

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені Ігоря Сікорського»
(повне найменування вищого навчального закладу)

ІНЖЕНЕРНО - ХІМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра технічних та програмних засобів автоматизації
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ Віталій ЦАПАР
«___» _____ 20_ р

Дипломний проект
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою «Технічні та програмні засоби
автоматизації»

з спеціальності **151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології**

на тему: Автоматизоване управління технологічними процесами на основі технології комп'ютерного зору та доповненої реальності

Виконав: студент 4 курсу, групи ЛА-03
(шифр групи)

Вовк Дмитро Володимирович
(прізвище, ім'я, по-батькові)

_____ (підпис)

Керівник к.т.н., доц. Сазонов А.Ю.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Консультант Охорона праці к.т.н., ст. вик. Ковтун А. І.
(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Засвідчую, що в цьому дипломному
проекті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань

Студент _____
(підпис)

Київ - 2024 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Інженерно-хімічний факультет

(повна назва)

Кафедра технічних та програмних засобів автоматизації

(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(код і назва)

Освітня-професійна програма «Технічні та програмні засоби автоматизації»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

(підпис)

Віталій ЦАПАР

(ініціали, прізвище)

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Вовк Дмитро Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Автоматизоване управління технологічними процесами на основі технології комп'ютерного зору та доповненої реальності,

керівник проекту к.т.н., доц. Сазонов А.Ю.,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «17» травня 2024 р. №1993-с

2. Термін подання студентом проекту _____

3. Вихідні дані до проекту система керування, що забезпечує задані часові показники якості процесу керування.

4. Зміст пояснювальної записки Процес виробництва алілхлориду як об'єкту автоматичного керування; математичне моделювання випарника; синтез і дослідження системи керування; розробка схеми автоматизації технологічного процесу виробництва алілхлориду; охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) _____

6. Консультанти розділів проекту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
6. Охорона праці	к.т.н., ст. вик. Ковтун А. І.		

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Аналіз технологій комп'ютерного зору та доповненої реальності	26.04.2024	
2	Проектування схеми автоматизації	05.05.2024	
3	Програмна реалізація відслідковування рухів та передачі даних	15.05.2024	
4	Симуляція регулювання витрати у трубопроводі	20.05.2024	
5	Моделювання керування промисловим роботом	25.05.2024	
6	Охорона праці	30.05.2024	

Студент

(підпис)

Вовк Д.В.
(ініціали, прізвище)

Керівник проекту

(підпис)

Сазонов А.Ю.
(ініціали, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту.

Реферат

У даному дипломному проекті на тему "Автоматизоване управління технологічними процесами на основі технології комп'ютерного зору та доповненої реальності" присутні: пояснювальна записка, яка налічує 64 сторінки, 6 розділів, 4 програмних реалізацій. В проекті досліджено поняття комп'ютерного зору та доповненої реальності, для яких технологічних процесів використання цих технологій може бути кращим аніж стандартні способи управління технологічними системами, та якими методами це досягається. Затронуться всі аспекти цих технологій, їх сильні та слабкі сторони.

Буде створена програма на мові програмування Python, яка візьме за основу відслідковування рухів людини за допомогою машинного зору та відправлення отриманої інформації на систему, в нашому випадку симуляція системи з технологічними процесами в програмному середовищі Unity. На стороні Unity дані будуть оброблюватися за допомогою скриптів на мові програмування C#. Остаточо можна буде просимулювати управління технологічними процесами за допомогою технологій машинного зору та доповненої реальності.

Abstract

This diploma project on the topic "Technological processes automated control based on computer vision and augmented reality technologies" includes: an explanatory note, which has 64 pages, 6 chapters, 4 program realizations. The project explores the concepts of computer vision and augmented reality, for which technological processes the use of these technologies can be better than standard methods of managing technological systems, and by what methods this is achieved. All aspects of these technologies, their strengths and weaknesses will be covered.

A program will be created in the Python programming language, which will be based on tracking human movements using machine vision and sending the received information to the system, in our case, the simulation of a system with technological processes in the Unity software environment. On the Unity side, the data will be processed using scripts in the C# programming language. Finally, it will be possible to simulate the management of technological processes with the help of machine vision and augmented reality technologies.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ ТА ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ ЯК ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ	11
1.1 ТЕХНОЛОГІЇ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ	11
1.2 СУТНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЙ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ	14
1.3 МІСЦЕ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ В АВТОМАТИЗОВАНОМУ КЕРУВАННІ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ.....	18
РОЗДІЛ 2. ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ	21
2.1 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВИРОБНИЦТВА ТЕТРАХЛОРМЕТАНУ З ХЛОРООРГАНІЧНИХ ЗАЛИШКІВ	21
2.1.1 Аналіз технологічної схеми процесів	21
2.1.2 Опис схеми автоматизації процесів виробництва.....	22
2.2 РОБОТИЗОВАНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ СКЛАДАННЯ ТА ЗВАРЮВАННЯ	28
2.2.1 Опис роботизованого комплексу зварювання та складання.....	28
2.2.2 Зворотна задача кінематики промислового робота для зварювання та складання	29

					<i>ДПЛА03.04.00.000.ПЗ</i>							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.		Вовк Д.В.			Автоматизоване управління технологічними процесами на основі технології комп'ютерного зору та доповненої реальності			Літ.	Арк.	Аркушів		
Перев.		Сазонов А.Ю.								64		
Н. Контр.		Кваско Е.М.						НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІХФ				
Затв.		Цапар В.С.										

РОЗДІЛ 3. АЛГОРИТМІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗУВАННЯ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ 34

3.1 АЛГОРИТМ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВІДСЛІДКУВАННЯ РУХІВ З КАМЕРИ..... 34

3.2 АЛГОРИТМ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЦИФРОВОГО ДВІЙНИКА ДЛЯ КЕРУВАННЯ ВИТРАТОЮ ХЛОРУ 36

3.2 АЛГОРИТМ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЦИФРОВОГО ДВІЙНИКА РОБОТИЗОВАНИХ ПРОЦЕСІВ СКЛАДАННЯ ТА ЗВАРЮВАННЯ..... 37

РОЗДІЛ 4. ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗУВАННЯ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ..... 39

4.1 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВІДСЛІДКУВАННЯ РУХІВ З КАМЕРИ 39

4.2 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЦИФРОВОГО ДВІЙНИКА ВИТРАТОЮ ХЛОРУ 44

4.3 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЦИФРОВОГО ДВІЙНИКА РОБОТИЗОВАНИХ ПРОЦЕСІВ СКЛАДАННЯ ТА ЗВАРЮВАННЯ 46

РОЗДІЛ 5. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ 49

5.1 ПЕРЕВІРКА ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВІДСЛІДКУВАННЯ РУХІВ З КАМЕРИ..... 49

5.2 ПЕРЕВІРКА ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЦИФРОВОГО ДВІЙНИКА ВИТРАТОЮ ХЛОРУ 50

5.3 ПЕРЕВІРКА ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЦИФРОВОГО ДВІЙНИКА РОБОТИЗОВАНИХ ПРОЦЕСІВ СКЛАДАННЯ ТА ЗВАРЮВАННЯ 52

					<i>ДПЛА03.04.00.000.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
Розроб.		Вовк Д.В.			<i>Автоматизоване управління технологічними процесами на основі технології комп'ютерного зору та доповненої реальності</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
Перев.		Саонов А.Ю.						64
Н. Контр.		Кваско Е.М.				НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІХФ		
Затв.		Цапар В.С.						

РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	55
6.1 ВИРОБНИЧЕ ОСВІТЛЕННЯ.....	56
6.2 ВИРОБНИЧИЙ ШУМ.....	58
6.3 МІКРОКЛІМАТ.....	58
6.4 УРАЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИМ СТРУМОМ.....	60
6.5 ПОЖЕЖОНЕБЕЗПЕКА.....	61
ВИСНОВКИ	62
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	63

					<i>ДПЛА03.04.00.000.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
Розроб.	Вовк Д.В.				<i>Автоматизоване управління технологічними процесами на основі технології комп'ютерного зору та доповненої реальності</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
Перев.	Сазонов А.Ю.							64
Н. Контр.	Кваско Е.М.					НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІХФ		
Затв.	Цапар В.С.							

ВСТУП

Більшість часу для управління технологічними процесами використовувалися системи, які потребують жорсткого підключення до необхідних апаратів, налаштування системи керування та розуміння як правильно її використовувати – для цього необхідна підготовка та практика. Також для установки даних систем потребується професійний підхід, команда спеціалістів, закуплена техніка та матеріали, що остаточно багато коштує. Але з часом почали все більш приходити на заміну старим технологіям новіші, які мають менший поріг входу, дешевшу установку та зручніше користування. Для цих технологій може бути достатньо лише смартфона, який в наш час присутній майже у всіх, і потужності телефону може бути достатньо для підтримання програмного забезпечення по управлінню складними процесами.

Технології машинного зору до поточного року також активно використовувалися, їх можливості дозволяли порівнювати зображення, по кольору розуміти на чому акцентувати увагу, тим самим сортувати коробки по упаковці. Для цих задач не використовувалися значні ресурси і всю систему з програмним забезпеченням можна було упакувати в невеликий каркас з камерою. Зараз для нашого світу відкрилися дуже потужні технології штучного інтелекту, які на базі нейронних мереж навчилися розуміти контекст зображень та знаходити відповідні об'єкти. З цією ідеєю були створені моделі, які можна додавати в свої програми, що привнесе можливість сканування зображення з камери, отримуючи дані з навколишнього світу.

На цій основі з'являється можливість створювати об'єкти поверх зображень з камери, які користувач може бачити та з якими зможе взаємодіяти. Для реалізації точної зміни положення об'єкта при повороті камери і використовується машинний зір, на основі даної технології розуміється масштаби, зміни ракурсу, швидкість переміщення камери та інше, що допомагає побудувати реалістичний об'єкт.

										Арк.
										9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДПЛА03.04.00.000.ПЗ					

Технології комп'ютерного зору та доповненої реальності можуть бути корисними не лише для управління технологічними процесами, а й планування системи за допомогою моделювання апаратів та розміщення їх у віртуальному світі, де направляючи камеру та змінюючи своє положення в просторі можна прикинути розміри та розташовку об'єктів системи. Керування технологічними процесами може стати набагато простішим та вигіднішим для звичайних користувачів чи для великих підприємств. На цій основі буде розглядатися складність використання технологій комп'ютерного зору та доповненої реальності, і написання спеціалізованого програмного забезпечення для управління технологічними процесами.

Отже, метою дипломного проекту є підвищення ефективності та простоти керування технологічними процесами шляхом розроблення системи доповненої реальності на основі технології комп'ютерного зору, що дозволяє знизити вимоги до рівня підготовки інженерно-технічного персоналу.

Для досягнення зазначеної мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Провести аналіз технологічних процесів та особливостей їх автоматизації для визначення можливості подальшого застосування технології доповненої реальності для керування ними;
2. Розглянути особливості технічних засобів для реалізації технології доповненої реальності у керуванні технологічними процесами на основі комп'ютерного зору;
3. Розробити алгоритмічне забезпечення керування технологічними процесами на основі технологій комп'ютерного зору та доповненої реальності;
4. Розробити програмне забезпечення для середовища доповненої реальності для автоматизованого керування неперервними та дискретними технологічними процесами;
5. Провести перевірку отриманих результатів.

					<i>ДІЛА03.04.00.000.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>10</i>

комп'ютерний зір допомагає зрозуміти комп'ютерам, що вони бачать, аналізуючи зображення чи відео.

Завдяки вдосконаленню програмного забезпечення графічного процесора та оптимізації штучного інтелекту, комп'ютерне зір і машинне навчання працюють рука об руку, заохочуючи високопродуктивні обчислення на виробництві, особливо в сферах перевірки, автоматизації та моніторингу в реальному часі. Комбінація вище зазначених технологій створює інтелектуальні виробничі системи, які регулюють і точно налаштовують параметри в реальному часі, використовуючи дані з датчиків на технологічних об'єктах. Це також надає інструменти прогнозування, які допомагають компаніям передбачати недосконалення, планувати технічне обслуговування та запобігати проблемам на ранніх стадіях.

Аналізуючи візуальні дані, отримані з виробничого цеху, системи комп'ютерного зору можуть точно ідентифікувати та відстежувати об'єкти, контролювати робочий процес і виявляти аномалії, такі як несправності обладнання або дефекти продукції. Наприклад, під час перевірки якості комп'ютерний зір використовується для виявлення поверхневих дефектів або вимірювання розмірів деталей, що, у свою чергу, призводить до меншої кількості проблем з якістю, менше переробок і скорочує час, витрачений на непотрібні перевірки працівниками. На складальних лініях комп'ютерний зір можна використовувати для автоматизації перевірок контролю якості, гарантуючи, що кожен продукт відповідає необхідним стандартам перед переходом до наступного етапу виробництва.

Що стосується оптимізації процесу, комп'ютерний зір і машинне навчання можуть допомогти динамічно коригувати виробничий процес на основі зворотного зв'язку. Наприклад, камери та пристрої IoT (Інтернет речей), які використовуються для заводської синхронізації та динамічного планування, відстежують рух матеріалів і продукції в режимі реального часу, які синхронізуються з іншими

					<i>ДПЛА03.04.00.000.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		12

виробничими системами, такими як ERP (Enterprise Resource Planning) і MES (Manufacturing Execution System). Для динамічного планування та розподілу ресурсів. Це призводить до покращення гнучкості, зменшення запасів і підвищення загальної ефективності обладнання. Регулювання налаштувань контролера можна автоматизувати для оптимізації виробництва та зменшення відходів. Так само в управлінні запасами можна аналізувати зображення з камер, щоб виявляти порожні контейнери та покращувати процедури поповнення запасів, забезпечуючи плавний потік матеріалів і мінімізуючи простої.

Крім того, інтеграція систем комп'ютерного зору полягає не лише в покращенні кінцевого продукту, але й у забезпеченні більш безпечного середовища для працівників. У виробничих умовах, де ручний огляд може становити небезпеку, наприклад, взаємодія з механізмами, що швидко рухаються, або поводження з гострими предметами, автоматизовані системи комп'ютерного зору можуть також вплинути на результат. Це позбавляє працівників від необхідності перебувати поблизу певних операцій із високим ризиком. Наприклад, у секторі автомобільного виробництва, де точність має вирішальне значення, комп'ютер може контролювати вирівнювання та підгонку деталей, забезпечуючи точність без втручання людини.

За підсумком зараз максимум з технологічних апаратів автоматизували настільки, наскільки це було можливо. Комп'ютерний зір на основі штучного інтелекту хоча і присутній, але він все ще не може повністю керуватися за допомогою мови та команд. Його потрібно налаштовувати для відповідних дій. Тобто поки ще не був винайдений штучний інтелект, який буде розуміти користувача та робити відповідні дії на технологічному процесі, нам все ще потрібно буде створювати нові методи зручного керування для користувача, що в даному дипломному проекті далі і буде досліджуватися.

					<i>ДПЛА03.04.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

1.2 Сутність технологій доповненої реальності

На початковому етапі доповнена реальність може фактично продемонструвати, як виглядатиме продукт без створення фізичного прототипу. Імітація середовища, де інженери можуть тестувати різні компоновання заводу та визначати потенційні проблеми перед внесенням фізичних змін. Дизайнери можуть перетворювати цифрові 3D-моделі на фізичні зображення, які можна накладати на об'єкти реального світу. Це дає їм змогу ефективніше оцінювати розміри, естетику та ергономіку продукту, скорочуючи час виходу на ринок. Оптимізувавши компоновання заводу, виробники можуть підвищити ефективність вироблення продукту, зменшити витрати та збільшити випуск. Наприклад, в автомобільній промисловості компанія Ford Motors використовувала власну технологію віртуальної реальності FIVE (Ford Immersive Vehicle Environment) задовго до того, як споживчі гарнітури Oculus і HTC з'явилися на ринку, щоб створювати віртуальні зображення ще неіснуючих транспортних засобів у найдрібніших деталях. Дизайни передаються у віртуальне автомобільне середовище, що дозволяє інженерам побачити, як це бути всередині майбутнього автомобіля.

Хоча алгоритми штучного інтелекту можуть оптимізувати складний процес керування базами даних запасів, завдання перенесення та складання продукції все ще передбачає ручну працю. Технологія доповненої реальності допомагає усунути плутанину та зробити цей процес швидким і точним. Працівник складу, який тримає телефон або носить Microsoft HoloLens (рис. 1.1,а) (або будь-яку іншу гарнітуру, якщо на те пішло), отримує інструкції щодо точного розташування певного товару та направляє до самого проходу та полиці, де він зберігається. Для сприяння безпеці на робочому місці та пом'якшенню небезпек у виробничих та складальних приміщеннях, на зображення накладається віртуальні попереджувальні знаки, важлива інформація або дані моніторингу в реальному часі на фізичне середовище. Тим самим надаючи працівникам необхідні інструкції з безпеки для запобігання нещасним випадкам, знижуючи ризики, пов'язані з

					ДПЛА03.04.00.000.ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

небезпечними завданнями. Навчання з безпеки з підтримкою доповненої реальності також сприяє формуванню культури безпеки, покращуючи загальне самопочуття на робочому місці.



а)



б)

Рисунок 1.1 – Технічні засоби доповненої реальності:

а) Microsoft Hololens; б) Google Glasses

Ще одним із нестандартних рішень є направлення працівників виробництва через кожну складну деталь виробничого процесу в режимі реального часу. Працівник отримує віртуальні інструкції, спроектовані на його планшеті або окулярах доповненої реальності, що допомагає заощадженню досить тривалого навчання, а також усунення людського фактору для уникнення помилок. Моделюючи виробниче середовище, компанії можуть вказати на потенційні загрози та усунути їх задовго до їх виникнення, розміщуючи відповідне обладнання іншим чином. Доповнена реальність може забезпечити детальну візуалізацію виробничого обладнання, дозволяючи інженерам і технікам краще зрозуміти, як працює апарат чи інша техніка та як їх можна вдосконалити. Забезпечення високої якості продукції має важливе значення в обробній промисловості. Контроль якості за допомогою доповненої реальності покращує процеси перевірки шляхом накладання візуальної інформації в реальному часі. Спеціальні окуляри можуть висвітлювати потенційні дефекти, накладати ідеальну модель для порівняння та направляти інспекторів у процес перевірки. Ця технологія підвищує точність, прискорює процедури контролю стандартів якості. Інспекція з підтримкою

					<i>ДПЛА03.04.00.000.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		15

доповненої реальності також покращує відстеження та аналіз даних, що призводить до постійного вдосконалення процесу.

Крім того, накладання доповненої реальності можна використовувати для надання інформації в режимі реального часу про кількісні характеристики виробництва, дозволяючи менеджерам швидко виявляти вузькі місця або неефективність і вносити зміни для покращення продуктивності. Ефективне управління запасами має вирішальне значення для оптимізації технологічних процесів. Системи доповненої реальності надають інформацію в реальному часі про кількість сировини і матеріалів, розташування та графіки поповнення. Управління запасами зменшує кількість помилок, покращує точність планування виробництва, мінімізує дефіцит або надлишок запасів та оптимізує операції в ланцюжку поставок.

У виробництві та монтажних процесах (рис. 1.1) можуть використовуватися таких три основних вида техніки з доповненою реальністю: планшет або телефон, окуляри та проектор.

Телефони або планшети є мобільними комп'ютерами з вбудованою камерою, які зручно використовувати для надання робочих інструкцій через програми доповненої реальності. Одним з прикладів використання технології доповненої реальності для широкої публіки є фільтри у мобільному додатку Snapchat. Останнім часом планшети та телефони все більше пробиваються в індустрію.

Також технологія доповненої реальності використовує спеціальні окуляри або гарнітуру для проектування додаткового зображення на навколишнє середовище. Одними з найпопулярніших розумних окулярів є Google Glass і Microsoft HoloLens. Ці пристрої слугують легкими комп'ютерами без займання рук, які відображають і зберігають інформацію. Порівняно з доповненою реальністю для планшетів чи смартфонів, доповнена реальність, яку можна носити, є популярним вибором на фабриках завдяки своїй мобільності та динамічній графіці.

					<i>ДПЛА03.04.00.000.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		16

1.3 Місце доповненої реальності в автоматизованому керуванні технологічними процесами

Технологічні процеси класифікуються за кількома ознаками. За ознакою безперервності виділяють три види технологічних процесів. Перший вид включає процеси, що виконуються на дискретних машинах. Вони періодично зупиняються для виконання допоміжних операцій (установки та зйомки заготовок тощо). Ці процеси зазвичай використовуються виготовлення штучних виробів, хоча можливе виробництво нештучної продукції партіями. Вони дозволяють досягати високої точності виробів, а продуктивність підвищується шляхом скорочення часу обробки та допоміжних рухів. Другий вид технологічних процесів здійснюється на машинах безперервної дії, таких як волочіння, прокат, шліфування тощо. Тут робочий інструмент нерухомий, а виріб переміщується безперервно. Ці процеси легко автоматизуються і використовуються масового виробництва.

За характером руху та орієнтації виробів та інструменту технологічні процеси діляться на два основні та два перехідні класи. Перший основний клас включає процеси, що взаємно рухаються, з орієнтацією заготовок і обробного інструменту. Другий основний клас поєднує процеси без орієнтації виробів, де інструментом є робоче середовище (термічна обробка, сушіння тощо). Перший перехідний клас має на увазі орієнтацію деталі та використання робочого середовища як інструменту (нанесення покриттів). Другий перехідний клас не вимагає орієнтації (пресування пластмас).

Таким чином, більшість процесів хімічної, біофармацевтичної, біотехнологічної, харчової, металургійної промисловостей відносяться до класу **неперервних**. Водночас, робототехнічні процеси є яскравим прикладом **дискретних** технологічних процесів. Для спрощення автоматизації керування обох класів систем (неперервних та дискретних) доцільним є застосування технології доповненої реальності (англ. – Augmented Reality – AR), що є невід'ємною

										Арк.
										18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДПЛА03.04.00.000.ПЗ					

складовою формування цифрових двійників будь-яких технологічних процесів, а це в свою чергу є одним із принципів Industry4.0.



Рисунок 1.3 – Приклад застосування доповненої реальності для автоматизації неперервних систем

Ідея використання доповненої реальності в промисловому контексті не нова, і було вивчено багато випадків використання. Наприклад, AR можна використовувати для виконання дистанційного експертного керівництва, розробки нових продуктів шляхом віддаленої співпраці або проведення інспекції цифрових прототипів [10]. AR також використовується для оцінки ергономіки робочої станції та доступності обладнання [11] або для виявлення виробничих помилок і дефектів [12]. Ці види використання AR у промисловості мають багато можливостей, але найбільш цікавим для нашої роботи та найпоширенішим є допомога в складанні з метою навчання [13][12][14]. Варто зазначити, що надавати допомогу в складанні та обслуговуванні в AR цікавіше, якщо плинність персоналу висока і якщо завдання повторюються [15]. Але для того, щоб правильно навчити операторів, необхідно мати відповідний і добре налаштований інструмент допомоги.

										Арк.
										19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДПЛА03.04.00.000.ПЗ					

Оскільки компонування робочої станції може змінюватися протягом дня, необхідно знати функціональні елементи робочих станцій, а також їх розташування, щоб спрямувати увагу користувача. Найважливіша проблема, враховуючи наш контекст, полягає в тому, щоб підтримувати цей інструмент в актуальному стані у разі зміни еталонного зразка протягом дня (наприклад, зміни виробництва з котла А на котел В) або оновлення робочих станцій (наприклад, коробку з гайками замінено коробкою з болтами). Однією з можливостей вирішення вищевказаних проблем було б мати повний цифровий двійник (англ. – Digital Twin – DT) заводських робочих станцій. Це DT міститиме всі дані про робочі станції (наприклад, наявні елементи, кількість, положення). Інформація з цього DT потім використовуватиметься для створення, наприклад, інструкцій, які візуалізуються в AR, і підтримуватимуть їх актуальними.

Із розвитком Industry4.0 інтерес до використання DT у промисловій сфері зростає, дедалі більше підключених фабрик використовують IoT, датчики, великі дані та потребують більшої гнучкості. У промисловості існує в основному три сфери застосування DT:

- 1) прогнозне управління станом продукції або систем,
- 2) проектування,
- 3) виробництво.

Другорядними сферами застосування є підтримка технічного обслуговування та підтримка навчання. Наявність доступу до цих поведінкових моделей і симуляцій у поєднанні з 3D-моделюванням також дозволяє віртуально проектувати нові продукти. Крім того, використання DT дає можливість віртуального дизайну та ергономічної оцінки робочих станцій і виробничих ліній. Що стосується виробництва, то DT дозволяє контролювати та передбачати проблеми завдяки імітаційним моделям виробничих ліній. DT дуже корисні у випадку розумних фабрик, де складальні лінії повністю підключені через IoT до кіберфізичної системи.

					<i>ДПЛА03.04.00.000.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		20

РОЗДІЛ 2. ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

2.1 Технологічний процес виробництва тетрахлорметану з хлорорганічних залишків

2.1.1 Аналіз технологічної схеми процесів

Після проведеного аналізу схеми технологічного процесу виробництва тетрахлорметану з хлорорганічних залишків були зроблені висновки стосовно автоматизації виробництва. Виникла необхідність розробити додаткові схеми для введення нових контролюючих елементів на схему автоматизації. Такі нововведення в схему автоматизації потрібні для коректного, безпечного та ефективного протікання процесу виробництва.

Схема до системи автоматизації процесу на хімічному виробництві тетрахлорметану з хлорорганічних залишків будується на основі заданих технологічних схем процесів у апаратах. Стан технологічного процесу та якість роботи технологічного апарату на будь-якому виробництві характеризують:

1. Продуктивність технологічного процесу, тобто скільки отримуємо продукції на виході з апарату і який може працювати у режимі мінімальної продуктивності, робочої продуктивності та максимальної продуктивності (навантаження);

2. Набір технологічних параметрів значення, яких у часі відображають стан і хід технологічного процесу у апараті згідно відповідного технологічного регламенту на виробництво.

На технологічний процес у апараті, як на об'єкт керування постійно діють збурюючі впливи, які умовно підрозділяються на такі види:

- зовнішні збурення – це, наприклад, зміна дня і ночі, зміна у часі параметрів повітря зовнішнього середовища (температура, вологість, тиск та швидкість), які впливають на загублення тепла з поверхні корпусу технологічного апарату; зміна

					ДПЛА03.04.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

параметрів у потоків сировини на вході у апарат (температура, концентрація, вологість, густина та інші);

- внутрішні збурення – це зміна, наприклад, у часі активності каталізатору до хімічної реакції, старіння каталізатору або забруднення, виникнення плівки накипу на поверхнях нагрівання та таке інше.

У наборі технологічних параметрів апарату, як об'єкта керування також є один або декілька параметрів, які для регулювання технологічного процесу змінюються відповідно до вимог технологічного регламенту на процес у апараті. Значення цих регульовальних параметрів залежать від стану параметрів збурення, які впливають на тепловий та матеріальний баланс процесу у технологічному апараті.

Після проведеного аналізу технологічної схеми процесу виробництва тетрахлорметана з хлорорганічних залишків для забезпечення подальшої ефективної, а головне, безпечної роботи всіх елементів процесу, були поставлені такі задачі:

- аналіз технологічного процесу і розробка схеми автоматизації процесу з системою аварійного захисту та технологічним блокуванням;

2.1.2 Опис схеми автоматизації процесів виробництва

Схема автоматизації технологічного процесу тетрахлорметана з хлорорганічних залишків зображена на рисунку 2.1 та представляє собою набір контурів контролю та регулювання параметрів процесів у апаратах, які входять до складу технологічної схеми з даного хімічного виробництва. Схема проектується при допомозі типових функціональних схем з контролю, регулювання, сигналізації та дистанційного керування відповідно до ГОСТ 2.780, ГОСТ 2.780, ГОСТ 2.788, ГОСТ 2.789, ГОСТ 2.790 та ГОСТ 2.795, а технологічні комунікації відповідно до властивостей транспортованих у них середовищ – ГОСТ 14202 та ГОСТ 2.784.

					<i>ДПЛА03.04.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Суміш відходів подають у випарник 1, де відокремлюються важкі продукти, що спрямовуються на спалювання. Пари хлорорганічних речовин змішують з надлишком хлору (10 – 15 % від стехіометричного) і подають у реактор 2. Останній виконаний у вигляді пустотілого футерованого апарату, в якому може бути псевдозріджений шар теплоносія (кварцовий пісок). З огляду на дуже високу екзотермічність сумарного процесу знімання надлишкового тепла здійснюють, вводячи в реактор сирий продукт, що рециркулює, і підтримуючи температуру 500 – 590 °С.

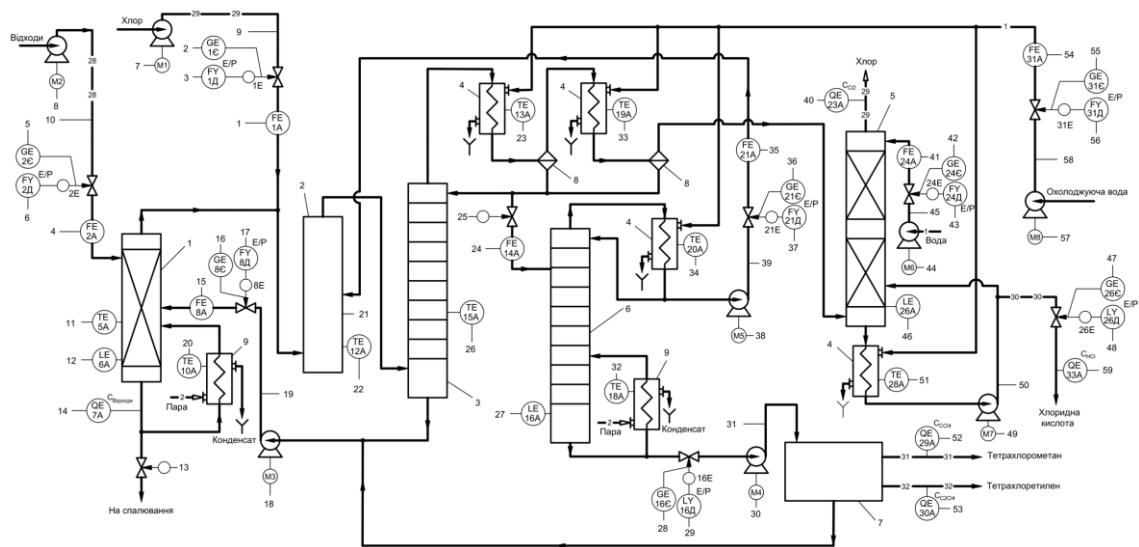


Рисунок 2.1 – Схема автоматизації виробництва тетрахлорметану з хлорорганічних залишків

Гаряча парогазова суміш реактора потрапляє в «загартову» колону 3, де за рахунок зрошення рідким конденсатом з водяного холодильника 4 температура знижується до 100 - 145 °С. Тяжкі продукти збирають у кубі і повертають у випарник 1. Газову суміш додатково охолоджують у розсольному холодильнику 4, відокремлюють від конденсату і подають у колону 5 для адсорбції HCl водою з одержанням 30%-ної соляної кислоти та одночасного відділення хлору, який можна повертати на реакцію або використовувати для інших цілей.

						ДПЛА03.04.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			23

Об'єднаний конденсат після холодильників 4 направляють у колону 6. Там відганяються розчинені в ньому HCl і Cl₂ разом з деякою частиною хлорорганічних продуктів, які повертають в реактор 2 з метою знімання надлишкового тепла. Рідкі продукти з куба колони 6 піддають двоступінчастої ректифікації, одержуючи у вигляді дистилатів тетра-хлорметан і тетрахлоретилен і повертаючи залишок від перегонки у випарник 1. Різні хлорорганічні відходи (в тому числі важкі залишки від попереднього способу переробки та циклічні газофазному розщепленню, а також кисневмісні сполуки) можна піддавати хлоролізу в рідкій фазі при 550 - 600 ° С, 20 МПа і часу контакту - 20 хв. При одноразовому проході через пустотілий реактор, розрахований на роботу при високих тиску і температурі, утворюються тетрахлорметан, гексахлоретан, гексахлорбензол, а з кисневмісних сполук – фосген. Після дроселювання суміші відокремлюють важкі продукти і повертають їх на реакцію, а з решти суміші виділяють CCl₄, фосген, хлор (повертається на реакцію) та безводний хлорид водню.

Повний опис контурів контролю схеми автоматизації:

LE(6A), LE(16A), LE(26A) – радарний рівнемір, вихідний сигнал якого подаються на прилад LTYE/E(6B), LTYE/E (16B), LTYE/E (26B) – блок з формування вихідного сигналу. Цей прилад подає сигнал до пульта керування і до регулятора LIAC(6B), LIAC(16B), LIAC(26B). Вихідний сигнал регулятора йде на блок ручного управління HIC(6Г), HIC(16Г), HIC(26Г). Сигнал з регулятора йде на перетворювач сигналу, який перетворює електричний сигнал в пневматичний – LYE/P(16Д), LYE/P(26Д). Коли рівень в апараті стає більшим допустимого значення, вихідні сигнали управління йдуть на датчик положення клапану GE(16Є), GE(26Є), потім на пневматичний клапан (16Е, 26Є), що встановлені на трубопроводі.

FE(1A), FE(2A), FE(8A), FE(14A), FE(21A), FE(24A), FE(31A) - електромагнітні вимірювачі витрати, вихідні сигнали яких подаються на прилади FT(1Б), FT(2Б), FT(8Б), FT(14Б), FT(21Б), FT(24Б), FT(31Б) – блоки з формування

					<i>ДПЛА03.04.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

вихідних сигналів. Ці прилади подають сигнали до пульта керування і до регулятора FIC(1B), FFIC(2B), FIC(8B), FIC(14B), FIC(21B), FIC(24B), FIC(31B). Вихідний сигнал регулятора йде на блок ручного управління НІС(1Г), НІС(2Г), НІС(8Г), НІС(14Г), НІС(21Г), НІС(24Г), НІС(31Г). Сигнал з регулятора йде на перетворювач сигналу, який перетворює електричний сигнал в пневматичний – FУЕ/Р(1Д), FУЕ/Р(2Д), FУЕ/Р(14Д), FУЕ/Р(21Д), FУЕ/Р(24Д), FУЕ/Р(31Д). Коли витрата в апаратах стає більшою допустимого значення, вихідні сигнали управління йдуть на датчики положення клапанів GE(1Є), GE(2Є), GE(14Є), GE(21Є), GE(24Є), GE(31Є), потім на пневматичні клапани (1Е, 2Е, 14Е, 21Е, 24Е, 31Е), що встановлені на трубопроводі.

TE(5A), TE(10A), TE(12A), TE(13A), TE(15A), TE(18A), TE(19A), TE(20A), TE(28A) – вимірювачі температури, вихідні сигнали яких подаються на прилади ТТ(5Б), ТТ(10Б), ТТ(12Б), ТТ(13Б), ТТ(15Б), ТТ(18Б), ТТ(19Б), ТТ(20Б), ТТ(28Б) – блоки з формування вихідних сигналів. Ці прилади формують вихідні струмові сигнали (4...20 mA), які подаються на входи приладів ТІАС(5В), ТІАС(10В), ТІАС(12В), ТІАС(13В), ТІАС(15В), ТІАС(18В), ТІАС(19В), ТІАС(20В), ТІАС(28В). У якості приладів будемо розглядати використання мікропроцесорних технологічних індикаторів ІТМ11 МІКРОЛ. Ці прилади будуть показувати значення робочого тиску на виході насосів, а блоки сигналізації приладів сигналізувати падіння значень тиску і одночасно формувати дискретні сигнали у 24V постійного струму для електромагнітних реле (KM4, KM5; KM10, KM11; KM14, KM15; KM16, KM17; KM18, KM19; KM22, KM23; KM24, KM25; KM26, KM27; KM36, KM37). Через контакти реле будуть відповідно вмикатися живлення сигнальних лампочок (HL8, HL9; HL17, HL18; HL22, HL23; HL24, HL25; HL26, HL27; HL32, HL33; HL34, HL35; HL36, HL37; HL53, HL54), які будуть вказувати на те, що виникла аварія.

QE^{C(Відходів)}(7A), QE^{C(Cl2)}(23A), QE^{C(CCl4)}(29A), QE^{C(C2Cl4)}(30A), QE^{C(HCl)}(33A) – вимірювачі концентрації речовини, вихідний сигнал яких подаються на прилади

										Арк.
										25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДПЛА03.04.00.000.ПЗ					

$QT^{C(\text{Відходів})}(7Б)$, $QT^{C(CI2)}(23Б)$, $QT^{C(CCI4)}(29Б)$, $QT^{C(C2CI4)}(30Б)$, $QT^{C(HCl)}(33Б)$ – блоки з формування вихідних сигналів. Далі сигнал йде на нормуючий перетворювач $E/E QY^{C(\text{Відходів})}(7В)$, $E/E QY^{C(CI2)}(23В)$, $E/E QY^{C(CCI4)}(29В)$, $E/E QY^{C(C2CI4)}(30В)$, $E/E QY^{C(HCl)}(33В)$ Ці перетворювачі формують вихідні струмові сигнали (4...20 mA), які подаються на входи приладів $QIRAS^{C(\text{Відходів})}(29Г)$, $QIRAS^{C(CI2)}(29Г)$, $QIRAS^{C(CCI4)}(29Г)$, $QIRAS^{C(C2CI4)}(29Г)$, $QIRAS^{C(HCl)}(29Г)$. У якості приладів будемо розглядати використання мікропроцесорних технологічних індикаторів ІТМ11 МІКРОЛ. Ці прилади будуть показувати значення робочого тиску на виході насосів, а блоки сигналізації приладів сигналізувати падіння значень тиску і одночасно формувати дискретні сигнали у 24V постійного струму для електромагнітних реле (KM6, KM7; KM30, KM31; KM38, KM39; KM40, KM41; KM43, KM44). Через контакти реле будуть відповідно вмикатися живлення сигнальних лампочок (HL10, HL12; HL42, HL44; HL55, HL57; HL58, HL60; HL64, HL66), які будуть вказувати на те, що виникла аварія. Нормальне значення параметру концентрації вказують відповідно лампочки (HL11; HL43; HL56; HL59; HL65)

Пристрої РТ(3А), РТ(4А), РТ(9А), РТ(11А), РТ(17А), РТ(22А), РТ(25А), РТ(27А), РТ(32А) вимірюють (контролюють) тиск у трубопроводі та на виході відцентрового насосу і формують вихідні струмові сигнали (4...20 mA), які подаються на входи приладів PIAS(3Б), PIAS(4Б), PIAS(9Б), PIAS(11Б), PIAS(17Б), PIAS(22Б), PIAS(25Б), PIAS(27Б), PIAS(32Б).

У якості приладів будемо розглядати використання мікропроцесорних технологічних індикаторів ІТМ11 МІКРОЛ. Ці прилади будуть показувати значення робочого тиску на виході насосів, а блоки сигналізації приладів сигналізувати падіння значень тиску і одночасно формувати дискретні сигнали у 24V постійного струму для електромагнітних реле (KM1; KM3; KM8; KM12, KM13; KM20; KM28; KM32; KM34; KM42).

					<i>ДПЛА03.04.00.000.ПЗ</i>	Арк.
						26
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Через контакти реле будуть вмикатися відповідно живлення сигнальних лампочок (HL5; HL7; HL15; HL19, HL21; HL30; HL40; HL47; HL51; HL63) які будуть вказувати на те, що виникла аварія насосу. Другі контакти реле будуть використовуватися для подачі живлення 220V змінного струму на електромагнітні реле (KM2; KM9; KM21; KM29; KM33; KM35), і на контакти через які будуть вмикатися відповідно живлення для сигнальних лампочок (HL6; HL16; HL31; HL41; HL48; HL52), які будуть вказувати про спрацьовування систем аварійного захисту електромоторів і виконання функцій по аварійному захисту, які позначимо умовно 1Аз., 2Аз., 3Аз., 4Аз. 5Аз., 6Аз., 7Аз., 8Аз..

Функції по аварійному захисту 1Аз., 2Аз., 3Аз., 4Аз. 5Аз., 6Аз., 7Аз., 8Аз. будуть виконуватися за допомогою нормально замкнених контактів, які потрібно послідовно підключити до контактів МП1-1, МП2-1, МП3-1, МП4-1, МП5-1, МП6-1, МП7-1, МП8-1. Контакти, будуть відключати живлення електромагнітів магнітних пускачів МП1- МП8 за допомогою розмикання ланцюгів живлення. При відключенні живлення електромагнітів магнітних пускачів контакти магнітних пускачів МП1-4, МП1-5, МП1-6, МП2-4, МП2-5, МП2-6, МП3-4, МП3-5, МП3-6, МП4-4, МП4-5, МП4-6, МП5-4, МП5-5, МП5-6, МП6-4, МП6-5, МП6-6, МП7-4, МП7-5, МП7-6, МП7-4, МП7-5, МП7-6 відповідно стануть розімкнутими, тобто електромотори МП1-МП8 зупиняться.

					<i>ДПЛА03.04.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

2.2 Роботизовані технологічні процеси складання та зварювання

2.2.1 Опис роботизованого комплексу зварювання та складання

Промисловий робот являє собою механічну структуру, яка була спроектована на основі людської руки, тобто також має як тверді частини – кістки, так і гнучкі – суглоби, що дозволяють йому досить точно імітувати людські рухи. Двигуни всередині робота тянуть за собою поршні, які приєднані до ланок, що приводить до повороту кінцівок. На кінці промислового робота знаходиться двопозиційний (поворотний) швидкозмінний захватний пристрій, який дозволяє за допомогою клешнів виконувати захват об'єкту. Необхідно також перевірити чи захват є надійним для перенесення об'єкту на деяку відстань, це виконується на рівні структури робота та його датчиків. Використований підхід дозволяє роботу схоплювати довільно рухомі об'єкти (не використовуючи попередньої інформації про модель).

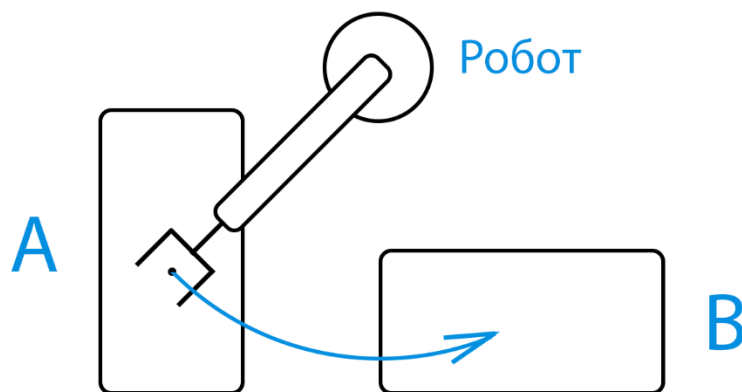


Рисунок 2.2 – Структурна схема роботизованого складання продукції

Також захватний пристрій даного робота оснащений зварювальним апаратом, який використовує концентрований промінь високоенергетичного світла для плавлення та сплавлення матеріалів. Цей метод є високоточним і може використовуватися для зварювання невеликих складних деталей в таких галузях, як електроніка та виробництво медичних приладів.

					ДПЛА03.04.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

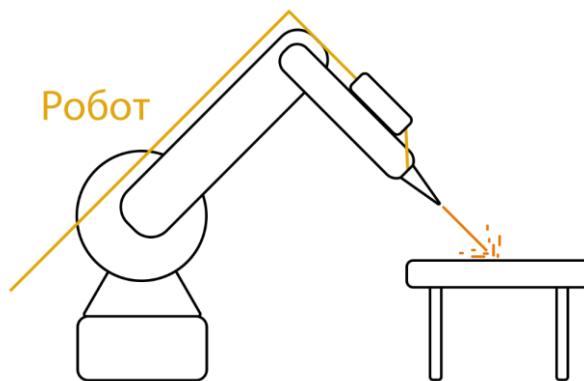


Рисунок 2.3 – Структурна схема зварювання деталі промисловим роботом

Якщо брати за увагу лише програмну частину, то достатньо важкою задачею для промислового робота є його керування, бо потрібно не тільки спроектувати зручний контролер, якого буде достатньо щоб покрити всі можливі рухи, так ще й для автоматизованого управління промисловим роботом необхідно розраховувати повороти його ланок, бо система керування буде лише вказувати точку в просторі, до якої потрібно переміститися.

Хоча керування на основі комп'ютерного зору та доповненої реальності в нашому випадку будується на управлінні саме людиною, все одно прийдеться знаходити кути повороту, бо в інформації, яка отримується з зображення камери, присутні лише координати точок на руці, що не дає змоги так просто використовувати їх для керування промисловим роботом. Тобто в даній ситуації вирішення задачі зворотної кінематики є найважливішим кроком на шляху до повного керування промисловим роботом.

2.2.2 Зворотна задача кінематики промислового робота для зварювання та складання

Оскільки обраний промисловий робот складається з: трьоланкової структури, ланки якої мають лише одну вісь повороту та знаходяться в одній площині, і основи, ланка якої має іншу вісь повороту, що дозволяє трьоланковій структурі повертатися в просторі. Для спрощення розрахунків припустимо, що клешні

					ДПЛА03.04.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

захватного пристрою закріплені, та не мають можливості змінювати своє положення.

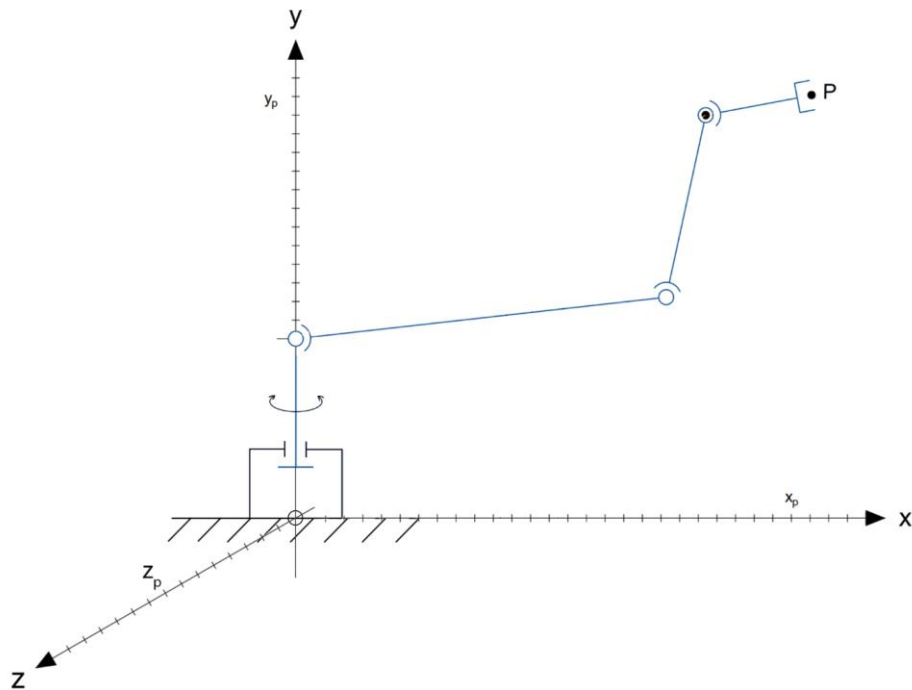


Рисунок 2.4 – Еквівалентна схема кінематики промислового робота

В даному випадку для вирішення задачі простіше буде почати з основи. На даному етапі можна дізнатися кут повороту основи, якщо спочатку отримаємо проекції точки P на площині XZ:

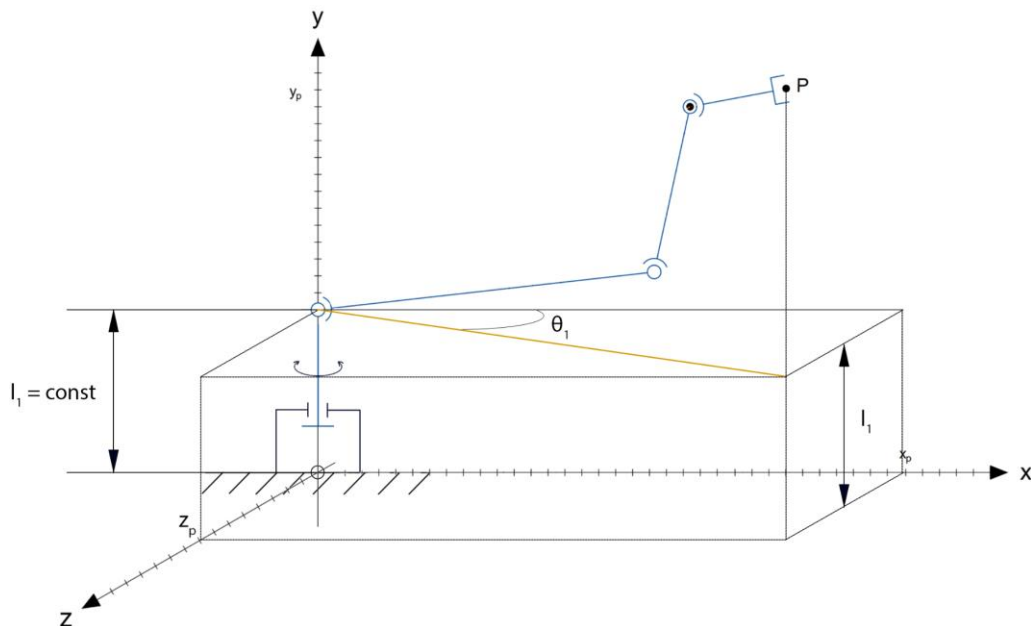


Рисунок 2.5 – Визначення кута повороту для основи промислового робота

Тобто якщо розв'язати систему рівнянь (2.3):

$$x_{p1} \cdot \cos(\psi) + (y_p - l_1) \cdot \sin(\psi) = \frac{x_{p1}^2 + (y_p - l_1)^2 - (l_2 + l_3)^2 + l_4^2}{2 \cdot l_4} \quad (2.4)$$

Та потім з рівняння (2.4) виразити ψ , отримаємо проміжок кутів для вибору:

$$2 \cdot \arctg\left(\frac{y_p - \sqrt{-a^2 + x_p^2 + (y_p - l_1)^2}}{a + x_p}\right) \leq \psi \leq 2 \cdot \arctg\left(\frac{y_p + \sqrt{-a^2 + x_p^2 + (y_p - l_1)^2}}{a + x_p}\right) \quad (2.5)$$

$$\text{де } a = \frac{x_p^2 + (y_p - l_1)^2 - (l_2 + l_3)^2 + l_4^2}{2 \cdot l_4}$$

Якщо розрахувати значення, то з цього проміжку можна обирати будь-який кут повороту та далі знаходити конфігурацію для всієї системи промислового робота. Після вибору підходящого кута повороту ψ для третьої ланки, можна знайти довжину відрізка B з (рис. 2.6).

$$B = \sqrt{x_{p2}^2 + y_{p2}^2} \quad (2.6)$$

Використовуючи теорему косинусів знайдемо кут повороту θ_2 :

$$\theta_3 = \pm \arccos\left(\frac{B^2 - (l_2^2 + l_3^2)}{2 \cdot l_2 \cdot l_3}\right) \quad (2.7)$$

Замість B підставимо рівняння (2.2.6) в рівняння (2.2.7):

$$\theta_3 = \pm \arccos\left(\frac{x_{p2}^2 + y_{p2}^2 - (l_2^2 + l_3^2)}{2 \cdot l_2 \cdot l_3}\right) \quad (2.8)$$

Тепер відповідно знаючи кут θ_3 не буде проблемою знайти кут повороту θ_2 :

$$\theta_2 = \arctg\left(\frac{y_{p2}}{x_{p2}}\right) \pm \arctg\left(\frac{l_3 \cdot \sin(\theta_3)}{l_2 + l_3 \cdot \cos(\theta_3)}\right) \quad (2.9)$$

Останнім кроком залишається знайти кут повороту третьої ланки θ_4 відносно другої ланки:

$$\theta_4 = \psi - \theta_2 - \theta_3 \quad (2.10)$$

На основі даного рішення можна будувати алгоритм, який буде важливою частиною в процесі керування промисловим роботом.

					<i>ДПЛА03.04.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

В Блоці 6 виконується перевірка на контактування двох пальців. Остаточню всі отримані дані відправляються в Unity (Блок 6) і стан програми повертається до Блоку 2, де знову виконується перевірка. Тобто програма не припиняє свою роботу поки користувач надає доступ до камери.

Алгоритм для отримання даних в Unity (рис. 3.2) працює наступним чином: початок роботи алгоритму (Блок 1) зумовлює ініціалізацію необхідних процесів. Далі, у Блоці 2 виконується задавання змінних; Блок 3 виконує перевірку, чи працює Unity, після чого у разі негативної відповіді виконується зупинка роботи алгоритму, а у разі позитивноїотримуються дані (Блок 4), після чого виконується перевірка отриманих даних (Блок 5).

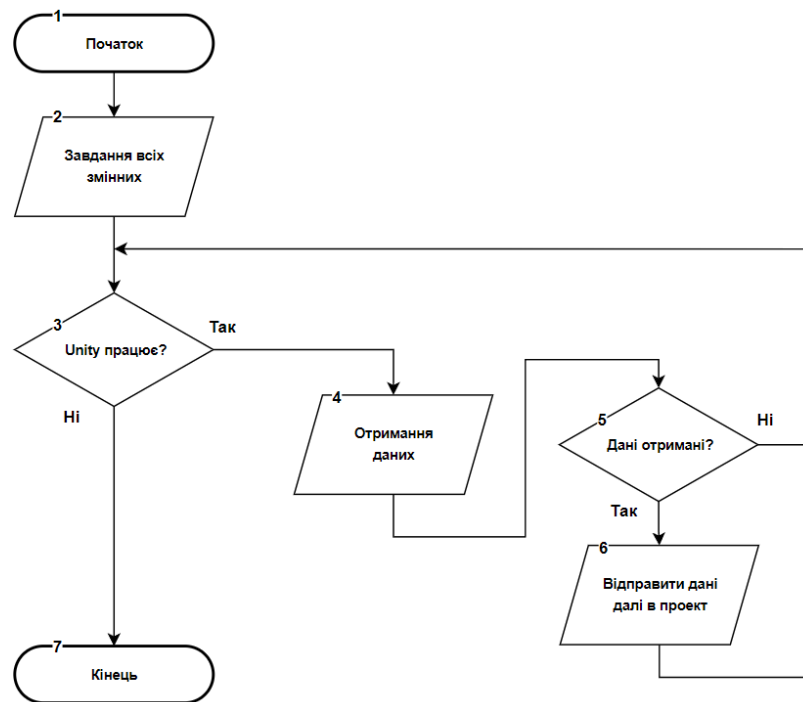


Рис. 3.2 – Блок-схема алгоритму для отримання даних

У разі позитивного результату дані передаються для подальшого використання у наступних частинах алгоритму (Блок 6), а у разі негативного – повертаємось до Блоку 3.

3.2 Алгоритм функціонування цифрового двійника для керування витратою хлору

Для автоматизації виробництва тетрахлорметану з хлорорганічних залишків у розділі 2 було додано як датчики, так і виконавчі механізми до схеми, що дозволяють вимірювати значення параметру в апараті чи в трубопроводі, відправляти на контролер, в якому вже після розрахунків прийде сигнал на виконавчі механізми, вирівнявши значення відповідного параметру.

Одним із таких параметрів є витрата хлору, бо вона є основним вхідним потоком і її зміна напряму впливає на витрату іншого вхідного потоку – відходів, що відповідно впливає на виконання всієї системи та отримання кінцевого продукту. На схемі автоматизації (рис. 2.1) було додано вентиль FE (1A), зміна положення якого буде впливати на значення витрати хлору у трубопроводі, керування яким відбувається за наступним алгоритмом (рис. 3.3), що у подальшому реалізований програмно, мовою Python.

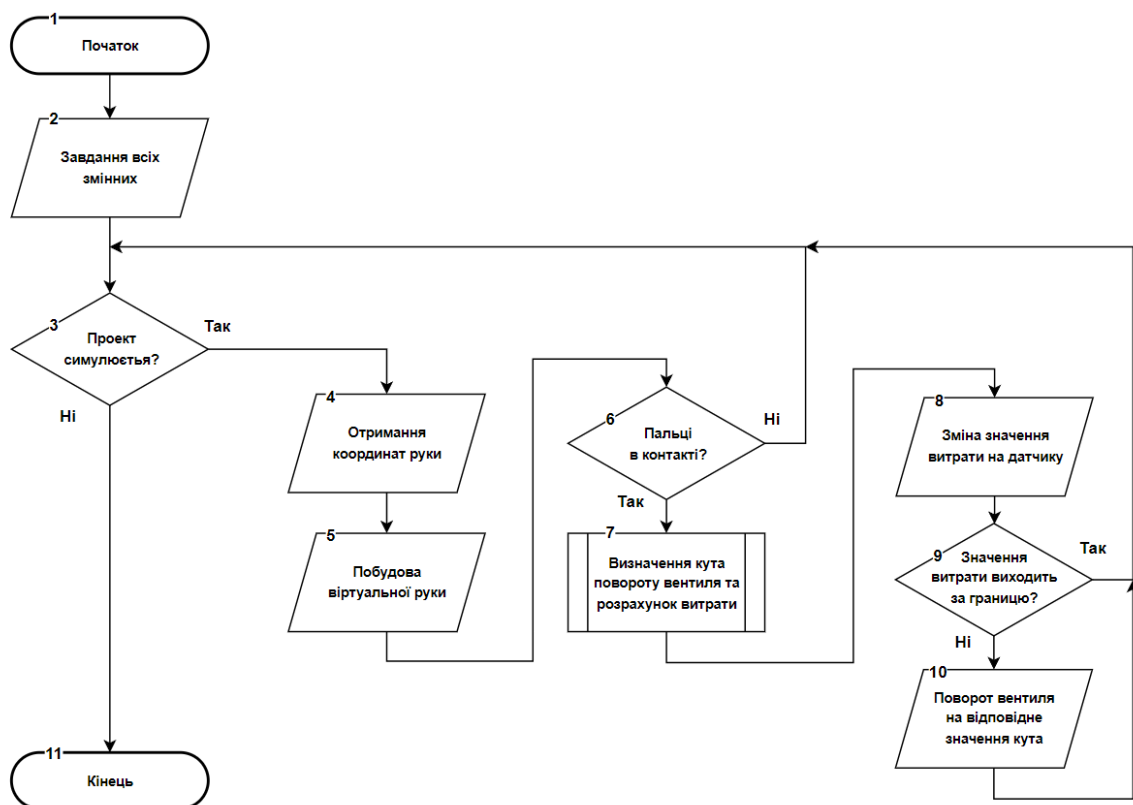


Рисунок 3.3 – Блок-схема алгоритму для керування витратою хлору

досліджуючи його ключові функції, застосування та вплив на світ комп'ютерного зору.

Особливості MediaPipe:

1. Модульність і налаштування: модульна конструкція Media Pipe дозволяє розробникам комбінувати та поєднувати готові компоненти, створюючи рішення відповідно до конкретних вимог проекту. Цей рівень налаштування є особливо цінним, оскільки він дозволяє створювати різноманітні програми, починаючи від досвіду доповненої реальності до інтерфейсів на основі жестів.

2. Обробка в реальному часі: однією з видатних особливостей MediaPipe є його здатність виконувати обробку в реальному часі на різних платформах, включаючи мобільні пристрої та настільні комп'ютери. Це робить його ідеальним для додатків, де низька затримка та висока продуктивність є критично важливими, наприклад додатки доповненої реальності, прямі трансляції та інтерактивні програми.

3. Широкий вибір попередньо навчених моделей: MediaPipe оснащено різноманітними попередньо навченими моделями для таких завдань, як розпізнавання обличчя, відстеження руки, оцінка пози тощо. Ці моделі служать відправною точкою для розробників, значно скорочуючи час і зусилля, необхідні для впровадження складних алгоритмів комп'ютерного зору.

4. Кросплатформна сумісність: Кросплатформна сумісність MediaPipe дозволяє розробникам легко розгортати свої програми в різних операційних системах, що робить його універсальним вибором для проектів, орієнтованих на різноманітні середовища.

Для використання функціоналу моделі Mediaripe потрібно спочатку імпортувати її бібліотеку в проект самої програми.

```
import mediapipe as mp
```

Рисунок 4.1 – Частина коду з імпортуванням моделі Mediaripe

									Арк.
									40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Далі отримаємо зображення з камери користувача.

```
cap = cv2.VideoCapture(0)
```

Рисунок 4.2 – Частина коду, яка відповідає за отримання зображення з камери

Тепер застосуємо функціонал MediaPipe для аналізу зображення з камери.

```
results = hands.process(image)
```

Рисунок 4.3 – Частина коду, яка відповідає за аналіз зображення з камери

Також додамо розрахунок відстані між двома пальцями, та перевірки відстані, чи являється вона достатньо малою для зарахування даної дії як дотику між пальцями, що відкриє для нас новий функціонал для наступних розділів.

Отже, маємо код для розуміння, чи доторкаються велики та вказівний пальці:

```
if len(data) > 24:  
    if np.sqrt((data[24] - data[12])**2 + (data[25] - data[13])**2) < 45:  
        data.extend([1])  
    else:  
        data.extend([0])
```

Рисунок 4.4 – Частина коду, яка перевіряє чи присутній контакт між пальцями

Остаточно в змінній results зберігається вся необхідна інформація о координатах. Залишається лише згрупувати та передати ці дані використовуючи бібліотеку socket та UDP протокол.

Зберігання інформації про дані отримувача.

```
sock = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_DGRAM)  
serverAddressPort = ("127.0.0.1", 5052)
```

Рисунок 4.5 – Частина коду зі змінними для відправки даних

Та сам виклик методу з відправкою даних.

```
sock.sendto(str.encode(str(data)), serverAddressPort)
```

Рисунок 4.6 – Частина коду з відправкою даних

										ДПЛА03.04.00.000.ПЗ	Арк.
											41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

Повний код програми (рис. 4.7) на мові програмування Python, в якій використовуються бібліотеки OpenCV, Mediapipe, Numpy та Socket.

```
import cv2
import mediapipe as mp
import numpy as np
import socket

cap = cv2.VideoCapture(0)

mp_drawing = mp.solutions.drawing_utils
mp_hands = mp.solutions.hands
hands = mp_hands.Hands()

sock = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_DGRAM)
serverAddressPort = ("127.0.0.1", 5052)

while True:
    success, image = cap.read()

    image = cv2.flip(image, 1)
    image = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2RGB)
    results = hands.process(image)
    image = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_RGB2BGR)

    data = []
    if results.multi_hand_landmarks:
        for hand_landmarks in results.multi_hand_landmarks:
            for lm in hand_landmarks.landmark:
                data.extend([lm.x * image.shape[1],
                             image.shape[0] * (1 - lm.y), lm.z * 500])
            mp_drawing.draw_landmarks(image, hand_landmarks,
                                       mp_hands.HAND_CONNECTIONS)
            break

    if len(data) > 24:
        if np.sqrt((data[24] - data[12])**2 +
                  (data[25] - data[13])**2) < 45:
            data.extend([1])
        else:
            data.extend([0])

    sock.sendto(str.encode(str(data)), serverAddressPort)

cv2.imshow("Image", image)
cv2.waitKey(1)
```

Рисунок 4.7 – Програма для відслідковування рухів з камери

									Арк.
									42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДПЛА03.04.00.000.ПЗ				

Використовуючи IP і порт, що були задані в минулій програмі, Unity має можливість отримати дані о положенні руки у вигляді тексту. Повний код програми з отриманням даних по UDP протоколу зображений на рис. 4.8.

```

using System;
using System.Text;
using System.Net;
using System.Net.Sockets;
using System.Threading;
using UnityEngine;

public class UDPReceive : MonoBehaviour
{
    Thread receiveThread;
    UdpClient client;

    public int port = 5052;
    public bool startReceiving = true;
    public string data;

    public void Start()
    {
        receiveThread = new Thread(new ThreadStart(ReceiveData));
        receiveThread.IsBackground = true;
        receiveThread.Start();
    }

    private void ReceiveData()
    {
        client = new UdpClient(port);
        while (startReceiving)
        {
            try
            {
                IPEndPoint anyIP = new IPEndPoint(IPAddress.Any, 0);
                byte[] dataByte = client.Receive(ref anyIP);
                data = Encoding.UTF8.GetString(dataByte);
            }
            catch (Exception error)
            {
                print(error.ToString());
            }
        }
    }
}

```

Рис. 4.8 – Повний код програми по отриманню даних

4.2 Програмна реалізація функціонування цифрового двійника витратою хлору

В даній задачі присутні два головних об'єкта – віртуальна рука та вентиль. Нам відомі їхні глобальні координати та кути повороту, що і є основними параметрами для вирішення задачі. За допомогою управління віртуальною рукою з зображення камери користувач має можливість "схватитися" за вентиль, використовуючи дотик великого та вказівного пальців, та повертаючи руку навколо головної осі вентиля обертати його на значення зміни положення руки.

Тобто маючи координати руки і вентиля можна знайти кут на який рука повертається навколо осі вентиля, та передати йому цей кут повороту.

На рисунку 4.9 маємо структурне зображення положень руки та вентиля в деякий проміжок часу.

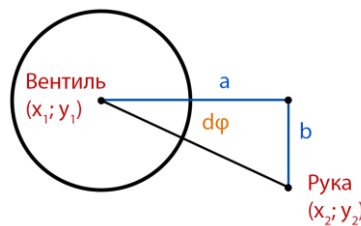


Рисунок 4.9 – Структурне зображення положень руки та вентиля в деякий проміжок часу

Для знаходження довжин a і b віднімемо від координат руки координати вентиля.

$$a = x_2 - x_1 \quad (4.1)$$

$$b = y_2 - y_1 \quad (4.2)$$

Далі використовуючи \arctg знайдемо кут $d\varphi$.

$$d\varphi = \arctg\left(\frac{b}{a}\right) \quad (4.3)$$

Кут $d\varphi$ і є тим значенням, на яке обертається рука відносно осі вентиля, що означає, що вентиль потрібно повернути на значення $d\varphi$.

									Арк.
									44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДПЛА03.04.00.000.ПЗ				

Тобто остаточно до поточного кута повороту вентиля φ_0 додамо зміну $d\varphi$.

$$\varphi = \varphi_0 + d\varphi \quad (4.4)$$

Для симуляції зміни витрати в трубопроводі поставимо датчик над трубопроводом, який буде вимірювати поточну витрату хлору. При зміні положення вентиля на трубопроводі, відповідно буде змінюватися й значення витрати на датчику. Залишається лише додати крайні положення, щоб користувач не мав змоги нескінченно повертати вентиль збільшуючи у нескінченність, чи зменшуючи у від'ємні значення.

Остаточно на рис. 4.10 маємо програму для керування витратою хлору на основі технологій комп'ютерного зору та доповненої реальності.

```
float tubeValue = 3.45f;
float previousRotation;
float currentRotation;
bool rotated = false;

void Update()
{
    string data = udpReceive.data;
    data = data.Remove(0, 1);
    data = data.Remove(data.Length - 1, 1);
    string[] points = data.Split(',');
    for (int i = 0; i < 21; ++i)
    {
        float x = float.Parse(points[i * 3]) / 100.0f;
        float y = float.Parse(points[i * 3 + 1]) / 100.0f;
        float z = float.Parse(points[i * 3 + 2]) / 50.0f;

        handPoints[i].transform.localPosition = new Vector3(x, y, z);
    }

    if (float.Parse(points[63]) > 0.5f)
    {
        float x = handPoints[8].transform.position.x - valve.transform.position.x;
        float y = handPoints[8].transform.position.y - valve.transform.position.y;
        currentRotation = Mathf.Atan(y / x) * 180 / Mathf.PI;

        if (rotated && currentRotation * previousRotation > 0.0f)
        {
            tubeValue -= (previousRotation - currentRotation) * 0.01f;
            if (tubeValue < 0.0f) tubeValue = 0.0f;
            else if (tubeValue > 7.83f) tubeValue = 7.83f;
            else valve.transform.Rotate(0, previousRotation - currentRotation, 0);

            textValue.text = tubeValue.ToString("#.00");
        }

        previousRotation = currentRotation;
        rotated = true;
    }
    else
    {
        rotated = false;
    }
}
```

Рисунок 4.10 – Програма для керування витратою хлору

										ДПЛА03.04.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							45

4.3 Програмна реалізація функціонування цифрового двійника роботизованих процесів складання та зварювання

Основними процесами, де керування промисловим роботом технологіями комп'ютерного зору та доповненої реальності є найбільш поширеним та важливим – є зварювання деталей та їх складання. Для цього була побудована симуляція цих процесів в програмному середовищі Unity, і написана програма, в якій виконується отримання даних з камери, вирішення задачі зворотної кінематики та остаточне переміщення промислового робота. Використовуючи функціонал змикання великого та вказівного пальців будемо контролювати пристрій захвату для перенесення деталі, а для вмикання і вимикання зварювального апарату додамо до програми відслідковування нового змикання великого та середнього пальців.

Для симуляції зварювання додамо партікл світіння до кінцівки промислового робота. При змиканні великого та середнього світіння буде з'являтися, при прибиранні пальців одне від одного, світіння буде пропадати. Для перенесення деталі функціонал схожий, але при змиканні великого та вказівного пальців деталь буде чіплятися до кінцівки промислового робота, що дасть можливість переносити її в інше місце. Після перенесення розмикаємо пальці, що відділяє деталь від промислового робота.

Для передачі руху на промислового робота використовується дана частина програми.

```
string data = udpReceive.data;
data = data.Remove(0, 1);
data = data.Remove(data.Length - 1, 1);
string[] points = data.Split(',');

int i = 9;
float x = 1.0f;
float y = float.Parse(points[i * 3 + 1]) / 150.0f + 0.5f;
float z = float.Parse(points[i * 3]) / 150.0f - 2.0f;

point.transform.localPosition = new Vector3(x, y, z);
```

Рисунок 4.11 – Частина програми для переміщення промислового робота

										Арк.
										46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Далі в програмі виконується перевірка на змикання великого та вказівного пальців, що відповідно активує код на притягування.

```
if (float.Parse(points[63]) > 0.5f)
{
    box.transform.parent = arm.transform;
    box.GetComponent<Rigidbody>().isKinematic = true;
}
else
{
    box.transform.parent = null;
    box.GetComponent<Rigidbody>().isKinematic = false;
}
```

Рисунок 4.12 – Частина програми для активування притягування

Остаточно для вмикання та вимикання зварювального апарату також перевіряється на змикання великого та середнього пальців.

```
if (float.Parse(points[64]) > 0.5f)
{
    spark.transform.localScale = new Vector3(0.7f, 0.7f, 0.7f);
}
else
{
    spark.transform.localScale = new Vector3(0.0f, 0.0f, 0.0f);
}
```

Рисунок 4.13 – Частина програми для активування притягування

Функціональна частина вирішення зворотної задачі кінематики береться з програми на рис. 4.14 та використовується в даному алгоритмі. Це спрощує зовнішній вигляд програми та допомагає не заплутатися в великій кількості значень і розрахунків.

Всі розрахунки вирішення задачі зворотної кінематики були виконані алгоритмом в програмі на рис. 4.14.

```
private void Update()
{
    float arm1Angle = Mathf.Atan2((_target.position - _stand.position).x,
        (_target.position - _stand.position).z) * Mathf.Rad2Deg;

    _stand.rotation = Quaternion.Euler(0, arm1Angle - 90, 0);

    #if UNITY_EDITOR
    _upperArmLength = Vector3.Distance(_arm1.position, _arm2.position);
    _foreArmLength = Vector3.Distance(_arm2.position, _arm3.position);
    #endif

    Vector2 targetLocalPos = _arm1Base.InverseTransformPoint(_target.position);
    float targetDistance = targetLocalPos.magnitude;

    if (targetDistance < _upperArmLength + _foreArmLength)
    {
        float angleA = Mathf.Asin(targetLocalPos.y / targetDistance)
            * Mathf.Rad2Deg;

        float angleB = Mathf.Acos((_upperArmLength * _upperArmLength
            + targetDistance * targetDistance - _foreArmLength
            * _foreArmLength) / (2 * _upperArmLength * targetDistance))
            * Mathf.Rad2Deg;

        float angleC = Mathf.Acos((_upperArmLength * _upperArmLength
            + _foreArmLength * _foreArmLength - targetDistance
            * targetDistance) / (2 * _upperArmLength
            * _foreArmLength)) * Mathf.Rad2Deg;

        _arm1.localRotation = Quaternion.Euler(0, 0, -(90 -
            (angleA + angleB)));
        _arm2.localRotation = Quaternion.Euler(0, 0, -(180 - angleC));
    }

    else
    {
        float angleA = Mathf.Asin(targetLocalPos.y / targetDistance)
            * Mathf.Rad2Deg;

        _arm1.localRotation = Quaternion.Euler(0, 0, -(90 - angleA));
        _arm2.localRotation = Quaternion.identity;
    }
}
}
```

Рисунок 4.14 – Програмне вирішення зворотної задачі кінематики

										Арк.
										48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

РОЗДІЛ 5. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

5.1 Перевірка працездатності функціонування відслідковування рухів з камери

Запустивши програму відслідковування рухів з камери з командної строки відкриється відповідне вікно з зображенням з камери, на якому можна побачити як алгоритм знаходить структуру руки.



Рисунок 5.1 – Положення руки на камері в перший проміжок часу

Якщо змінити положення руки програма продовжить відслідковувати та дорисовувати структуру.



Рисунок 5.2 – Положення руки на камері в другий проміжок часу

					<i>ДПЛА03.04.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

5.2 Перевірка працездатності функціонування цифрового двійника витратою хлору

Запустивши програму на мові програмування Python для відслідковування рухів з зображення камери та проект в Unity отримаємо початковий стан проекту.

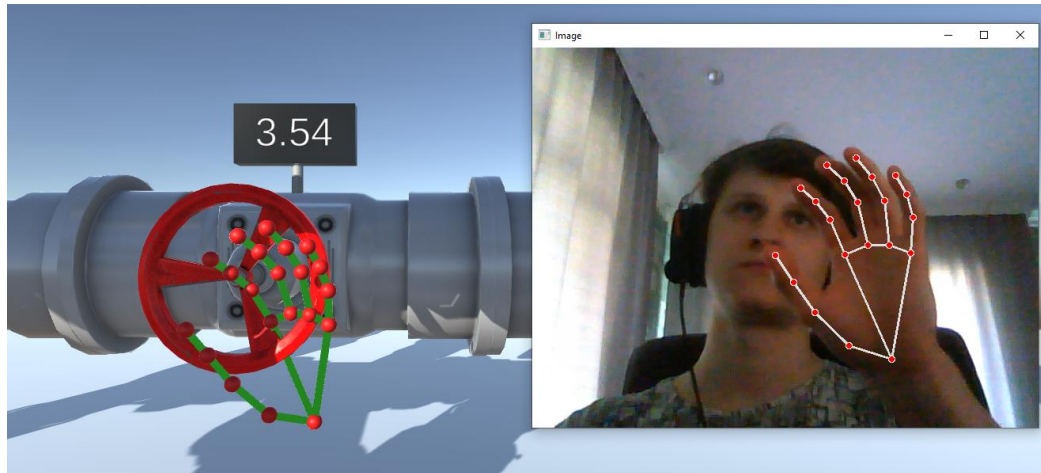


Рисунок 5.3 – Положення вентилля на початку запуску програми

Як можна побачити з рисунку 5.3, з камери передаються координати точок в Unity, де вже дані оброблюються та моделюється віртуальна рука. Також як видно з датчика витрати, початкове значення дорівнює 3.54 кг/с. Якщо просто рухати рукою вздовж камери, вентиль ніяк не буде змінювати свого положення. Для регулювання витрати потрібно привести великий та вказівний пальці в контакт та почати повертати вентиль навколо його основної осі.

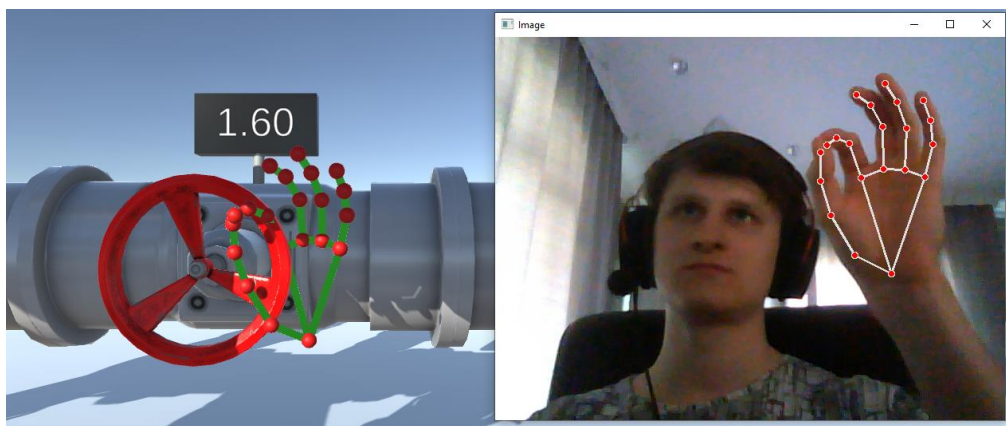


Рисунок 5.4 – Положення вентилля після повороту за годинниковою стрілкою

Після повороту вентиля за годинниковою стрілкою, як можна побачити з рисунка 5.4, значення витрати зменшилось до 1.6 кг/с. Продовжимо повертати вентиль за годинниковою стрілкою.

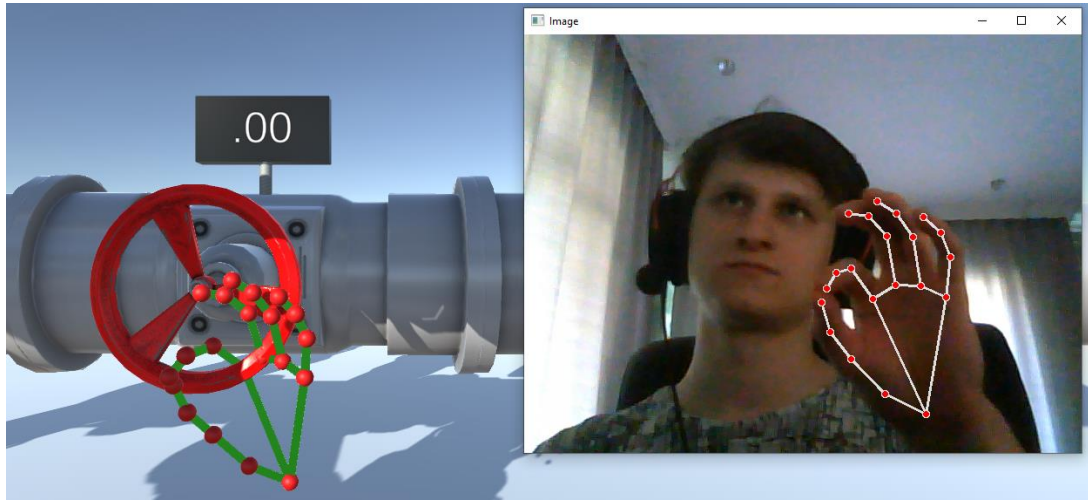


Рисунок 5.5 – Кінцеве положення вентиля за годинниковою стрілкою

Повертаючи за годинниковою стрілкою до кінця було отримано значення витрати 0 кг/с, тобто вентиль повністю закритий, і модель не дає змоги повернути далі за годинниковою стрілкою. Остаточо перевіряємо значення витрати повністю відкритого вентиля, тобто почнемо повертати в сторону проти годинникової стрілки. Було отримано значення витрати 7.83 кг/с для повністю відкритого вентиля.

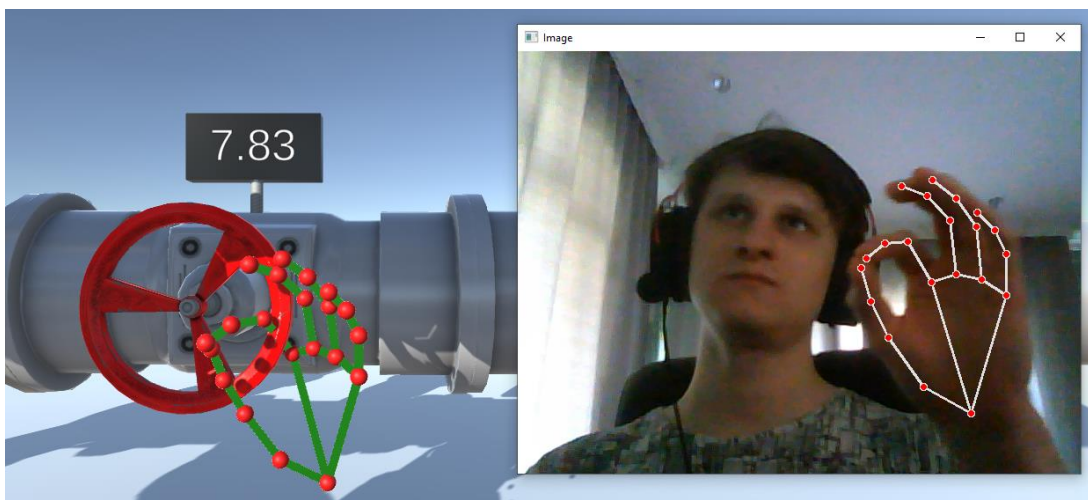


Рисунок 5.6 – Кінцеве положення вентиля проти годинникової стрілки

					ДПЛА03.04.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

5.3 Перевірка працездатності функціонування цифрового двійника роботизованих процесів складання та зварювання

Після запуску програми для відслідковування рухів з камери, та симуляції проекту з промисловою рукою маємо початкове положення проекту.

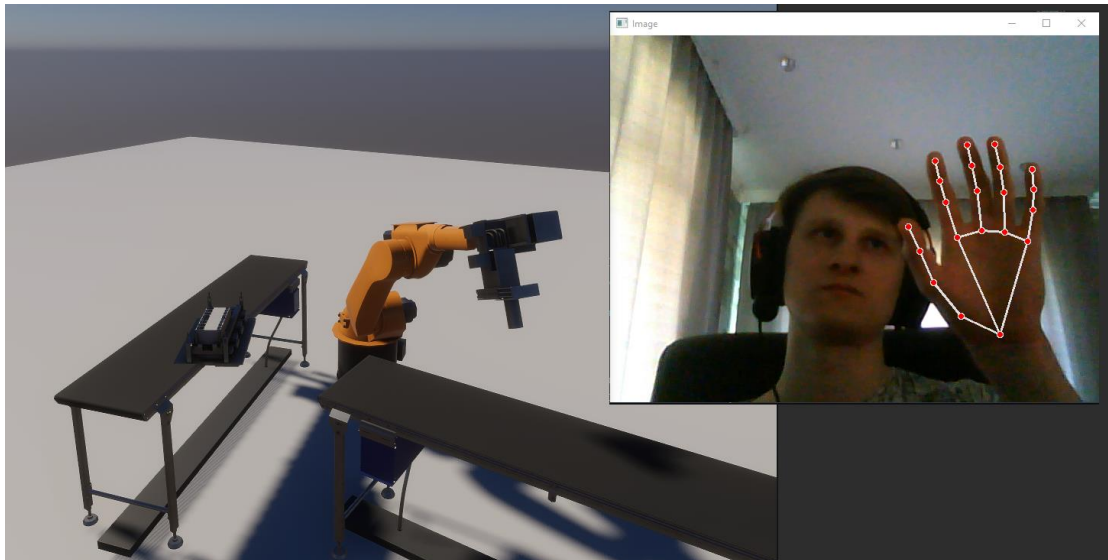


Рисунок 5.7 – Перша позиція промислового робота

Спробуємо перемістити руку в інше положення, що відобразиться на промисловому роботі відповідно.

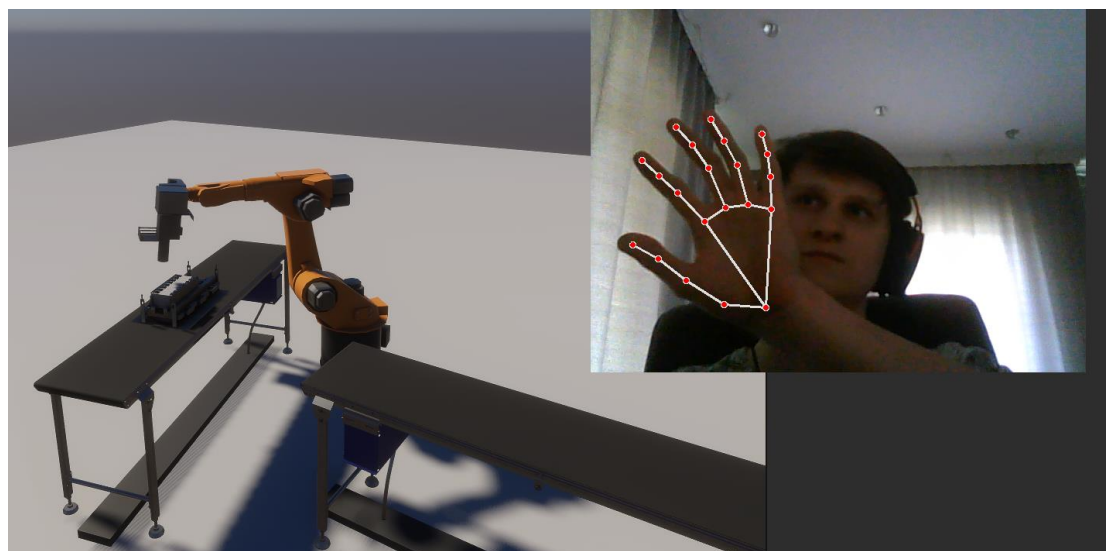


Рисунок 5.8 – Друга позиція промислового робота

Приводячи в контакт великий та середній пальці на кінці промислового робота з'являється ефект загоряння, тобто вмикається зварювальний апарат.

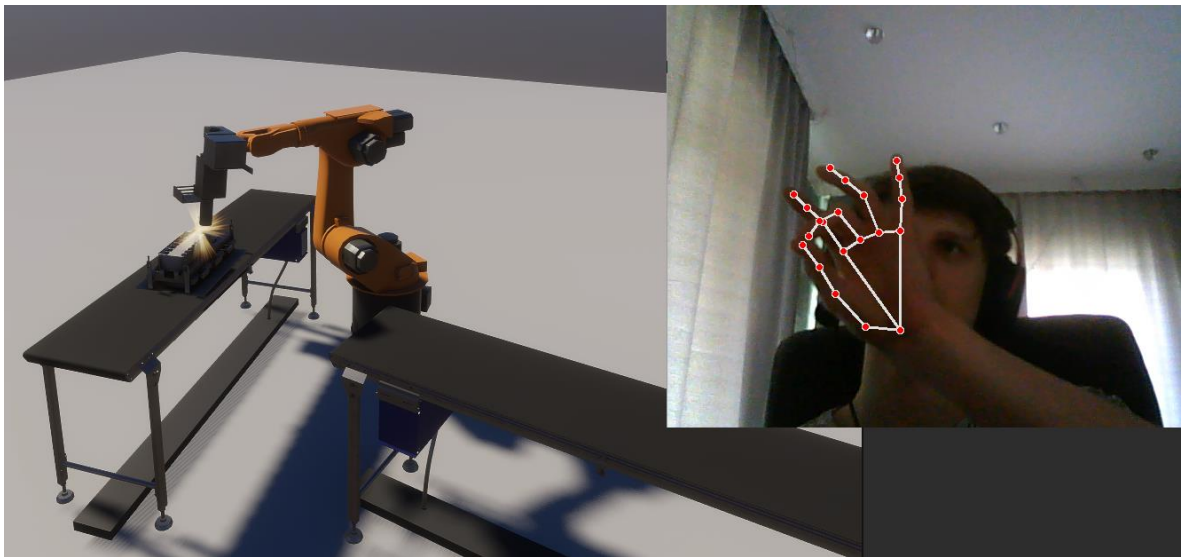


Рисунок 5.9 – Вмикання зварювального апарату

Також змикаючи великий та вказівний пальці активується пристрій захвату, з яким можна взяти деталь та підняти вгору.

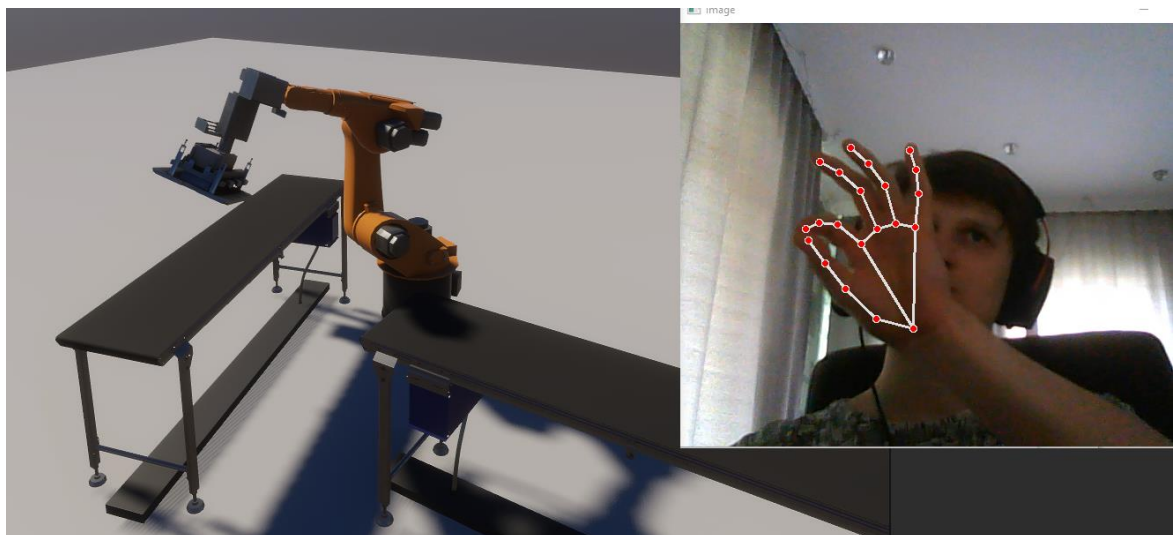


Рисунок 5.10 – Захват деталі та підняття її у верх

Остаточно, змінюємо положення руки горизонтально в протилежну сторону, що дозволяє пересунути промислового робота до другої точки складання.

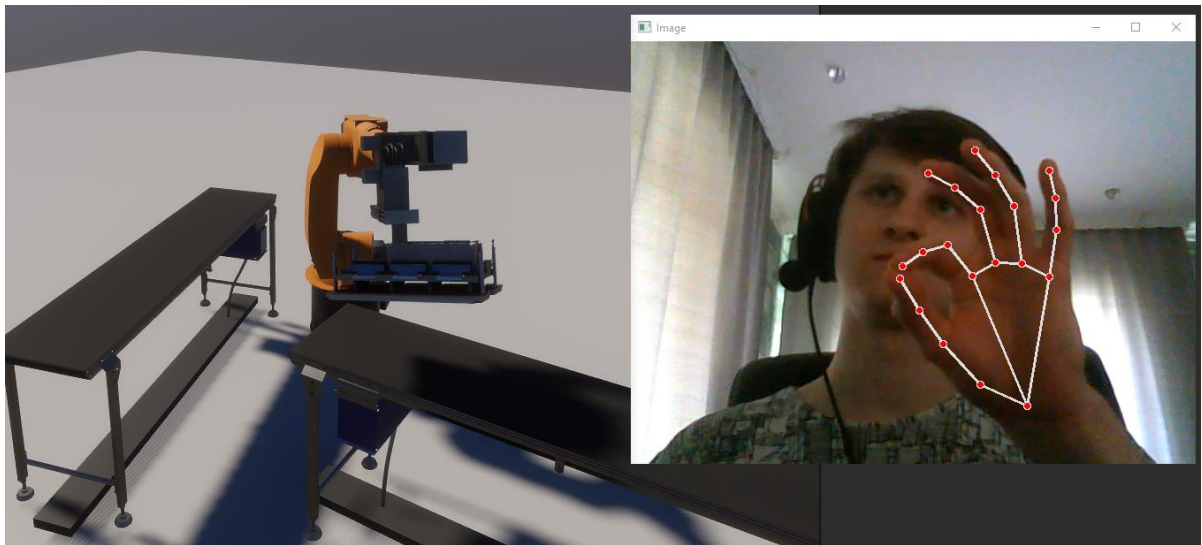


Рисунок 5.11 – Перенесення деталі на інший конвеєр

Після розмикання пальців деталь відчіпляється від промислового робота та залишається на місці другої позиції.

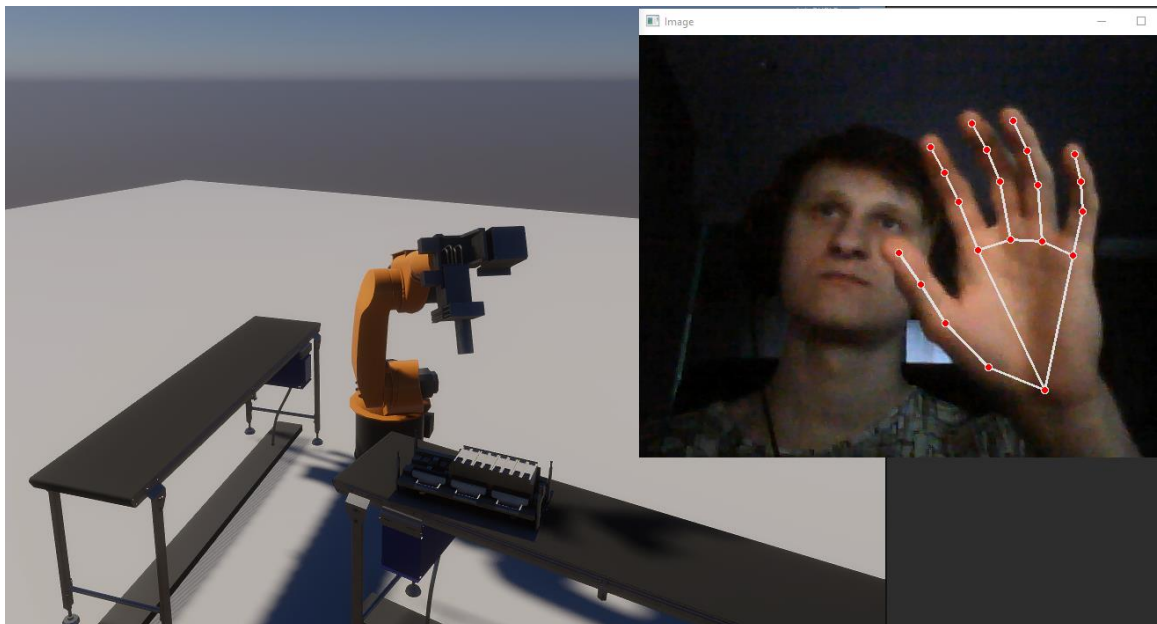


Рисунок 5.12 – Складання деталі в інше місце

РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ

Галузь охорони праці спрямована на створення безпечних умов праці та запобіганні нещасних випадків для автоматизованих підприємств, особливо для керування роботизованою рукою. Безпечне ведення технологічного процесу знижує можливість травмування, підвищує працездатність обслуговуючого персоналу.

Відповідно до закону України «Про охорону праці», будь-яке підприємство має забезпечити своїх співробітників належним захистом від низки факторів, які можуть вплинути на їх здоров'я чи смерть. З цих причин створення та дотримання правил охорони праці виключно обов'язкове для будь-яких підприємств.

Відповідно до теми дипломного проекту: «Автоматизоване керування технологічними процесами на основі технології комп'ютерного зору та доповненої реальності», процес керування роботизованою рукою, а отже, його сервомоторами здійснюється оператором за допомогою дистанційного відстеження камери та керування з комп'ютера чи смартфона.

Шкідливими і небезпечними виробничими факторами при роботі з роботизованою рукою в приміщенні і обслуговуванні її являються:

- Виробниче освітлення;
- Виробничий шум;
- Мікроклімат;
- Ураження електричним струмом;
- Пожежонебезпека.

					ДІЛА03.04.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

6.1 Виробниче освітлення

Робота оператора керування роботизованою рукою відноситься до робіт середньої точності IV розряд зорових робіт, мінімальний розмір об'єкта роздільної здатності становить 0.5 – 1.0 мм. Робоче приміщення може бути як кабінет оператора, так і звичайне місце на підприємстві, де використовується система загального висвітлення. Відповідно до ДБН В.2.5-28:2018 освітленість має становити 200 лк.

Розраховують систему загального освітлення. Якщо використовуються точкові джерела світла, розрахункову залежність вирішують відносно світлового потоку лампи.

$$E_{\phi} = \frac{F_{\text{л}} \cdot n \cdot N \cdot \eta}{S \cdot K_3 \cdot z}$$

де $F_{\text{л}}$ – світловий потік лампи, лм;

E_{ϕ} – нормована освітленість робочої поверхні, лк;

S – площа приміщення, що освічується, м²;

K_3 – коефіцієнт запасу, що враховує запиленість приміщень і зменшення світлового потоку джерела світла в процесі експлуатації;

z – коефіцієнт нерівномірності освітлення;

n – кількість ламп в світильнику;

N – кількість світильників в приміщенні;

η – коефіцієнт використання світлового потоку;

Площу приміщення S , що освічується знаходять по кресленню (плану) приміщення:

$$S = l_{\text{п}} \cdot b = 6.5 \cdot 3.9 = 25.35 \text{ м}^2$$

де $l_{\text{п}}$ – довжина приміщення, м;

b – ширина приміщення, м;

					<i>ДПЛА03.04.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Коефіцієнт запасу K_3 буде дорівнювати значенню прищіль громадських будівель:

$$K_3 = 1.5$$

При розміщенні світильників в шаховому порядку z буде дорівнювати:

$$z = 1.3$$

Індекс приміщення знаходиться таким чином:

$$i = \frac{l_{\text{п}} \cdot b}{h_{\text{п}} \cdot (l_{\text{п}} + b)} = \frac{6.5 \cdot 3.9}{2.698 \cdot (6.5 + 3.9)} = 0.903447$$

Де коефіцієнт світлового потоку дорівнює:

$$\eta = \frac{0,903447 - 0,9}{1,0 - 0,9} \cdot (0,32 - 0,30) + 0,30 = 0,3006894$$

Інформація щодо світильників:

Тип обраного світильника	Умовний номер групи	К-сть світильників	Тип обраних ламп
УСП 2x40	12	8	ЛДЦУФ 40

Остаточно розраховуємо світловий потік лампи:

$$E_{\phi} = \frac{F_{\text{л}} \cdot n \cdot N \cdot \eta}{S \cdot K_3 \cdot z} = \frac{2106 \cdot 2 \cdot 8 \cdot 0.3006894}{25.35 \cdot 1.5 \cdot 1.3} = 205 \text{ лм}$$

Отже, така освітленість вважається достатньою.

					<i>ДПЛА03.04.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

6.2 Виробничий шум

Джерелом шуму під час роботи оператора є шум від робочого комп'ютера від 30 до 50 дБА. Фактичні показники шуму - $L = 30 \dots 60$ дБА, що відповідає ДСН 3.36.037-99.

Для зменшення виробничого шуму передбачено проведення наступних заходів:

– робота у захисних ізольованих навушниках (Dnipro-M Profi складні; Venture Gear Clandestine NRR 24dB);

– своєчасний ремонт усіх механічних вузлів за регламентом ($\Delta L = 8$ дБА);

– встановлення захисних екранів ($\Delta L = 15$ дБА).

Завдяки впровадженим заходам фактичний рівень шуму не перевищує звуковий тиск, що рекомендується, на робочому місці, який становить 40 дБА, що повністю відповідає вимогам нормативного документа ДСН 3.3.6.037-99.

6.3 Мікроклімат

Для забезпечення комфортних умов праці слід контролювати мікрокліматичні показники, такі як:

1. Температура повітря;
2. Вологість повітря;
3. Швидкість руху повітря;
4. Інтенсивність теплового (інфрачервоного) опромінення;
5. Температура поверхні.

Нормальне теплове самопочуття має місце, коли тепловиділення ($Q_{\text{ТВ}}$) людського організму повністю сприймаються довкіллям ($Q_{\text{ТН}}$), тобто коли має місце тепловий баланс ($Q_{\text{ТВ}} = Q_{\text{ТН}}$). І тут температура внутрішніх органів залишається незмінною лише на рівні 36.6 °С.

					<i>ДПЛА03.04.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Робоче місце являє собою персональний комп'ютер за правильно організованим столом і класифікується як постійне, бо за ним проводиться більше 50% робочого часу.

Враховуючи властивості робочого місця, його можна віднести до категорії 1а, при якому витрата енергії дорівнює 105 – 140 Вт (90 – 120 ккал/год.) згідно з нормативним документом ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень».

Зниження температури навколишнього середовища за всіх інших однакових умов призводить до зростання тепловіддачі шляхом конвекції та випромінювання і може призвести до переохолодження організму. При високій температурі повітря та дефіциті води в організмі посилено витрачаються вуглеводи та жири, руйнуються білки.

У середині приміщень проектом передбачається кондиціонування повітря. У всіх кімнатах запроектовано опалення взимку.

Таблиця 6.1 – Оптимальні параметри мікроклімату

Параметр	Холодний період року	Теплий період року
Температура повітря	21 - 24 °С	20 - 23 °С
Відносна вологість повітря	40 - 75 %	40 - 60 %
Швидкість руху повітря	0.1 м/с	0.2 м/с

6.4 Ураження електричним струмом

Операційне приміщення відноситься до приміщень з підвищеною небезпекою за ступенем ураження електричним струмом відповідно до ПУЕ 2017 (глава 1.1, пункт 1.1.13.б). Не допускається увімкнення електроустаткування при несправному заземленні. В операторській встановлена мережа, що працює під напругою 220/380 В, частотою 50 Гц. Мережа з глухозаземленою нейтраллю. Основні причини нещасного випадку від впливу електричного струму:

Гранично допустимий струм, що проходить через людину при нормальному (неаварійному) режимі роботи електроустановки, не повинен перевищувати 0.3 мА для змінного струму та 1 мА для постійного. Гранично допустима напруга на людині при нормальному (неаварійному) режимі роботи електроустановки не повинна перевищувати 2 – 3 для змінного струму і 8 для постійного.

Для забезпечення електробезпеки передбачені організаційні та технічні заходи:

- Ізоляція струмопровідних частин комп'ютера та використання відповідних матеріалів робіт;
- В електроустановках застосовуються автоматичні вимикачі, реле перенапруги, заземлення, захисні відключення та інші пристрої, призначені для виявлення відхилень у роботі електроустановок та запобігання небезпечним ситуаціям.
- Під час роботи з електроінструментом використовуються індивідуальні захисні засоби. Регулярне технічне обслуговування та перевірки електроустановок, проведення навчання та інструктажу персоналу з електробезпеки, встановлення правил та процедур з безпечної роботи.

										Арк.
										60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДПЛА03.04.00.000.ПЗ					

6.5 Пожежонебезпека

Згідно з ПЕУ-2017, кімната оператора відноситься до приміщень без підвищеної небезпеки. Для забезпечення пожежної безпеки проектом передбачено систему зв'язування та оповіщення, систему порошкового та пінного пожежогасіння, систему протипожежного водопроводу, а також первинні засоби пожежогасіння. До первинних засобів пожежогасіння відносяться: вогнегасники, пожежний інвентар (бочки з водою, пожежні відра, ящики з піском, совкові лопати, протипожежні покривала) та пожежний інструмент (гаки, ломи, сокири).

У будівлі, де розташоване приміщення, присутні три евакуаційні виходи розміром 1.5×2.5 м, встановлена система виявлення пожеж та аварійного відключення світла. Крім зазначеного, є сигналізаційна система оповіщення, що забезпечує негайне повідомлення про небезпеку.

Основними причинами виникнення пожежі можуть бути:

- Використання ушкоджених (несправних) електроприладів;
- Порухення елементарних правил пожежної безпеки;
- Використання в приміщенні електронагрівальних приладів з відкритими нагрівальними елементами;
- Несправність електрообладнання, електромереж;
- Порухення електротехнічних правил.
- Несправності електропроводки, розеток і вимикачів які можуть привести до короткого замикання або пробою ізоляції;

У приміщенні є план аварійної евакуації як із самого операторського приміщення так і з поверху і будівлі. План доведено до кожного працівника. Остаточо можна вважати, що виконані всі вимоги відповідно до положення ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги».

					<i>ДПЛА03.04.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

ВИСНОВКИ

1. Розроблено систему автоматизованого керування технологічними процесами на основі комп'ютерного зору та доповненої реальності, що дозволяє підвищити ефективність та простоту керування технологічними процесами, а також знизити вимоги до рівня підготовки інженерно-технічного персоналу.

2. Проведено аналіз технологічних процесів та визначено особливості їх автоматизації із використанням технології доповненої реальності для керування ними.

3. Розглянуто важливі особливості технічних засобів для реалізації технологій доповненої реальності у керуванні технологічними процесами на основі комп'ютерного зору, серед яких слід відзначити роздільну здатність камери (має бути не менше ніж 1080р).

4. Було розроблено алгоритмічне забезпечення керування технологічними процесами на основі технологій комп'ютерного зору та доповненої реальності, що є підґрунтям подальшої програмної реалізації.

5. На основі запропонованого алгоритмічного забезпечення розроблено програмне забезпечення для середовища доповненої реальності, що дозволяє автоматизовано керувати неперервними та дискретними технологічними процесами.

6. Проведено перевірку отриманих результатів.

					ДПЛА03.04.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Управління промисловою рукою на основі Машинного зору [Електронний ресурс] <https://www.linkedin.com/pulse/vision-based-robotic-arm-control-joshua-nti#:~:text=Vision%2Dbased%20robotic%20arm%20control%20refers%20to%20the%20use%20of,positioning%20based%20on%20visual%20information>
2. Основи поняття MediaPipe [Електронний ресурс] <https://medium.com/@speaktoharisudhan/media-pipe-a-framework-for-computer-vision-and-machine-learning-f555e0a8e94d>
3. Використана промислова рука для Unity [Електронний ресурс] <https://assetstore.unity.com/packages/3d/environments/industrial/unity-factory-276400#version-original>
4. Рішення зворотної задачі кінематики [Електронний ресурс] <https://hive.blog/hive-196387/@juecoree/forward-and-reverse-kinematics-for-3r-planar-manipulator>
5. A. Zhulinskyi, Ladieva, L. Burban A. An Optimization of static operating modes of the installation of contact membrane distillation Contemporary Engineering Sciences, Vol. 10, 2017, no. 9, 439 - 446 HIKARI Ltd, www.m-hikari.com <https://doi.org/10.12988/ces.2017.7332>
6. Побудова блок-схем [Електронний ресурс] <https://www.plantuml.com/>
7. Види промислових рук [Електронний ресурс] <https://dorna.ai/blog/top-robotic-applications/#:~:text=Robotic%20arms%20are%20transforming%20material,pursuit%20of%20excellence%20in%20manufacturing.>

					ДПЛА03.04.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

8. Причини використання промислових рук [Електронний ресурс] <https://nixma.com/robotic-arms-in-the-manufacturing-industry/>

9. Home - Masterly Project [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://masterly-project.eu/> (Дата: 25 Травня 2024).

10. Fraga-Lamas, P., Fernandez-Carames, T. M., Blanco-Novoa, O., and VilarMontesinos, M. A. (2018). A Review on Industrial Augmented Reality Systems for the Industry 4.0 Shipyard. IEEE Access 6, 13358–13375. doi:10.1109/access.2018.2808326

11. Berg, L. P., and Vance, J. M. (2017). Industry Use of Virtual Reality in Product Design and Manufacturing: a Survey. Virtual Real. 21, 1–17. doi:10.1007/s10055-016-0293-9

12. Barbosa, G. F., Frigo, M. A., Da Silva, E. C. C., and Barbosa, G. F. (2016). Augmented Reality in Aerospace Manufacturing: A Review. J. Industrial Intelligent Inf. 4, 125–130.

13. Paelke, V. (2014). “Augmented Reality in the Smart Factory: Supporting Workers in an Industry 4.0. Environment,” in Proceedings of the 2014 IEEE Emerging Technology and Factory Automation (ETFA) (IEEE). doi:10.1109/etfa.2014.7005252

14. Bottani, E., and Vignali, G. (2019). “Augmented Reality Technology in the Manufacturing Industry: A Review of the Last Decade,” in Wearable augmented reality for employee safety in manufacturing systems (W-Artemys). doi:10.1080/24725854.2018.1493244

15. Havard, V., Jeanne, B., Lacomblez, M., and Baudry, D. (2019). Digital Twin and Virtual Reality: a Co-Simulation Environment for Design and Assessment of Industrial Workstations. Prod. Manuf. Res. 7, 472–489. doi:10.1080/21693277.2019.1660283

					<i>ДПЛА03.04.00.000.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		64