extension," 2020 IEEE 29th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), Delft, Netherlands, 17-19 of June 2020, pp. 1421-1426, doi: 10.1109/ISIE45063.2020.9152487.
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9152487>
27. Ivanov, M., Sergiyenko, O., Mercorelli, P., Hernandez, W.c, Rodriguez Quinonez, J.C.d, Katashov V., Kolendovska, M., Iryna, T. Effective informational entropy reduction in multi-robot systems based on real-time TVS. IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 2019-June, 8781209, c. 1162-1167.
28. Jonathan J. Sanchez-Castro ; Julio C. Rodríguez-Quiñonez ; Luis R. Ramírez-Hernández ; Guillermo Galaviz ; Daniel Hernández-Balbuena ; Gabriel Trujillo-Hernández ; Wendy Flores-Fuentes ; Paolo Mercorelli ; Wilmar Hernández-Perdomo ; Oleg Sergiyenko ; Félix Fernando González-Navarro. "A Lean Convolutional Neural Network for Vehicle Classification," 2020 IEEE 29th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), Delft, Netherlands, 17-19 of June 2020, pp. 1365-1369,

doi:

10.1109/ISIE45063.2020.9152274.

<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9152274>

29. Lindner, L., Sergiyenko, O., Rivas-López, M., (...), Gurko, A., Kartashov, V.M. Machine vision system for UAV navigation; IEEE, 2016 International Conference on Electrical Systems for Aircraft, Railway, Ship Propulsion and Road Vehicles and International Transportation Electrification Conference, ESARS-ITEC, 2016; pp.1–6. DOI: 10.1109/ESARS-ITEC.2016.7841356.
30. M. Ivanov, O. Sergiyenko, V. Tyrsa, P. Mercorelli, V. Kartashov, W. Hernandez, S. Sheiko, M. Kolendovska. Individual scans fusion in virtual knowledge base for navigation of mobile robotic group with 3D TVS // Proceedings of 44th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics Society (IECON).. -2018. – Washington DC, USA. -S. 3187-3192. . ISBN 978-1-5090-6683-4/18/.
31. Murrieta-Rico, F.N., Petranovskii, V., Galvan, D.H., Sergiyenko, O., Yocupicio-Gaxiola, R.I., De Dios Sanchez-Lopez, J. Phase effect in frequency measurements of a quartz crystal using the pulse coincidence principle. 2020 IEEE 29th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), Delft, Netherlands, 17-19 of June 2020, pp. 185-190, 9152255, DOI: 10.1109/ISIE45063.2020.9152255
32. Oleksandr Sotnikov, Vladimir Kartashov, Oleksandr Tymochko, Oleg Sergiyenko, Vera Tyrsa, Paolo Mercorelli, Wendy Flores-Fuentes. Methods for Ensuring the Accuracy of Radiometric and Optoelectronic Navigation Systems of Flying Robots in a Developed Infrastructure. Chapter 16// Machine Vision and Navigation; Springer, Cham. pp.537–578. Editors: Sergiyenko, Oleg, Flores-Fuentes, Wendy, Mercorelli, Paolo. DOI: 10.1007/978-3-030-22587-2_16.
33. Optical detection of unmanned air vehicles on a video stream in a real-time/Kartashov, V., Oleynikov, V., Zubkov, O., Sheiko, S.// 2019 International Conference on Information and Telecommunication

- Technologies and Radio Electronics, UkrMiCo 2019 - Proceedings, 2019, 9165362/
34. Principles Of Construction And Assessment Of Technical Characteristics Of Multi-Frequency Atmospheric Sodar In The Humidity Measurement Mode / Kartashov, V.M., Sidorov, G.I., Sheiko, S.A., Kolendovskaya, M.M., Sergienko, O.Yu. // Telecommunications And Radio Engineering (English Translation Of Elektrosvyaz And Radiotekhnika), 2020, ISSN Print: 0040-2508, ISSN Online: 1943-6009, DOI: 10.1615/TelecomRadEng.v79.i4.50, p. 323-333/
 35. Research Of The Uncertainty Of Measurement Frequencies And Definitions Of The Frequency Signal In The Waveguide With Respect To Power / Semenets, V.Zakharov, I. Serhiienko, M., Kartashov, V.M., Kolendovska, M., Hernandez, W., Hipolito, J.I.N., Tyrsa, V. // 45th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, IECON 2019; Lisbon Congress Center Lisbon; Portugal; 14 October 2019 до 17 October 2019; CFP19IEC-ART; Код 155980, Volume 2019-October, October 2019, № 8927203, Pages 4674-4679
 36. Spatial-Temporal Processing Of Acoustic Signals Of Unmanned Aerial Vehicles / Kartashov V.M., Oleinikov V.N., Zubkov O.V., Sheiko S.A., Kolendovska M.M. // Telecommunications And Radio Engineering (English Translation Of Elektrosvyaz And Radiotekhnika), 2020, ISSN Print: 0040-2508, ISSN Online: 1943-6009, DOI: 10.1615/Telecomradeng.v79.i9.40, p. 769-780
 37. Stereoscopic Vision Systems In Machine Vision, Models, And Applications (Book Chapter) / Ramírez-Hernández, L.R., Rodríguez-Quinonez, J.C., Castro-Toscano, M.J., Kolendovska, M., Murrieta-Rico, F.N. // Machine Vision And Navigation, 2019 Machine Vision and Navigation 30 September 2019, Pages 241-265
 38. Strelkova T., Kartashov V., Lytyuga A., Strelkov A. Theoretical Methods of Images Processing in Optoelectronic Systems. Chapter 16. // Biometrics:

- Concepts, Methodologies, Tools, and Applications; Oleg Sergiyenko and Julio C. Rodriguez-Quiñonez. (341p.), IGI Global, 2017; pp. 361-381. DOI: 10.4018/978-1-5225-0983-7.ch016.
39. Strelkova T., Kartashov V., Lytyuga A., Strelkov A. Theoretical Methods of Images Processing in Optoelectronic Systems. Chapter 6// Developing and Applying Optoelectronics in Machine Vision; Oleg Sergiyenko and Julio C. Rodriguez-Quiñonez. (341p.) – USA, Herhey, IGI Global, 2016; pp.180-205.
 40. Sytnik O., Kartashov V. Methods and Algorithms for Technical Vision in Radar Introspection. Chapter 13// Optoelectronics in Machine Vision-Based Theories and Applications. IGI Global, 2019; pp. 373-391.
 41. The Use of Factorization and Multimode Parametric Spectra in Estimating Frequency and Spectral Parameters of Signal/Semenets, V., Kartashov, V., Sergiyenko, O., ... Rodriguez-Quinonez, J.C., Flores-Fuentes, W.//IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 2020, 2020-June, p. 215-219
 42. Unda, O.F., Hernandez, W., Vargas, O., Mendez, A., Sergiyenko, O., Tyrsa, V. Construction of a robotic platform of differential type for first-year students of electronic engineering, 2020 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, SPEEDAM 2020, 24-26 de junio de 2020, Sorrento, Italia, pp. 538-543, 9161870, DOI: 10.1109/SPEEDAM48782.2020.9161870
 43. Use of Acoustic Signature for Detection, Recognition and Direction Finding of Small Unmanned Aerial Vehicles/Kartashov, V., Oleynikov, V., Koryttsev, I., ... Babkin, S., Selieznov, I.//Proceedings - 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering, TCSET 2020, 2020, p. 377-380/
 44. V. Semenets; Vladimir Kartashov ; Oleg Sergiyenko; Vyacheslav Tikhonov ; Paolo Mercorelli ; Sergiy Sheiko ; Nataliya Chmelarova. "The Use of

Factorization and Multimode Parametric Spectra in Estimating Frequency and Spectral Parameters of Signal," 2020 IEEE 29th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), Delft, Netherlands, 17-19 of June 2020, pp. 215-219, doi: 10.1109/ISIE45063.2020.9152238.

<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9152238>

45. Wilmar Hernandez ; Alfredo Mendez ; Omar Flor-Unda ; Vicente Gonzalez-Posada ; Jose Luis Jimenez ; Oleg Sergiyenko ; Julio C. Rodriguez-Quiñonez ; Mykhailo Ivanov ; Ivan Menes Camejo ; Marina Kolendovska. "A comparative example between the use of PCA and MDS for image classification," 2020 IEEE 29th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), Delft, Netherlands, 17-19 of June 2020, pp. 1353-1358, doi: 10.1109/ISIE45063.2020.9152565.

<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9152565>

46. Карташов В.М. и др. Обработка сигналов в радиоэлектронных системах дистанционного мониторинга атмосферы; Харьков: ХНУРЭ, 2014. 312 с.
47. Карташов В.М., Олейников В.Н., Колендовская М.М., Тимошенко Л.П., Капуста А.И., Рыбников Н.В. Комплексирование изображений при обнаружении беспилотных летательных аппаратов// Радиотехника. (Харьков). 2020. Вып. 201; С.120-129.
48. Карташов В.М., Посошенко В.А., Цехмистро Р.И., Тимошенко Л.П., Колендовская М.М. Методы ориентации, навигации и контроля мобильных робототехнических платформ// Радиотехника. (Харьков). 2019. Вып. 199. С. 38-44.
49. Ситнік О.В., Карташов В.М. Радіотехнічні системи. Навч. посібник. Х.: Сміт, 2009. 448 с.