

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя  
(повне найменування вищого навчального закладу)  
Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії  
(назва факультету)  
Кафедра автоматизації технологічних процесів та виробництв  
(повна назва кафедри)

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

**магістр**

(освітній рівень)

на тему: Моделювання та розробка автоматизованого процесу зміни інструментів в робототехнічній комірці

Виконавці: студенти 6 курсу, групи КАМ-61

Спеціальність 151

“Автоматизоване управління технологічними процесами”

(шифр і назва спеціальності)

Кравець Й.Р.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Мінько Н.С.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Михайлишин Р.І.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Козбур І.Р.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Савків В.Б.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

Стухляк П.Д.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

## А н о т а ц і я

В дипломній роботі використані такі терміни: інструмент, захоплюючий пристрій, промисловий робот, транспортування, програмування, змінний механізм.

Об'єктом дослідження є процес автоматичної заміни робочого інструмента промислового робота з різного положення.

Мета роботи – є розробка та тестування програми автоматичної зміни інструменту, яка використовується для полегшення програмування робота АВВ, що включає різні елементи: апаратне та програмне забезпечення.

В контексті даної магістерської роботи були розроблені різні прототипи для тримача інструменту, який може бути використаний відповідно до пропозиції та з певним інструментальним обміном. Далі для запропонованих прототипів проводилося порівняння між собою та їх використання для поставлених задач. В подальшому було розроблено додаток для змаїни інструментів, який складається з 3 окремих частин, перша частина, де користувач визначає свої інструменти, друга частина, де користувач може протестувати та відрегулювати рухи, щоб взяти і відчепити інструменти, і третя фаза, коли користувач може вільно використовувати розроблені функції. На перших двох етапах цієї програми були розроблені Людино-машинний інтерфейс (Human-machine interface – НМІ) для кінцевого ефектора робота з метою полегшення його програмування. Також було розроблено кілька прототипів для спеціального інструменту, який має на меті взяти блістер та маніпулювати деталями окремо. Цей інструмент має 2 захвата, розміщені між перпендикулярно одін відносно іншого. Ця частина роботи спрямована на приклад для створення майбутніх інструментів, які можуть працювати з цією системою змаїни інструментами. Заключна частина роботи складається з побудови станції для імітації різних побудованих елементів та оцінки її корисності для програміста.

The following terms are used in the diploma work: tool, exciting device, industrial robot, transport, programming, variable mechanism.

The object of the study is the process of automatic replacement of the working tool of an industrial robot from different positions.

The purpose of the work is to develop and test an automatic tool change program, which is used to facilitate the programming of ABB's robot, which includes various elements: hardware and software.

In the context of this master's thesis, various prototypes have been developed for a tool holder that can be used according to the proposal and with a certain tool exchange. Next, for the proposed prototypes, a comparison was made with each other and their use for the tasks. Subsequently, a tool decoy application was developed, consisting of 3 separate parts, the first part where the user defines his tools, the second part where the user can test and adjust movements to pick up and unhook tools, and the third phase when the user can freely use the developed functions. In the first two phases of this program, a Human-machine interface (HMI) was developed for the final effector robot to facilitate its programming. Several prototypes have also been developed for a special tool designed to take a blister and manipulate parts separately. This tool has 2 grips placed perpendicular to each other. This part of the work focuses on the example of creating future tools that can work with this system of enticing tools. The final part of the work consists of building a station to simulate various built elements and evaluate its usefulness to the programmer.

# ЗМІСТ

ВСТУП .....	8
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА .....	9
1.1 Аналіз сучасного стану проблем управління.....	9
промисловими роботами .....	9
1.1.1 Виконавчі механізми .....	11
1.1.2 Приводи та передавальні механізми.....	12
1.1.3 Інформаційно вимірювальні системи .....	12
1.1.4 Системи управління.....	13
1.2 Кінематичне проектування і опис промислової роботизованої комірки ..	14
1.3 Використання ЕОМ для моделювання руху роботів .....	24
1.4 Програмування роботів за допомогою пульта.....	26
1.5 Програмні рішення для систем зміни інструментів.....	29
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА .....	33
2.1 Технічні характеристики АВВ 2600 .....	33
2.2 Технічні характеристики пристрою зміни інструментів .....	38
2.3 Технічні характеристики тримача інструменту для пристрою зміни інструментів.....	43
2.3.1 Вертикальний тримач .....	43
2.3.2 Горизонтальний тримач 1 .....	46
2.3.3 Горизонтальний тримач 2 .....	50
2.3.4 Горизонтальний тримач 3 .....	53
3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА.....	56
3.1 Конструкція подвійного адаптера захоплювача.....	56
3.2 Визначення параметрів адаптера захоплювача .....	61
3.3 Порівняння основних каркасів .....	72
3.4 Конструювання телескопічного адаптера .....	82
4 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА .....	88
4.1 Створення програми для зміни інструменту мовою RAPID.....	88
4.2 Розробка та дослідження робототехнічної комірки.....	100
4.3 Визначення експлуатаційних характеристик.....	118
5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА .....	130
5.1 Визначення виробничої лінії .....	130
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....	138
6.1 Значення охорони праці в забезпеченні здорових умов праці .....	138
6.2 Охорона праці як система заходів щодо гармонізації використання комп'ютерних технологій .....	138
6.3 Аналіз потенційних небезпек та шкідливостей виробничого середовища .....	140
6.4 Розрахунок освітленості робочого місця при розробці криптографічних систем .....	145
6.5 Електромагнітний імпульс ядерного вибуху і захист від нього радіоелектронних засобів.....	146

6.6 Забезпечення нормальних умов праці .....	148
6.6.1 Вибір приміщення.....	148
6.6.2 Забезпечення нормальних санітарно- гігієнічних умов на робочому місці .....	149
ВИСНОВКИ.....	154
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	155

## ВСТУП

Перехід народного господарства України на шлях інтенсивного розвитку – об’єктивна вимога часу. Збільшення випуску продукції машинобудування і покращання її якості при одночасному зниженні виробничих затрат забезпечується за рахунок удосконалення існуючих і впровадження нових видів обладнання і технологічних процесів, засобів їх механізації і автоматизації, за рахунок підвищення ефективності організації і управління виробництвом.

Одним із найбільш ефективних шляхів вирішення транспортно-завантажувальних завдань автоматизованого виробництва є створення автоматичних механізмів, здатних виконувати на виробництві ряд допоміжних операцій. До них відносяться автоматичні маніпулятори і промислові роботи, експлуатаційна надійність яких в основному залежить від конструкції захоплюючого пристрою.

Розроблення прототипів для спеціального інструменту для маніпулювання блистером та інструментами всередині Людино-машинного інтерфейсу має важливе значення. Також важливим на даному етапі розвитку виробництва є розроблення програми тестування щоб полегшити програмні потреби на виробництві. Зокрема використання великої кількості прототипів дозволить створити велику гнучкість у виборі того, що використовувати на більшості роботизованих станцій. Людино-машинного інтерфейс також дозволить досить просто зрозуміти та використовувати програмні засоби для звичайної роботи оператора.

# 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

## 1.1 Аналіз сучасного стану проблем управління промисловими роботами

Робототехнічна система (РТС) - це технічна система, в якій перетворення і зв'язку енергії, маси та інформації відображені з використанням роботів різного призначення [1].

РТС володіють основними ознаками системності: цілісністю системи машин, що виявляється в тому, що вона має властивості, відмінними від властивостей складових її елементів; ієрархічністю структури, що дається ознаки в наявності декількох рівнів ієрархії і можливістю опису РТС з різним ступенем деталізації, яка визначається розглянутим рівнем залежно від розв'язуваних завдань. Так, окремі складові РТС, виконують самостійні функції, можна розглядати при диференціюванні в якості самостійних складних систем і, навпаки, в процесі інтегрування можна прийти від системи нижчого рівня до вищого.

Існують різні класифікації роботів, прийнято виділяти два основні класи маніпуляційні роботи та мобільні роботи.

Маніпуляційні РТС отримали найбільший розвиток і практичне застосування в промисловості, де їх називають промисловими роботами. Промисловий робот (ПР) - автоматична машина, стаціонарна або пересувна, що складається з виконавчого пристрою у вигляді маніпулятора, що має кілька ступенів рухливості, і перепрограмовуваного пристрою програмного управління для виконання у виробничому процесі рухових і керуючих функцій (по ДСТУ 25686-85). У технічній літературі часто зустрічається і більш коротке визначення: ПР - перепрограмований автоматичний маніпулятор промислового застосування. Характерними признаками ПР є автоматичне керування; перепрограмовуваність - здатність до швидкої автоматичної або за

допомогою людини-оператора заміні керуючої програми (до зміни послідовності, системи та змісту команд); здатність до виконання трудових дій. Існують різні класифікації роботів, наприклад роботи маніпулятори можуть бути класифіковані залежно від компонентів з яких складаються, конфігурації та використання, для роботів маніпуляторів найбільш поширені три класифікації за типами систем управління, типам приводів, і формі робочої зони [2].

Мобільні (рухомі) РТС забезпечують автоматичне переміщення корисного навантаження в просторі. Можуть мати запрограмований маршрут руху і (або) автоматичне адресування мети. Оснащуються рушіями різних типів: колісними, гусеничними, крокуючими, водометними, гвинтовими, ракетними і т.п. У промисловості застосовуються для обслуговування складів, міжцехового і внутрішньоцехового транспортування матеріалів, деталей, інструменту та оснастки. Такі рухливі РТС часто оснащуються маніпуляторами.

В літературі про крокуючих роботів часто можна зустріти терміни "локомоція" синергія ". Локомоція - пересування крокуючого пристрою будь-яким способом, шляхом ходьби, стрибків або будь-якого їх поєднання. Синергія - упорядкована послідовність дій приводить до локомоції [3].

Серед робототехнічних систем, тобто керованих систем твердих тіл, помітну роль відіграють крокуючі пристрою або, як їх ще часто називають, локомоційні системи (ЛС). На відміну від маніпуляційних локомоційні пристрої являють собою сукупність відкрито-замкнутих ланцюгів (кінцівок), за допомогою яких здійснюється пересування ЛЗ в просторі. Крокуючі роботи мають ширші можливості для переміщення по пересіченій місцевості ніж колісні або гусеничні машини. Обмеженням крокуючих машин є складна конструкція рушія і як наслідок складна система управління рухами робота.

Не залежно від галузі застосування і використовуваних виконавчих механізмів РТС складається і наступних компонентів:

- Виконавчі механізми;



- Приводи та передавальні механізми;
- Інформаційні системи, що складаються їх різних; датчиків і вимірювальних систем;
- Системи управління.

Важливо відзначити що сучасні РТС можуть обладнуватися сотнями ступінь свободи, а частоти роботи систем управління 200 Гц [4, 5] при управлінні рухом таких складних систем необхідно враховувати безліч умов. Тому завдання розробки систем управління рухом таких роботів є актуальною.

### **1.1.1 Виконавчі механізми**

Маніпулятори роботів і деталі рушіїв приводяться в дію за допомогою виконавчих приводів, які забезпечують рухливість системи та виконання цільових функцій.

У біологічних організмах функції виконавчих органів покладаються на м'язи, які складаються з пучків скорочуються волокон.

Середній час скорочення одного волокна сто мілі-секунд, а створюване зусилля може досягати двохсот грамів. Посилення, створюване всім м'язом, визначається числом задіяних волокон, а плавність рухів забезпечується їх послідовним підключенням. В цілому м'яз являє своєрідний біологічний двигун, що включає кілька тисяч Простіший двигунів імпульсного типу. Всі вони об'єднуються в пучки, а потім - в рухові одиниці.

Приводи роботів класифікуються по ряду характерних ознак. Залежно від типу енергії, використовуваної двигуном, вони можуть бути електричними, гідравлічними і пневматичними.

### **1.1.2 Приводи та передавальні механізми**

Пристроїв передачі механічної енергії від двигуна до ланок механічним елементам РТС досить багато:

- Кулько-гвинтова передача;
- Зубчато-рейкова передача;
- Хвильової редуктор;
- Ланцюгові передачі, стрічки та приводні ремені;
- Шарнірно-важільні передачі.

Часто в якості приводів використовують механотронні модулі, які частково об'єднують в собі виконавчі та інформаційні компоненти РТС. Механотронні модулі - це базові функціональні компоненти механотронних систем і машин з комп'ютерним управлінням, призначені для виконання рухів, як правило, по одній керованій координаті. Головними перевагами механотронних систем є виняток багатоступінчастого перетворення енергії та інформації, спрощення кінематичних ланцюгів і отже висока точність і поліпшені динамічні характеристики, конструктивна компактність модулів і отже поліпшені масо-габаритні характеристики. Можливість об'єднання механотронних модулів в складні механотронні системи, і комплекси, що допускають швидку реконфігурацію, відносно низька вартість установки, настройки і обслуговування системи, завдяки модульності конструкції, уніфікації апаратних і програмних засобів, здатність виконувати складні рухи, завдяки застосуванню методів адаптивного та інтелектуального управління.

### **1.1.3 Інформаційно вимірювальні системи**

Головна задача інформаційно вимірювальної системи, це забезпечення інформацією систему управління. Можна виділити два типи даних одержуваних від інформаційно системи. Відповідно до рівнів ієрархії системи

управління для тактичного рівня це інформація про об'єкт маніпулювання і про навколишнє робочому середовищі, для тактичного рівня це дані про стан виконавчої системи, переміщення в приводах, стан різних систем, гальмівних муфт, положення кінцевих вимикачів і т.д. Інформація про стан виконавчої системи необхідна для організації зворотного зв'язку.

#### **1.1.4 Системи управління**

Об'єктом управління є різні виконавчі механізми - маніпуляційні, пересування і системи управління. Загалом механічна система як об'єкт управління може бути охарактеризована: типом і числом переносних і орієнтуючих робочих органів ступенів рухливості (переносні - поступальний і обертальні, що орієнтують - обертальні), типом і розміром робочої зони. Виконавчі механізми складаються з механічної системи і приводів. Для маніпуляторів механічна система буде закінчуватися яким або робочим органом або інструментом. Для систем пересування також можуть мати робочий орган, наприклад бульдозерний ніж, підйомник, лебідка і т.д. також в якості робочого органи можуть виступати елементи крокуючого рушія, наприклад стопи [6] [7].

Система управління має ієрархічну організацію в якій можна виділити такі рівні [3]:

1. Формулювання завдання. Система управління апаратом отримує завдання від оператора (наприклад пройти з пункту А в пункт В).

2. Планування поведінки та прийняття рішення. Алгоритми цього рівня виконують аналіз ситуації і здійснюють підбір оптимального режиму руху, що забезпечує досягнення поставленої мети з урахуванням перешкод і конструктивних обмежень.

3. Рівень побудови руху та управління приводами. Алгоритми цього рівня будують програмні руху окремих ланок апарату т.п. закон зміни їх узагальнених координат.

Частіше перші два рівня ієрархії об'єднують в один рівень і тоді задачу управління рухами робота можна розділити на два рівня тактичний і виконавчий. На тактичному рівні визначається траєкторія і цілі руху. Виконавчий рівень вирішує задачу генерації управляючих сигналів забезпечують необхідний рух [8].

Основне завдання виконавчої частини системи управління мобільним роботом - це управління рухом. Сучасний підхід полягає в тому щоб управляти рухом в кожному зчленуванні за допомогою вбудованого механізму [9, 10].

Окремо варто виділити управління локомоційним рухом. Локомоційний рух-це пересування динамічних керованих систем в просторі. Проблема синтезу локомоцій головним чином досліджувалася стосовно до крокуючих роботам. Складні завдання організації систем управління крокуючих робототехнічних пристроїв становлять значний інтерес з точки зору моделювання та конструювання різних засобів протезування кінцівок (екзоскелетони), проникнення в важкодоступні, небезпечні або заражені місця, освоєння інших планетарних просторів [11].

## **1.2 Кінематичне проектування і опис промислової роботизованої комірки**

Сьогодні промислові роботи можуть замінити людей в здійсненні різних типів дії. Вони можуть також обслуговувати машинні інструменти і здійснювати різні завдання подібно до зварювання, управління, фарбування, кування, упаковки, пакетування в різних областях: механіці, електроніці і в інших промисловостях. Зате лишається складність промислових важких завдань процес вставки і рухів робота : робоче довкілля робота - часто складне

і різноманітне (присутність перешкод впродовж виконання завдання наприклад).

Одна з цілей це проблема системи автоматизованого проектування (CAD) роботів, що затверджує їх топологічні структури. Проектувальник роботів, тобто інженер пускає в хід припущення, що стосується забезпеченості зв'язками і з'єднаннями механічної артикульованої системи. Першим затвердженням цього є вибір геометричної природи (Merlet, 1996). З першого погляду проектувати механічну архітектуру для робота буде просто і все ж це є дуже складно. Складність полягає в тому, що повинно взятися до уваги не лише механічні можливості реалізації, але і можливості розвитку контролю, який проходить по мимо виробництва математичної моделі, а математична модель постійно впливає на механічне проектування. Багато методів для опису механізму з'явилися із створенням систем CAD (Warnecke, 1977) і (Coiffet, 1992). Існуючі методи можливо відокремити у двох категоріях:

- методи опису для класифікації (Roth, 1976),
- методи для математичного моделювання (Borel, 1979) (Khalil, 1976), (Renaud, 1975) і (Touron, 1984).

Предмет «теорія механізмів і машин» (ММТ) сприяв дуже примітивному і просторовому синтезу механізму з різними степенями свободи (Hwang & Hwang, 1992; Hervi, 1994; Gonzales, 1996; Karouia & Hervi, 2005). Деякі поточні індустріальні роботи з плоскими ланцюгами створили структуру близьку до кінематичних графів ММТ (Manulescu і ін. 1987; Ma & Angeles, 1991). Морфологічний (топологічний) синтез кінематичних ланцюгів має довгу часову дію. Існують різні методи для номерування синтезу плоских кінематичних ланцюгів з простими повторно витими з'єднаннями, з іншим ступенем рухомості і різними номерами зв'язків і з'єднань. Ці ланцюги зазвичай називають "Плоско шифровий доєднувач" в ММТ. Існують різні методи для кінематичного синтезу плоских ланцюгів з простими з'єднаннями (Tischler і ін., 1995; Belfiore, 2000; Rao & Deshmukh, 2001) : інтуїція і інспекція

(Crossley, 1964), теорія (Dobrzjanskyi і Freudenstein, 1967). Інші полягають в перетворенні двійкових ланцюгів (Mruthyunjaya, 1979; Mruthyunjaya, 1984; Mruthyunjaya, 1984-b; Mruthyunjaya, 1984-c), в концептуалізації групи (Assur Manolescu і ін., 1987; Manolescu, 1964; Manolescu, 1979; Manolescu, 1987), або зображенні знаками (Davies & Crossley, 1966; Crossley, 1966). Нещодавно, нові методи заснували генетичні алгоритми або нейронові мережі, які також були використані в статті (Tejomurtula & Kak, 1999; Abo-Hamour і ін., 2002; Cabrera і ін., 2002; Laribi і ін., 2004).

Аналіз існуючих методів показує, що є декілька основних методів для розвитку математичної моделі з приводу застосування моделі для управління проектуванням роботів. Проте, з приводу топологічного опису ланцюгів і роботів є тільки метод Roth - Pieper (Roth, 1976; Pieper & Roth, 1969), який задає напрямок і опис механізму, щоб класифікувати роботів. Проблема синтезу механізму ділиться на три проблеми:

- специфікація проблем топологічного і функціонального опису і обмеження, накладені довкіллям,
- топологічний синтез механізму перерахування і оцінка можливої топології,
- синтез, що має механізм для підбирання виду морфології.

Головною метою є представити короткий огляд з приводу хронології проектування промислового автоматичного кінематичного ланцюга, що розпочинається з короткого нагадування теорії з модульних структурних груп і можливості з'єднання рухомості системи з законом ММТ. Потім описаний новий метод для структурного синтезу з плоских еднальних ланцюгів в робототехніці. З приводу різних рівнів абстракції вивчається складність структури. Це дозволяє синтезувати плоскі ланцюги з різними степенями свободи, що виражаються числом зв'язків, з'єднань і степенів свободи. Логічні вирівнювання дозволяють повідомляти типу I закривати ланцюги типу Г. Правила для асоціацій груп також представляються в цій статті. Автор

ставить мету - виконувати усі можливі комбінації, щоб приєднатися або трансформувати зв'язки для того, щоб отримати наскільки багато структур наскільки можливо, починаючи з тих які ізоморфні. Асоціація двох груп допускає розробку різних ланцюгів верхнього рівня. Проте є деякі дефектні структури, які не піддаються законам з'єднання і рухливості. Тому для автора великої турботою було завдання зробити так, щоб уникати їх. Проблема структур, що створюються полягає в централізуванні їх синтезу. Це особливо підходить для ланцюгів з двома і більше степенями рухомості. Пізніше пропонується метод для опису ланцюгів за допомогою контурів і молекул. Це надає можливість скоротити число топологічних структур в роботі з приводом його рамки і позиції виконавчого кінцевого елемента, що порівнює їх відповідні молекули. Цей метод потім застосовується для описання структури і отримання топології головної структури індустріальних роботів в початковій фазі їх проектування.

Крім описаних структур роз'яснюється, що таке кінематика. Кінематика вивчає рух тіл без розгляду сил або моментів, які викликають рух. Автоматична кінематика притримується напрямку на аналітичне вивчення руху автоматичного маніпулятора. Формулювання відповідних кінематичних моделей важливо тому, що автоматичний механізм дуже критичний для аналізу поведінки промислового маніпулятора. Також використовують в кінематиці моделюючі маніпулятори Декартовий простір і чотири простори перетворення між двома Декартовими координатними системами. Існують багато шляхів представлення обертання, у тому числі наступні: кути Ейлера, вектор Гіббса, параметри Келі Клейн, матриці Паулі, вісь і кут, ортогональні матриці, і функція Гамільтона. З цих представлень заснували 4x4 дійсну матрицю (ортогональну матрицю), вона набула широко використання в роботизації. Система Denavit & Hartenberg (1955) показала, що загальне перетворення між двома з'єднаннями вимагає чотирьох параметрів. Ці параметри відомі як параметри Denavit-Hartenberg (D-H) стали стандартом для

опису автоматичної кінематики. Хоча чотири параметри були призначені для представлення обертання, вони не були використані настільки часто, наскільки часто використовувалося однорідне перетворення в робототехніці. Поки орієнтація тіла представлена дев'ятьма елементами в однорідних перетвореннях, подвійні чотири параметри скорочують число елементів до чотирьох. Ця пропозиція автора дає значну перевагу в термінах обчислювальної промисловостійкості і зберігає ефективність для роботи з кінематикою автоматичних ланцюгів (Funda і ін., 1990). Зворотня проблема кінематики серійних маніпуляторів була вивчена впродовж багатьох десятиліть. Вона вивчалась для контролю над маніпулятором. Рішення протилежності кінематики в обчислювальному відношенні експансивна і загалом займає дуже багато часу під час контролю маніпулятора. Конверсія позиції і орієнтації виконавчого кінцевого елемента маніпулятора в Декартових координатах до об'єданого простору називається зворотною проблемою кінематики.

Автоматична кінематика може ділитися на первинну кінематику і зворотню кінематику. Проблема первинної кінематики зрозуміла і в ній немає нічого складного. Отже, завжди первинна кінематика може стати рішенням для маніпулятора. Зворотна кінематика має набагато важче завдання ніж первинна кінематика. Рішення зворотної кінематики в обчислювальному відношенні є дуже експансивним і загалом триває дуже багато часу під час якого відбувається контроль маніпулятора. Це зумовлено не лінійністю, яка робить проблему важчою для вирішення. Отже, тільки для дуже маленького класу кінематично простих маніпуляторів (маніпулятори із зап'ястком Ейлера) можуть мати повне аналітичне рішення (Kucuk & Bingul, 2004). Для технічного рішення зворотної проблеми кінематики є два методи: аналітичний і числовий. У першому об'єднані змінні розраховуються аналітично згідно за різними видами даних, які поступили. У другому, об'єднані змінні отримані за



допомогою числової техніки. Автором було вирішено досліджувати маніпулятори аналітично перед тим, як шукати рішення.

Крім цього стверджується, що існує два підходи в аналітичному методі: геометричний і рішення за допомогою алгебри. Геометричний підхід застосовується до простих автоматичних структур, як наприклад - площинні маніпулятори DOF або невеликі маніпулятори DOF з паралельними об'єднаними сошками. Для маніпуляторів з більшою кількістю зв'язків і чиї кисті рухаються в 3 вимірах, або більш складнішою геометрією стає значно складнішим і нудним завданням. В цьому випадку, підхід рішення за допомогою алгебри є вигіднішим для зворотного вирішення кінематики.

Для вирішення зворотної проблеми кінематики, коли пов'язані кінематичні вирівнювання, багаторазові рішення і оригінальність, стає проблемою. Математичні рішення для зворотної проблеми кінематики можуть не завжди відповідати фізичним рішенням і метод вирішення цієї проблеми залежить лише від автоматичної структури.

Автор заглиблюється в математичні рішення цих проблем і описує, що дві об'єднані змінні можуть бути вибрані як параметричні об'єднуючі змінні і залишок чотирьох параметрів виходить як функція їх двох параметричних змін. Потім, користуючись відповідним числовим методом, залишок двох вирівнювань вирішується для параметричних об'єднаних змінних. Згодом, зворотне кінематичне рішення завершується. Проте автор показує, що можливо скоротити залишок двох вирівнювань до одного, але є можливість швидше ускладнити одновимірне багаточленне вирівнювання користуючись методами, подібними до тих, які використовував Масвер (Raghavan & Roth, 1993; Manseur 1996;). Хоча аналітичні або напів-аналітичні методи рішення обов'язково залежать від специфічних особливостей маніпулятора, процедура може бути використана як загальна для слідування більшості маніпуляторів.

Узагальнюється структура базування кінематичного вирівнювання для шестиоб'єднаних індустриальних робототехнічних маніпуляторів

представлених разом з їх типовими рішеннями. Згідно з класифікацією індустріальних роботів кінематичні структури і їх первинні кінематичні вирівнювання отримані згідно з цією класифікацією. Мета цієї класифікації – отримати спрощені первинні кінематичні вирівнювання, що розглядають специфічні особливості класифікації маніпуляторів, і отже полегшити їх зворотні кінематичні рішення. Для детальності класифікації розглядаються сто індустріальних роботів. Автор уперше класифікує роботів за кінематичними головними групами, а потім за підгрупами.

Головні групи засновані на обертанні виконавчого кінцевого елемента матриці і характеризуються кутами завихрення. З іншого боку, підгрупи засновані згідно позиції зап'ястка і характеризуються єднальними довжинами і відгалуженнями. Причина переваги позиції зап'ястка замість позиції наконечника у цій класифікації зумовлена тим, що комбінація матриці зап'ястка містить ту ж кількість інформації, що і матриця і координати зап'ястка простіше виразити в об'єднаних змінних. Після отримання первинних кінематичних вирівнювань позиції зап'ястка підгрупи, вони спрощуються і отримують компактні кінематичні вирівнювання, що дозволяє користуючись численним методом обертати матриці. Використання експоненціального обертання матриці забезпечило важливі переваги таким чином, що спрощення здійснюється в систематичній формі з маленьким рядом символічної матриці.

Потім автором було представлено зворотне кінематичне застосування підходу до шестиоб'єднаних промислових робототехнічних маніпуляторів. У зворотних кінематичних рішеннях даного промислового робота, більшість із спрощених компактних вирівнювань може бути вирішена аналітично або може бути вирішено напіваналітично через числове рішення єдиного одновимірного вирівнювання. Напіваналітичний метод називають як параметрично об'єднаний мінливий (PJV) метод. У рішеннях цього методу передусім постає оригінальність і багаторазовість конфігурації маніпуляторів. Користуючись цими рішеннями, протилежна кінематика може також бути

комп'ютеризованою за допомогою коротких і швидких алгоритмів. Унаслідок експоненціального обертання матриці, отримане просте і компактне вирівнювання, яке здійснюється за допомогою комп'ютерного програмування із зворотнім кінематичним рішенням. Окрім оригінальності і кратності число конфігурацій разом з робочими обмеженнями маніпулятора може бути виявлено з готовності системи перед стадією програмування, що дозволяє вжити необхідні заходи для розвивання програми. Отже, впродовж зворотного кінематичного рішення, стає можливим управляти рухом маніпулятора у бажаному положенні за допомогою програми. У цьому підході, отримано вирівнювання для маніпулятора, що нещодавно був спроектований. Коли під розглядом трапляється, маніпулятор який створює нову головну групу, вирівнювання можуть створюватися без великих труднощів, відколи підхід становиться систематичним. У цьому контексті для вичерпного вивчення, яке покриває усі види шестиоб'єднаних серійних маніпуляторів представлений метод застосовний не лише для серійних маніпуляторів, але і для гібридних маніпуляторів із закритими ланцюгами. Було продемонстровано застосування методу до промислового робота IRB2000, який має механізм для приведення в дію його трьох зв'язок. Отже, разом з загальноновживаними маніпуляторами в цьому розділі з'являється маніпулятор гібридної групи.

Нарешті думка автора завершується рішенням чому типове тригонометричне вирівнювання, з якими стикається читач впродовж цілої статті застосовується так часто. Для вирішення зворотної проблеми кінематики, вимагаються передні кінематичні вирівнювання. Є три методи для зворотного кінематичного вирішення а саме: аналітичний, напіваналітичний, і повністю числовий. Тепер, аналітичний метод може бути використаний тільки для певних маніпуляторів із специфічним кінематичним параметром комбінацій як наприклад ПУМА 560. Для загального випадку, де маніпулятор не має специфічних кінематичних комбінацій, стає неможливим отримати аналітичні рішення. Тому повинен застосовуватися або напіваналітичний, або

повністю числовий метод. Напіваналітичний метод виявився занадто нечіткий, щоб ним користуватися (Raghavan & Roth, 1993; Manseur, 1996), повністю числовий метод здебільшого вважається кращим. Проте, якщо передні кінематичні вирівнювання можуть бути спрощені, краще використовувати напіваналітичний і навіть аналітичний метод для великого ряду промислових роботів автоматичного типу. З іншого боку, повністю числові методи можуть виявитися оригінальними, перевіряючи детермінант матриці Якобі. Їм доведеться робити цей процес безперервно впродовж якого буде уповільнятися процес. Проте цей вид оригінальності можливо не є настільки видатний. Також, існує випадок коли бажані конфігурації маніпулятора можуть не бути вказаними впродовж рішення ним якихось дій. Тому стає необхідним, щоб використовувався напіваналітичний чи аналітичний метод. До того ж, аналітичний або напіваналітичний метод приніс би практичну користь, щоб стиснути рівняння першого ступеня для полегшення виявлення оригінальності.

Крім того звертається увага на те, що кінематика робототехнічних маніпуляторів може гарно представлятися, що дозволить більше фактично і швидше сприймати їх специфічний зміст, замість прибігання до загального розвитку (Hunt, 1986). Після класифікації з'ясовано, що більшість недавніх випущених, відомих робототехнічних маніпуляторів в межах специфічної головної групи має загальні рішення і підходи. Використання експоненціального обертання матриць забезпечує важливі переваги таким чином, що спрощення можуть здійснюватися в систематичній формі з маленьким рядом символічних матричних маніпуляцій і кінематичних закінчень і стають набагато простішими, коли кути завихрення складають  $0^\circ$  чи  $\pm 90^\circ$ , які є випадковими в загальних індустріальних роботах.

Вказується, що для серійних маніпуляторів, з первинною кінематикою, визначення позиції виконавчого кінцевого елемента і орієнтації його в Декартовому просторі для об'єднання змінних, може легко вирішитися в закритій формі. На жаль зворотна проблема кінематики тобто, визначення

кожної об'єднаної змінної, використовуючи декартову систему координат не гарантує рішення закритої форми. Якщо при замкнутій формі не може бути отримане рішення, є різні види підходів для вирішення цієї проблеми. Найзагальніший - використати повністю числове технічне рішення, як наприклад алгоритм Ньютона – Рафсона. Часто використовується метод - "вирішення контролю норми руху", який користується протилежною матрицею Якобі, щоб визначити норми об'єднаних змінних, а потім об'єднати їх в цифровій формі за відповідним методом (Wu & Pole, 1982). З іншого боку цей підхід дозволив отримати зворотні кінематичні рішення аналітично, маніпулюючи тригонометричним вирівнюванням безпосередньо без перетворення їх у багаточленні вирівнювання. У випадку, де аналітичне рішення не може бути отримане таким чином, тоді у напіваналітичному рішенні користуються таким методом. Як пояснено метод PJV - напіваналітичний зворотний кінематичний метод, який може бути застосований до різних кінематичних класів шістьоб'єднаних маніпуляторів, які не мають ніяких рішень закритої форми. У більшості з випадків, це засновано на виборі однієї з об'єднаних змінних як параметра і визначення об'єднаної змінної, що залишиться параметричною для з'єднання змінних.

Проводить демонстрацію і описує чотири різні підгрупи зворотних кінематичних методів. Для двох з цих підгруп є наведені приклади для того, щоб сформулювати закриті і напіваналітичне зворотне кінематичне рішення. Автор починає з маніпуляторів у цих двох підгрупах, вони мають повторно виті з'єднання і зворотне кінематичне рішення четвертої підгрупи, яке включає промисловий робот Unimate 4000, який може продемонструвати метод призматичного з'єднання. Зворотне кінематичне рішення для цього трапляється так часто, що формують, або закритий, або відкритий PJV метод. Крім того було отримано зворотно кінематичне рішення для промислового робота IRB2000, який має закритий ланцюг для демонстрації.

### 1.3 Використання ЕОМ для моделювання руху роботів

В слідстві складності РТС як об'єктів дослідження основним засобом для такого дослідження є математичне моделювання з використання ЕОМ. Цей спосіб має ряд переваг у порівнянні з фізичним моделюванням і натурними експериментами, і може опинитися особливо корисним на етапі конструювання робота.

Проаналізувавши різне загальнодоступне програмне забезпечення використовується для моделювання та дослідження роботів були виділені наступні групи:

- Інтегровані пакети;
- Керуючі пакети;
- Засоби програмування та чисельних розрахунків;
- Засоби моделювання;
- Пакети штучного інтелекту.

Інтегровані пакети - це програмне забезпечення орієнтоване на його використання в складі системи управління, можуть застосовуватися в якості бортовий операційної системи. Програмне забезпечення цієї групи в першу чергу орієнтовано на рішення задач взаємодії та обмела даними між елементами системи управління та виконавчими механізмами. Прикладом таких систем можуть служити: MissionLab, FlowDesigner, ROSSUM, Darwin2K, Tekkotsu.

Керуючі пакети - це пакети орієнтовані на моделювання систем управління, передачу сигналів і виконувати роль центрального елемента в систем е управління роботом. Як приклад можна навести такі системи: OROCOS Open Robot Control Software, RobotStudio, Motion Strategy Library, Modular Controller Architecture, Microb, DROS Dave's Robotic Operating System.

Засоби програмування та чисельних розрахунків. Як правило це бібліотеки або програми мають інструменти для роботи зі спеціалізованими

мовами програмування. Octave, Scilab, Mathcad, Lisp Universal Shell (LUSH), Hybrid Systems Description Language (HYSDEL).

До засоби моделювання можна віднести різні універсальні програмні пакети які дозволяють моделювати необхідні процеси і мають в собі спеціальні модулі для моделювання роботів. Вони використовуються для моделювання роботи системи управління, дослідження динаміки і кінематики конструкції роботів і т.д. Відмінною особливістю від ПО інших типів, зручні інтерфейси і інструменти по створенню і редагуванню моделей. До засобів моделюванні використовуваних в робототехніці можна віднести наступні інструменти: MatPLC, MjbWorld, Model Transformation Tools, DynaMechs, SimRobot, Open Dynamics Engine (ODE), Genetic Programming System, Robotics Toolbox for MATLAB. Серед Російськомовних систем моделювання можна виділити пакети: «Універсальний механізм», ФРУНД. У цих системах реалізовані необхідні інструменти для створення та дослідження моделей роботів, крім того на базі цих пакетів вже успішно вирішуються завдання з моделювання рухів мобільних роботів.

До пакетам штучного інтелекту можна віднести наступні програмні пакети: Machine Learning Library, GiNaC, Pyro Python, Machine Vision Toolbox. До цієї групи відносячи кошти за рішенням задач штучного інтелекту, вони дозволяють моделювати штучні нейронні мережі і досліджувати різні моделі. Як правило використовуються для вирішення задач високо рівневої системи управління: побудова карт, пошук маршруту, визначення цілей, завдання розпізнавання і т.д.

Проаналізувавши різне доступне програмне забезпечення використовується для моделювання, конструювання та управління робототехнічними системами. Можна зробити наступні висновки:

- Серед пакетів моделювання велику частку займають пакети орієнтовані на роботу з конкретними моделями або конструкціями роботів, до таких

пакетам як правило відносяться програми та бібліотеки розроблені університетами або дослідницькими групами;

- Пакети орієнтовані на вирішення задач управління та інтегрування в бортову систему керування не надають достатніх можливостей з моделювання динаміки і кінематики роботів, їх головна функція забезпечення обміну даними між елементами бортової системи управління;

- Для синтезу програмного руху доцільно використовувати існуючі універсальні пакети моделювання, це дозволяє домогтися високого рівня достовірності побудованих моделей та якісного стійкого чисельного розв'язання рівнянь моделі. Однак ці пакети не володіють достатніми можливостями для використання їх в бортовий ЕОМ, тому доцільним є розробка таких інструментів моделювання, які б дозволяли використовувати функціонал систем моделювання в бортовий системі управління;

- Пропрієтарне програмне забезпечення дозволяє домогтися гарних результатів при вирішенні дослідницьких завдань моделювання, проте закритий вихідний код і використання пропрієтарних форматів моделей, сильно ускладнює використання таких пакетів в складі систем управління.

#### **1.4 Програмування роботів за допомогою пульта**

Промислові роботи, як правило, запрограмовані на конкретних мовах доменів, які спеціалізуються на робототехнічних завданнях. Деякі виробники також включають засоби програмування (API) загальною мовою програмування, що дозволяють налаштувати робот-контролер, а саме розробку вдосконалених користувальницьких інтерфейсів. У цьому розділі проаналізовано деякі з цих інструментів.

Компанія Yaskawa - це японський виробник сервоприводів, контролерів руху, приводів двигуна змінного струму, перемикачів та промислових роботів, позначених як "MOTOMAN", як показано на Рис. 1.1.





Рис. 1.1 Робот Motoman [45]

Motoplus SDK - це програмний пакет для розробки модулів розширення (додатки Moto-Plus) для контролерів MOTOMAN. Це покращує функціональність контролерів роботів MOTOMAN завдяки функціям, недоступним за допомогою стандартної команди Inform motion / Ladder, і дозволяє користувачеві створювати протоколи зв'язку з іншими пристроями, а також вдосконалені математичні розрахунки. Модуль розширення розроблений в середовищі ПК, використовуючи мову програмування C [45].

Основні особливості цієї програми включають:

- Інтегроване середовище розробки;
- Бібліотека MotoPlus;
- Збірник прикладів.

Advanced PP Customization SDK дозволяє створювати спеціальні користувацькі інтерфейси для навчального пульта (PP). Ця система має кілька важливих характеристик, таких як створення інтерфейсу з доступним позиціонуванням важливої інформації та елементів управління, власник функції перемикачів мови, функції журналу або декількох рівнів авторизації для вашої програми, а також пристрій, що дозволяє отримувати повідомлення про певні змінні досягачи певних позицій [45].

Ще одним важливим виробником роботів є Fanuc, який є агломератом компаній, розповсюджених у різних частинах світу. Ця компанія також пропонує власні рішення для навчальних пультів та варіанти персоналізації для свого навчального пульта під назвою iPendant [46].

iPendant дозволяє користувачеві переглядати Інтернет, дозволяючи легкий пошук рішень, він має кольоровий інтерфейс із декількома вікнами, що полегшує швидкий доступ до інформації. iPendant також дозволяє розробляти графічний інтерфейс HTML з функцією налаштування всередині пульта. Ця функція забезпечує «майстра панелі» для полегшення розробки цього НМІ [46]. На рисунку 1.2 можна побачити приклад НМІ, створеного за допомогою цієї системи.



Рис. 1.2 Робот Motoman [45]

Іншим виробником промислових роботів є ABB, це швейцарсько-шведська транснаціональна корпорація. Ця компанія також пропонує навчальні пульти для робочого інтерфейсу, ці підвіски в системі позначаються «flex pendant». Програмне забезпечення для розробки НМІ для цього виду підвіски називається «screenmaker» [48].

## 1.5 Програмні рішення для систем зміни інструментів

У цьому розділі будуть проаналізовані різні існуючі варіанти програмного забезпечення для заміни інструментів. Перше рішення є частиною набору програм RoboDK. RoboDK - це система автономного програмування, що включає програмний модуль, який допомагає програмувати програми для зміни інструментів.

Для використання цього програмного забезпечення користувач повинен вказати тип робота, замінювач інструменту та інструмент, який буде використовуватися. Після завантаження всіх цих компонентів у програму користувач повинен приєднати інструмент, що буде змінювати попередній інструмент, до робота, визначити кінцевий ефектор, використовуючи центральну точку інструменту, вбудовану в програму. Це можна розглядати як етап калібрування програми зміни інструменту [49].

Після цього першого етапу користувач повинен імпортувати тримач стійки для інструментів до користувацької рамки та визначити цілі, куди повинен йти фланець інструмента для зміни інструменту, щоб вибрати або розмістити робота. Тобто він повинен визначити місце розташування різних інструментів яке буде використовуватися. Користувач також повинен забезпечити сумісність між початковим інструментом і інструментом, який змінює інструмент, із вибраним роботом.

Тепер користувач може імітувати в програмі вибір і розміщення різних інструментів. Існує 3 різні способи зробити це, «простим способом», коли інструменти, замінювач інструменту та підставка невидимі, «напіввізуальний спосіб» де видно лише один із інструментів і "повний спосіб анімації", де видно моделювання отворів [50]. Це можна побачити на рис. 1.3, приклад цього програмного забезпечення.

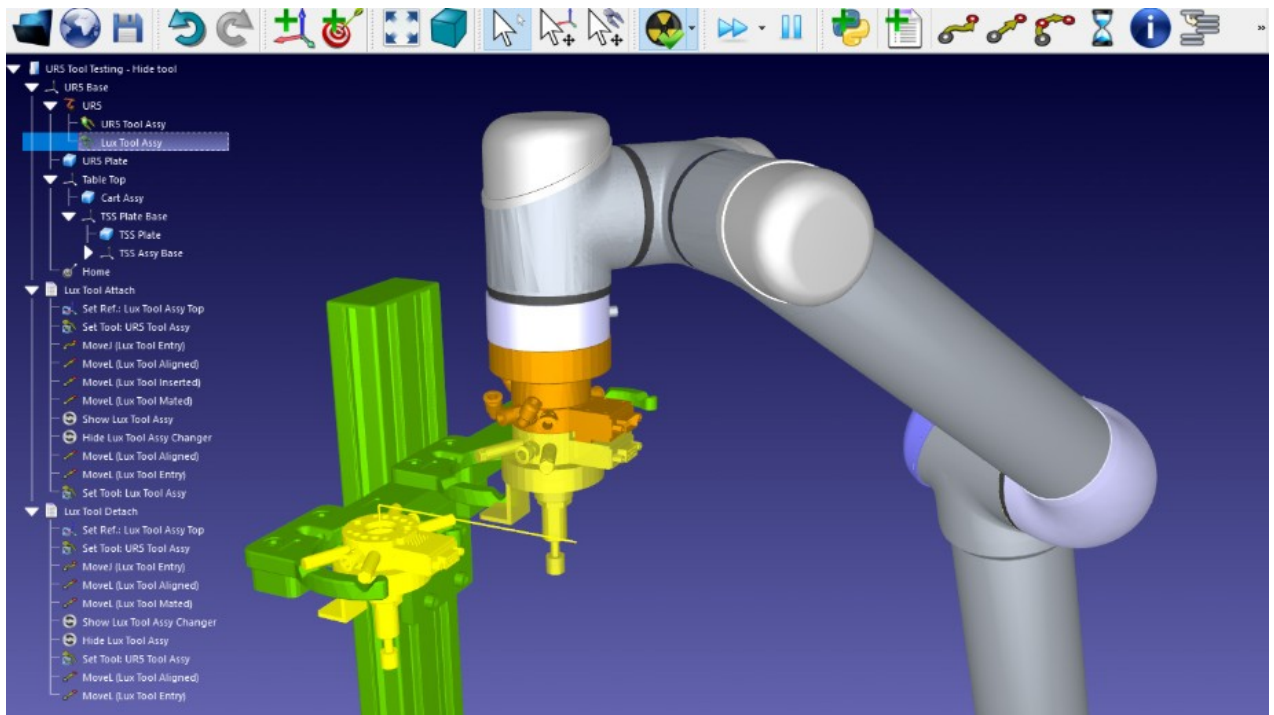


Рис. 1.3 Повна анімація RoboDK [49]

Головною перевагою цієї системи є її гнучкість, оскільки вона може працювати з більшістю доступного обладнання, а найбільшим недоліком є наявність автономної програми.

Іншим програмним рішенням є Universal Robots, автоматична заміна інструменту QC-11, це рішення також забезпечує апаратне забезпечення для його роботи, однак воно працює лише з деякими роботами, наданими цим виробником [51].

Автоматичний замінник інструменту QC-11 працює за допомогою пневматичного механізму блокування поршня для приєднання кінцевих ефекторів до важеля робота UR. Користувач програмує маніпулятор робота, щоб з'єднати сторони ведучого (робота) та інструмента (кінцевого ефектора) за допомогою 2-позиційного клапана. Користувач подає повітря в отвір блокування або розблокування від 1 до 2 атмосфери, щоб зафіксувати або розблокувати інструмент, що змінює інструмент. Це рішення також є ненадійним, що означає, що в разі нестачі тиску інструмент залишатиметься прикріпленим до робота [51] [52].

Важливо проаналізувати різні доступні на ринку замінники інструментів, однією з найцікавіших систем на ринку є “PAL RTC” [53], це автоматичний замінник інструментів, який використовується у фармацевтичному бізнесі для заміни шприців і представлений на рис 1.4.

Ця система може автоматично визначати розташування та положення певного шприца, дозволяючи правильно підібрати та розмістити цей інструмент, а також забезпечує правильне положення цього інструменту, ці 2 особливості дуже важливі у фармацевтичному та медичному бізнесі, оскільки більшість виробничих послуг на ці сектори повинно здійснюватися в чистому приміщенні, що запобігає втручанню людей [53].

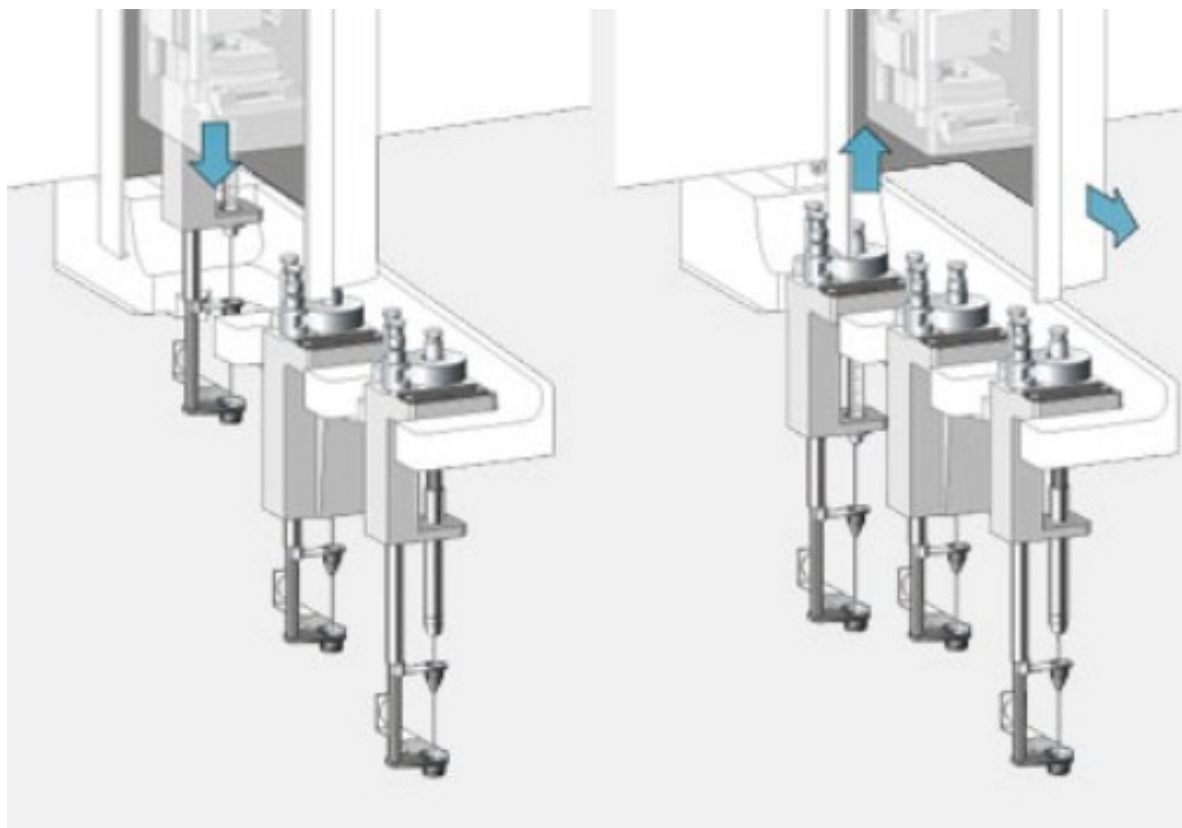


Рис. 1.4 Система PAL RTC [53]

Можна звернутися до інших апаратних засобів змінних інструментів, які можна використовувати, це AGI EOAT, який катетеризується своєю високою жорсткістю і точністю, і RSP, який має дуже швидке блокування, однак він може витримати 1250 кг маси, що є досить високим значенням [54]. Тут також

можуть бути використані системи змінних інструментів від zimmet, а саме серія WWR, яка має широкий спектр можливостей для роботи з різними розмірами інструментів [55], або інструменти для заміни інструментів від Schunk, а саме серія SWS [56].

## **2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА**

Проаналізувавши сучасний рівень техніки та наявні на ринку компоненти, можна розпочати розробку інструмента для зміни інструментів, який відповідає технічним потребам, для цього спочатку потрібно розробити тримач для всіх інструментів, задіяних в автоматизованих лініях.

Потрібно взяти до уваги багато різних аспектів. По-перше, необхідно знати, який робот буде використовуватися, ця необхідність полягає в тому, що різні роботи мають різні типи рухів та різні види продуктивності.

Також важливо знати, які інструменти будуть використовуватися, це пов'язано з різною геометрією, вагою та центром маси, які можуть мати різні інструменти. Інструмент може залишатися збалансованим у конкретному тримачі, але може бути незбалансованим в іншому, тому для цього повинні бути представлені різні рішення.

Через різноманітність інструментів може існувати безліч дійсних рішень, залежно від того, який інструмент необхідний, найкращим варіантом може бути навіть комбінація рішень.

Інструменти будуть пов'язані за допомогою комплексів для зміни інструментів, це універсальна система, яка працює як місток між інструментом і роботом, тобто за допомогою тієї самої інструментальної машини можна підключати різноманітні інструменти та різноманітних роботів. Ця система значно покращує здатність автоматизованої лінії реагувати на зміни щодо вимог, збільшуючи її гнучкість.

### **2.1 Технічні характеристики АBB 2600**

Роботом, який запропоновано для використання, є АBB 2600 20 кг 1,65 м, цей робот має максимальне корисне навантаження 20 кг і максимальну робочу зону 1,65 м. Це шарнірний робот, що означає, що робот рухається, обертаючи суглоби. Цей тип роботів може мати мінімум 2 степені рухомості та максимум

10 степеней [57], ABB 2600 має 6 степеней свободи і це можна побачити на рис 2.1.



Рис. 2.1 ABB 2600 20kg 1.65m [58]

Існують різні аспекти робота, які можна проаналізувати, проте найбільш актуальними технічними даними для цієї роботи є параметри продуктивності, які оцінюють здатність робота виконувати певний рух.

Важливим параметром є точність позиціонування, яка дає інформацію про здатність робота досягати бажаної позиції, виражаючи відхилення між командною позицією і середнім значенням досягнутих позицій при наближенні до командної позиції з того ж напрямку. Цей параметр розділений на дві частини [59]:

- різниця між командною позицією та центром кластера досягнутих точок, тобто точністю позиціонування;
- різниця між кутовою орієнтацією команди та середньою величиною досягнутої кутової орієнтації.



$$\Delta L = \sqrt{(\bar{x} - x_c)^2 + (\bar{y} - y_c)^2 + (\bar{z} - z_c)^2} \quad (2.1)$$

де:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} * \sum_{j=1}^n x_j \quad (2.2)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} * \sum_{j=1}^n y_j \quad (2.3)$$

$$\bar{z} = \frac{1}{n} * \sum_{j=1}^n z_j \quad (2.4)$$

де:

- $x, y, z$  - координати центра скупчення точок, отримані після повторення тієї ж позиції  $n$  разів;
- $x_c, y_c, z_c$  - координати позиціонування команди;
- $x_j, y_j, z_j$  - координати  $j$  отриманих позицій

Тому цей параметр виражає здатність робота досягати бажаної позиції, погана точність позиціонування (велике значення цього параметра) означає, що робот не досягне бажаної позиції.

Іншим важливим параметром для аналізу є повторюваність позиції, цей параметр вимірює здатність робота завжди досягати одного і того ж положення і виражає близькість узгодженості між положеннями та орієнтаціями досягнутих позицій після  $n$  повторних відвідувань тієї самої командної позиції в тому ж напрямку. Для даної позиції повторюваність ( $r$ ) виражається формулою [59]:

- значення  $r$ , яке є радіусом сфери, центром якої є барицентр і яке обчислюється, як видно з рівняння 2.5.
- розкид кутів  $\pm 3S_a, \pm 3S_b, \pm 3S_c$ , щодо середніх значень  $a, b, c$ , де  $S_a, S_b, S_c$  - стандартні відхилення:

$$r = \bar{x} + 3S_d \quad (2.5)$$

$$\bar{D} = \frac{1}{n} * \sum_{j=1}^n D_j \quad (2.6)$$

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (D_j - \bar{D})^2}{n - 1}} \quad (2.7)$$

$$r_a = \pm 3S_a = \pm 3 * \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (a_j - \bar{a})^2}{n - 1}} \quad (2.8)$$

$$r_b = \pm 3S_b = \pm 3 * \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (b_j - \bar{b})^2}{n - 1}} \quad (2.9)$$

$$r_c = \pm 3S_c = \pm 3 * \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (c_j - \bar{c})^2}{n - 1}} \quad (2.10)$$

Процедура така ж, як і в першому варіанті. Для кожної позиції обчислюються  $r$  та кутові відхилення  $r_a$ ,  $r_b$  та  $r_c$ .

Хороше значення повторюваності позиції, а погане - точності позиції означає, що робот завжди буде досягати однієї і тієї ж пози, однак ця поза не є бажаною, з іншого боку, погане значення повторюваності позиції та хороше значення позиції точність означає, що робот завжди буде навколо бажаної позиції, але завжди в різних позах.

Досить просто зрозуміти, чому ці параметри дуже важливі при аналізі робота. Якщо робот досягне інструменту, який він повинен взяти в дещо іншому положенні, він може не вдатися правильно його взяти, тому що всі зв'язки, які потрібно встановити між цим інструментом і роботом, будуть трохи розірвані. Такий випадок може навіть пошкодити робота або інструмент.

Іншими параметрами можна вважати такі, як повторюваність лінійного шляху, що стосується здатності робота завжди проходити один і той же лінійний шлях. Точність лінійного шляху, що оцінює здатність робота маневрувати через бажаний лінійний шлях. Час стабілізації пози, що вимірює час між роботом, який досяг бажаної пози, і моментом, коли робот зупиниться в цій позі. Цей параметр є важливим для аналізу, наприклад, робот з поганою лінійною точністю траєкторії може пошкодити інструмент, намагаючись взяти його у тримача, який має лінійний слот.

Аналізуючи таблицю 1, таблицю 2 і рисунок 2.2, можна побачити, що точність позиціонування для цього робота становить 0,03 мм, а повторюваність пози 0,04 мм, отже, при проектуванні тримач інструмента для зміни інструменту, будь-які прорізи або шляхи що робот піде, повинен мати мінімум 0,04 мм зазору між ними, тим самим гарантуючи, що робот завжди зможе досягти пункту призначення, не натикаючись ні на що.

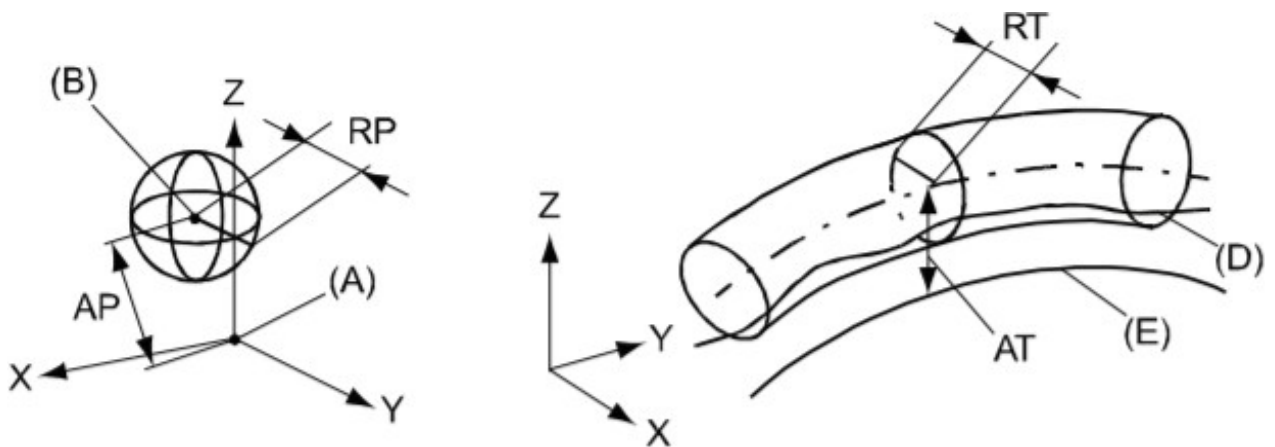


Рис. 2.2 Ілюстрація параметрів продуктивності [58]

Таблиця 1: Параметри продуктивності [58]

Pos	Description	Pos	Description
A	Programmed position	E	Programmed path
B	Mean position at program execution	D	Actual path at program execution
AP	Mean distance from programmed position	AT	Max deviation from E to average path
RP	Tolerance of position B at repeated positioning	RT	Tolerance of the path at repeated program execution

Таблиця 2: Значення параметрів продуктивності [58]

Description	IRB 2600			IRB 2600ID	
	-20/1.65	-12/1.65	-12/1.85	-15/1.85	-8/2.00
Pose repeatability, RP (mm)	0.04	0.04	0.04	0.026	0.023
Pose accuracy, AP <sup>i</sup> (mm)	0.03	0.03	0.03	0.014	0.033
Linear path repeatability, RT (mm)	0,13	0.14	0,16	0.30	0.27
Linear path accuracy, AT (mm)	0.55	0.60	0.68	0.80	0.70
Pose stabilization time, (PSt) to within 0.2 mm of the position (s)	0.00	0.02	0.03	0.05	0.063

<sup>i</sup> AP according to the ISO test above, is the difference between the reached position (position manually modified in the cell) and the average position obtained during program execution.

## 2.2 Технічні характеристики пристрою зміни інструментів

Як було згадано в попередньому розділі, інструменти, які будуть використовуватися, з'єднанні із інструментом для заміни інструментів, цей пристрій для зміни інструментів - це WWR50 від Zimmer, і він складається з двох різних частин, перша - це пристрій для зміни інструментів який тримає сам інструмент, другий - це пристрій для зміни інструменту, який з'єднаний з роботом.

Пристрій для зміни інструменту з'єднаний з інструментом за допомогою гвинтів, на рисунку 2.3 можна побачити основні розміри цього інструменту.

Ця система має нормалізований набір отворів, які позначені на фігурі 7 цифрою 11, що дозволяє фізично не постійно з'єднуватися з інструментом.

Пристрій для зміни інструменту, який з'єднаний з роботом - це частина, з'єднана кулаком робота за допомогою нормалізованого набору гвинтів, позначених на рисунку 2.3, цифрою 1.

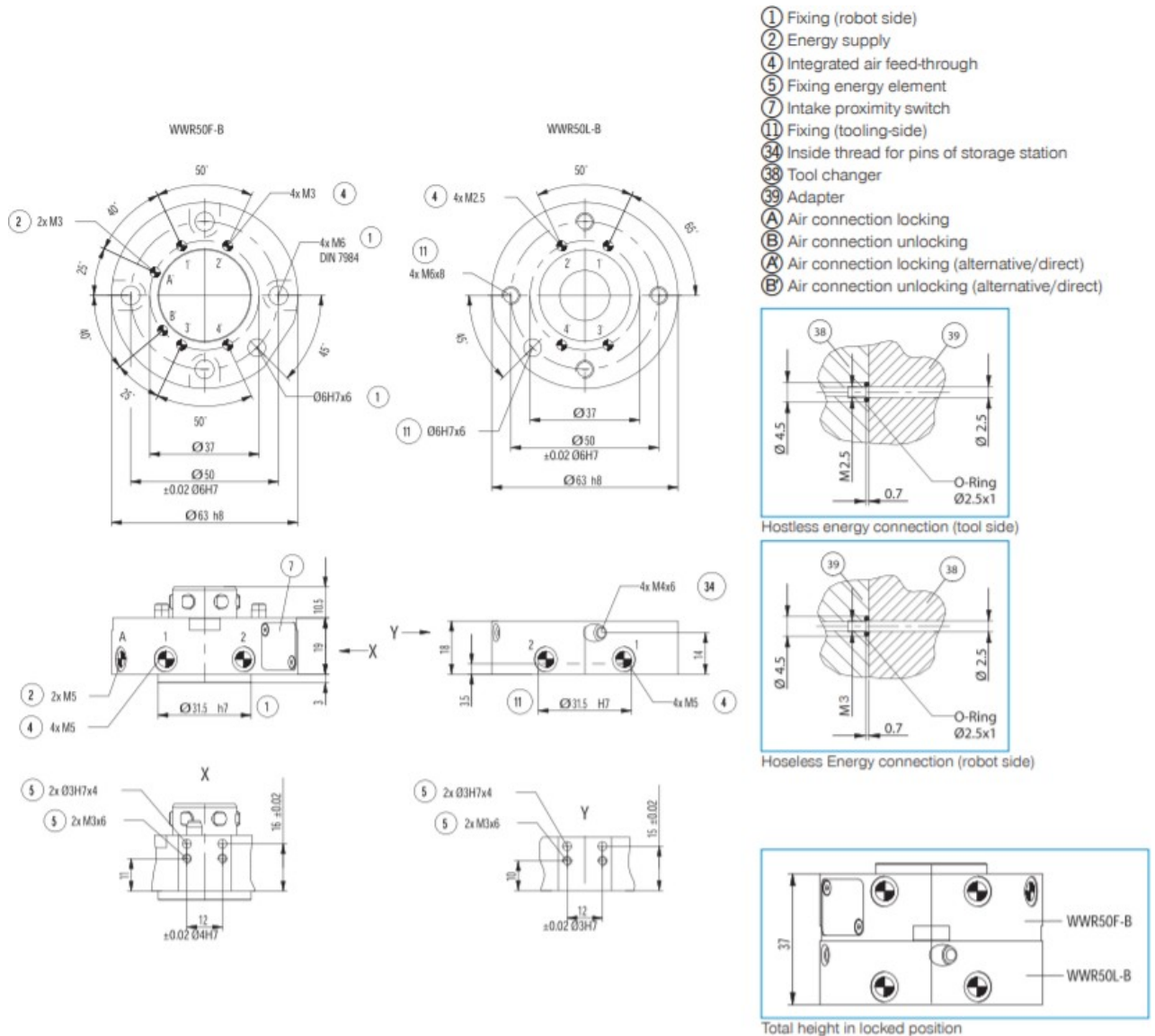


Рис. 2.3 Основні розміри першої частини змінного унструменту [55]

Змінювач інструментів використовує пневматичний привід для встановлення зв'язку між обома його частинами. Друга частина пристрою для заміни інструментів має спеціальний набір кульок, які використовуються для встановлення зв'язку між обома частинами інструмента.

Коли користувач хоче з'єднати першу частину з другою, він вставляє фланець першого всередину другого, потім пневматичний циліндр із подвійним ефектом штовхає набір металевих кульок всередину особливо розмірених прорізів як в першій, так і в другій частині пристрою для зміни інструменту, що забезпечує сильну силу зчеплення між обома частинами цього компонента [55].

Цей пристрій для заміни інструментів також є надійним, це означає, що у випадку відсутності тиску обидві сторони інструмента для зміни інструменту залишаються зчепленими, це пов'язано з високою міцністю на зтягування та дуже малим зазором між металевими сферами. Щоб розділити 2 частини, пневматичний циліндр повинен бути переміщений у протилежному напрямку, порушуючи зчеплення між його частинами.

Переміщення зчеплення можна побачити на рис. 2.4, 2.5, 2.6 і 2.7. На рисунку 2.4 перша та друга частина пристрою для зміни інструменту торкаються один одного, але не з'єднані. На рисунку 2.5 пневматичний циліндр спрацьовує, штовхаючи металеві сфери всередину пристрою для зміни інструменту, на рисунку 2.6 пристрій для зміни інструменту повністю зчеплений і готовий до використання. На останньому рисунку 2.7 ми бачимо зворотний рух циліндра і звільнення з'єднання.

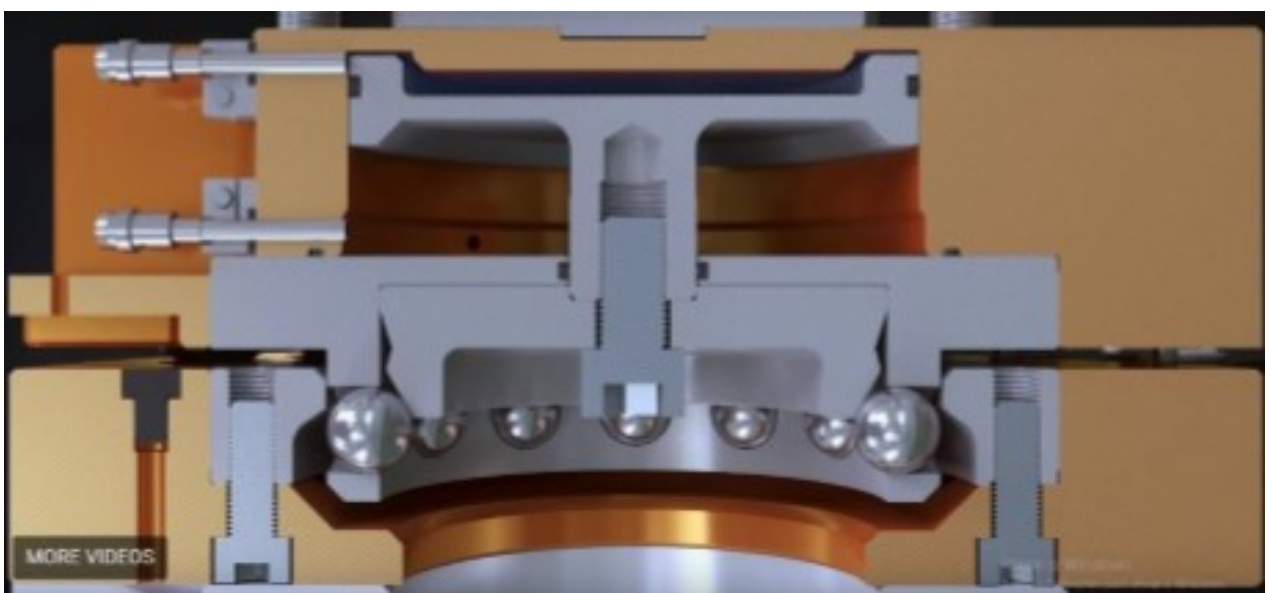


Рис. 2.4 Пристрій для зміни інструменту перед зеднанням

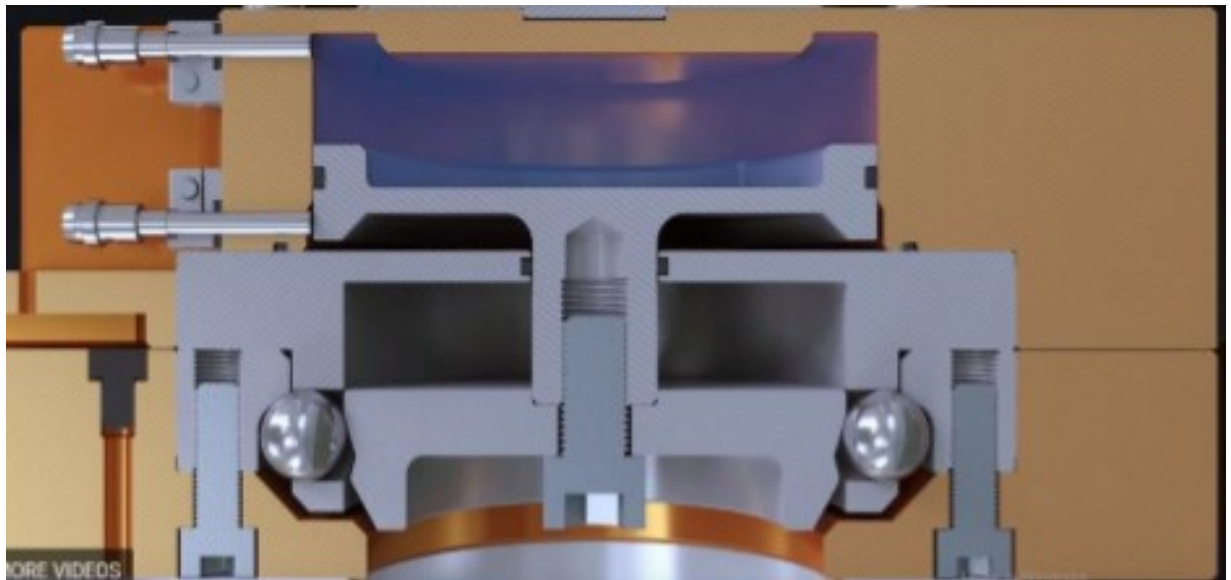


Рис. 2.5 Пневматичний циліндр, що просувається до другої частини зміни інструменту

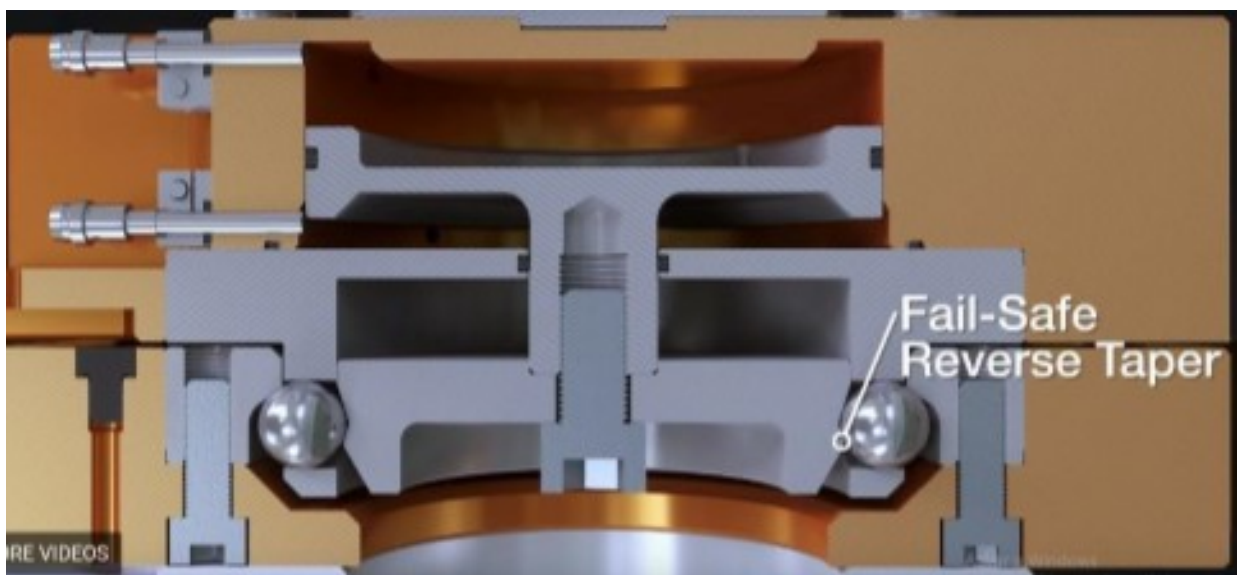


Рис. 2.6 Механізм виходу з ладу

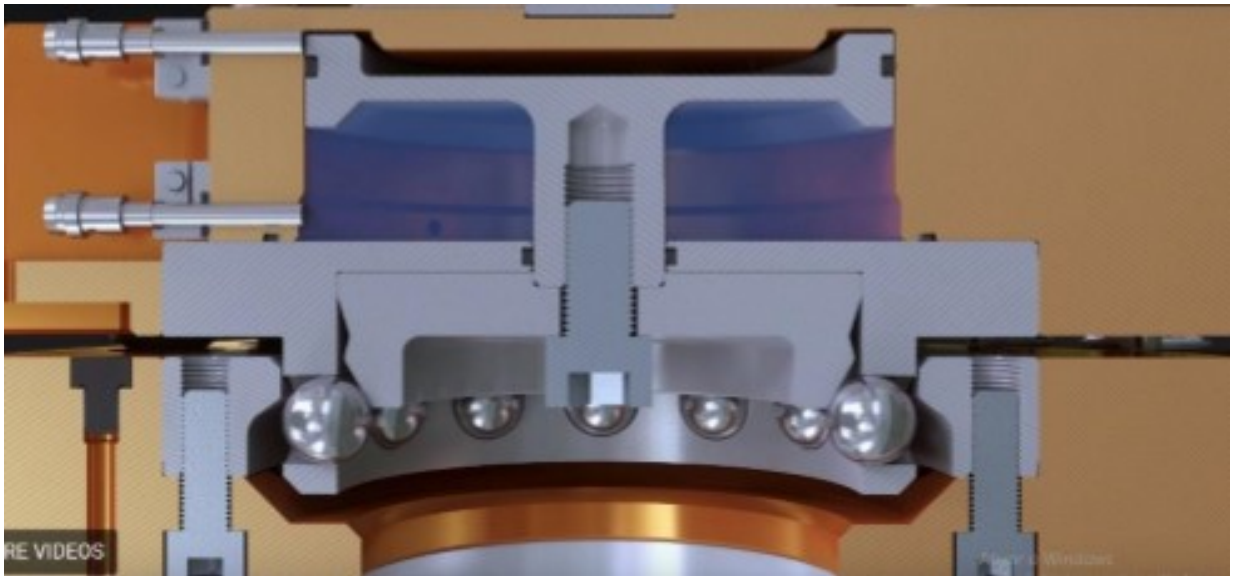


Рис. 2.7 Процес розеднання

WWR50 також має набір отворів, позначених на рисунку 2.3 як 34, для вставки компонентів, які дозволять зберігати комбінацію пристрою для зміни інструменту та інструменту у відповідній станції зберігання [55].

На рисунку 2.8 ми зображене тривимірне зображення пристрою для зміни інструментів із прикріпленими шпильками, після чого цей інструмент для заміни інструментів можна помістити в тримач за допомогою цих шпильок.

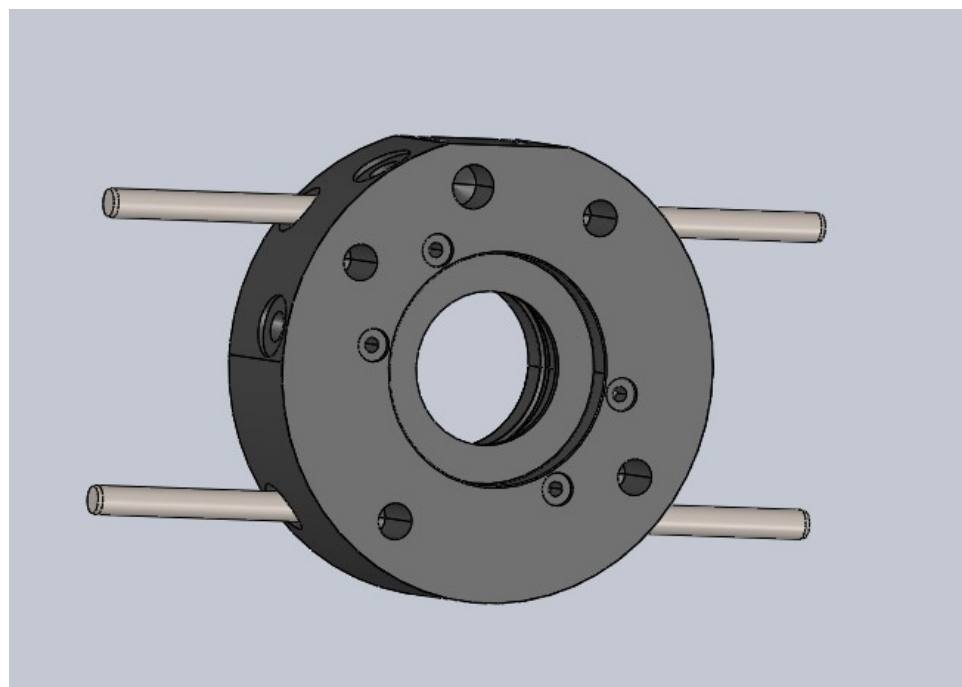




Рис. 2.8 Вид пристрою для зміни інструменту з прикріпленими шпильками в  
Solidworks

Цей приклад був створений за допомогою Solidworks, одного з основних інструментів цієї роботи. Ми бачимо, що використовувані шпильки були прикладом, можна підключити різні пристрої, щоб зробити більш придатну систему фіксації.

## **2.3 Технічні характеристики тримача інструменту для пристрою зміни інструментів**

### **2.3.1 Вертикальний тримач**

Тепер можна створити початковий дизайн для тримача інструментів. По-перше, проаналізувавши запропонований тримач Zimmer як стандартний тримач для такого роду пристрій для зміни інструментів. Цей тримач є вертикальним, що означає, що як тільки інструмент поміщений у тримач, робочий кінець буде розташовуватися вертикально. Це можна проілюструвати на рисунку 2.9.

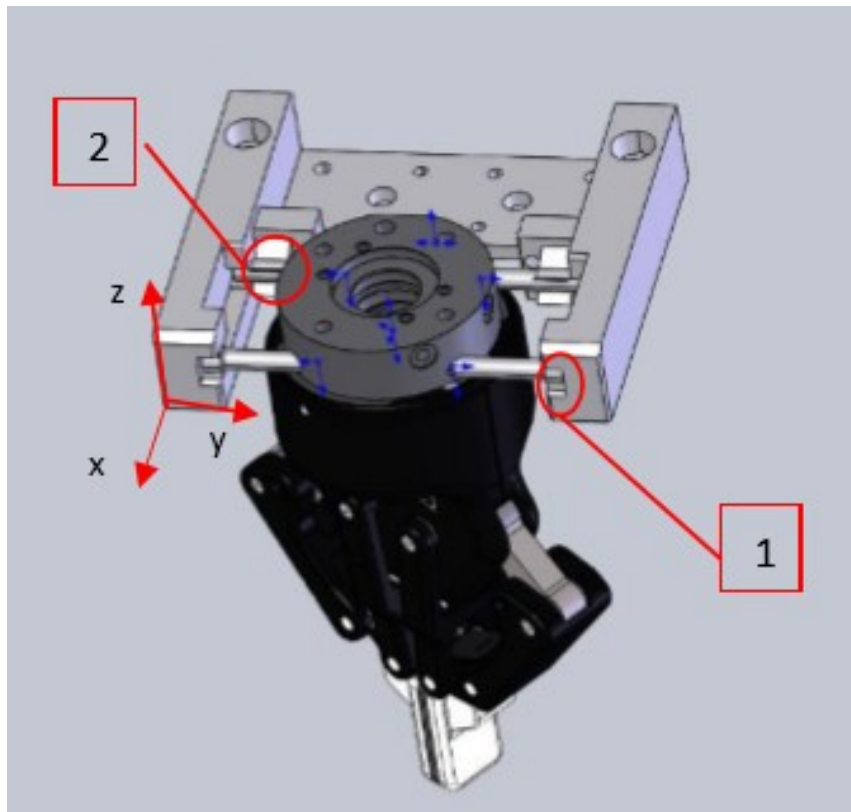
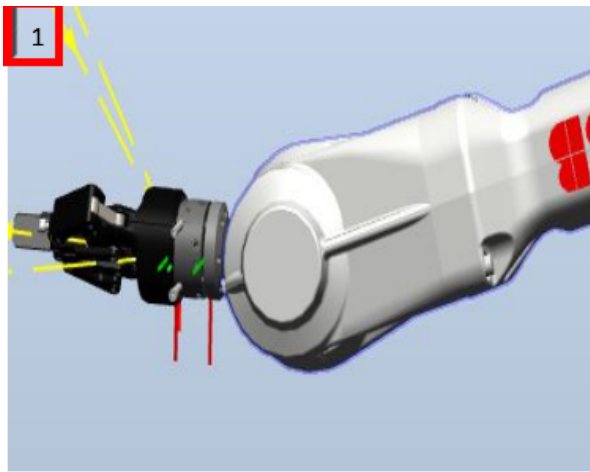


Рис. 2.9 Стандартний тримач

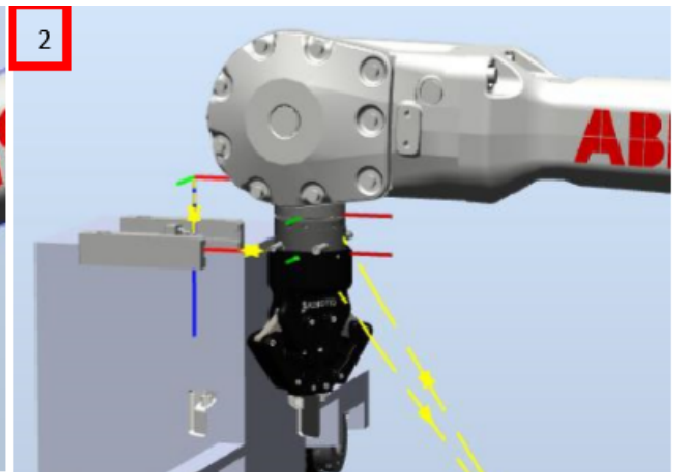
Тримач має 2 канавки, паралельні одна одній, позначені на рисунку 2.9 цифрою 1, і вимагає використання 4-х шпильок, прикріплених до пристрою для зміни інструменту. У кінці цих пазів є 2 муфтами, де будуть закріплені штирі, вони виготовлені з гнучкого металу і мають функцію стабілізації для пристрою для зміни інструменту. На рисунку 2.9 це ідентифікується цифрою 2.

Хоча фланець робот буде розміщений вертикально, переміщення до місця інструменту в рамі є горизонтальним, тобто рух повинен здійснюватися відповідно до осі x, а не осі z.

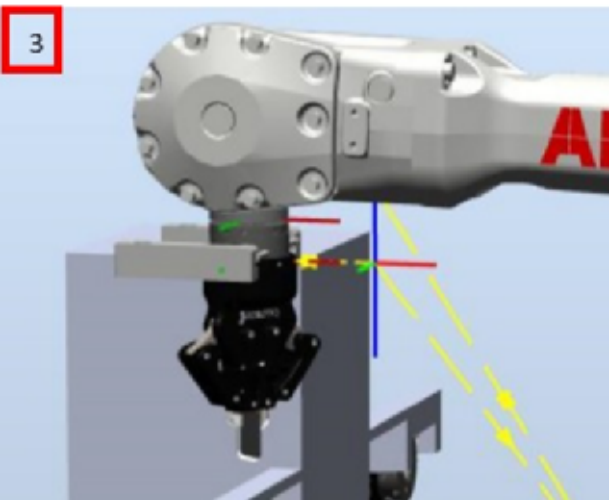
На рисунку 2.10 видно, як робот повинен рухатись сам, щоб розмістити інструмент. На рисунку 2.10,a робот просто тримає інструмент, на рисунку 2.10,b робот повернувся інструментом донизу і готується увійти в тримач. На рисунку 2.10,c інструмент увійшов у тримач, переміщення між рисунку 2.10,b і рисунку 2.10,c повинно бути лінійним, оскільки канавки також є лінійними. На рисунку 2.10,d інструмент розміщено, і робот тепер може повернутися у вихідне положення.



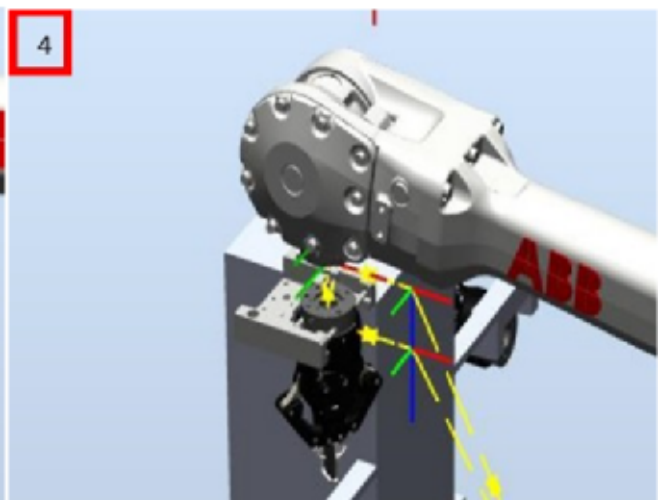
(a) Перша позиція робота



(b) Друга позиція робота



(c) Третя позиція робота



(d) Четверта позиція робота

Рис. 2.10 Рухи для розміщення інструменту

Потрібно звернути увагу, що значення переміщень робота не згадувались, що пов'язано з різноманітністю можливих інструментів, які можна використовувати в тримачі. Великий інструмент може вимагати, щоб робот був розміщений досить далеко від тримача, перш ніж він ініціює лінійний рух, це інструмент на рисунку 2.10, тому його можна безпечно розмістити. Менший інструмент може не вимагати таких додаткових зусиль.

Також важливо посилатися на лінійний рух, який присутній за допомогою цього тримача. Як було сказано раніше, певні параметри продуктивності повинні дотримуватися, щоб забезпечити безпечне використання робота,

великий лінійний рух може створити певні труднощі, однак, і через досить хорошу точність робота, це не повинно бути проблематичним.

Виймання інструменту з тримача у всьому схоже на рух для розміщення інструменту, за винятком того, що здійснюється у зворотному напрямку, він рухається від  $d$  до  $a$ , будучи інструментом, вибраним у тій частині руху, на яку посилається  $c$ .

Вертикальний тримач має деякі переваги щодо горизонтального, оскільки він забезпечує дуже стабільне положення інструменту завдяки наявності 4 точок тримача, однаково розділених у просторі. Програмування робота також не викликає багатьох занепокоєнь, оскільки воно не вимагає ніяких незручних рухів від робота, а для інструментів спектр руху досить малий. Єдиний виняток - коли тримач розміщений дуже високо в стійці, це розташування спричинить певні труднощі для рухів ланок робота.

Є деякі недоліки щодо горизонтального тримача, вони в основному полягають в потребі виробничих площ. Через вертикальний розміщення інструменту простір під ними не можна використовувати для збереження більшої кількості інструментів, оскільки більший кінець робота може зіткнутися із стоячими інструментами.

Використовуючи вертикальне розташування, кожен інструмент повинен зберігатися поруч. Використання простору можна покращити, якщо є також горизонтальний тримач для зберігання інструментів, що дозволяє зберігати як поруч, так і інструмент під інструментом.

### **2.3.2 Горизонтальний тримач 1**

Запропоновано горизонтальне рішення, що дозволяє більш гнучко зайняти простір багатофункціональної лінійки продуктів. У цьому рішенні використовуються чотири шпильки  $m4$ , з'єднані з пристроєм для зміни інструменту в отворах, позначених на рис. 2.3 з номером 34, щоб забезпечити стабілізацію інструменту. Основна рама у вигляді прямокутної виступу з дещо

меншим зазором, ніж відстань між шпильками пристрою для зміни інструменту.

В основній рамі є 4 отвори тб, куди можна вставити гвинти, щоб забезпечити з'єднання між тримачем та стійкою, куди буде встановлюватися тримач.

Змінювач інструментів буде щільно ковзати всередині цього зазору. Через невелику різницю між зазором у рамі та зазором між шпильками пристрою для заміни інструменту буде застрягати в рамі і не зможе обертатися.

В основній рамі також є спеціальні муфти на кінці зазору, які використовуються у вертикальному тримачі і мають функцію підвищення стійкості та ускладнення можливого переміщення шпильок. Цю структуру можна побачити на рисунок 2.11, 2.12 та 2.13.

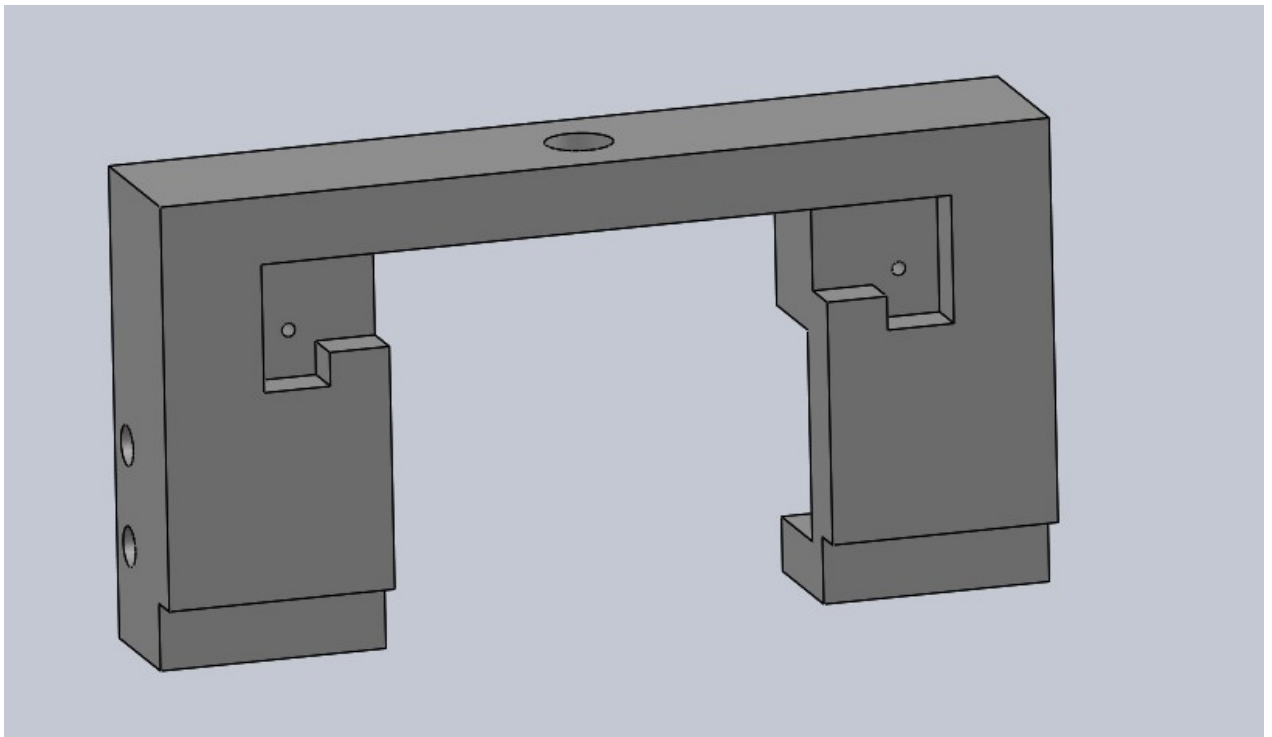


Рис. 2.11 Горизонтальне рішення без інструменту

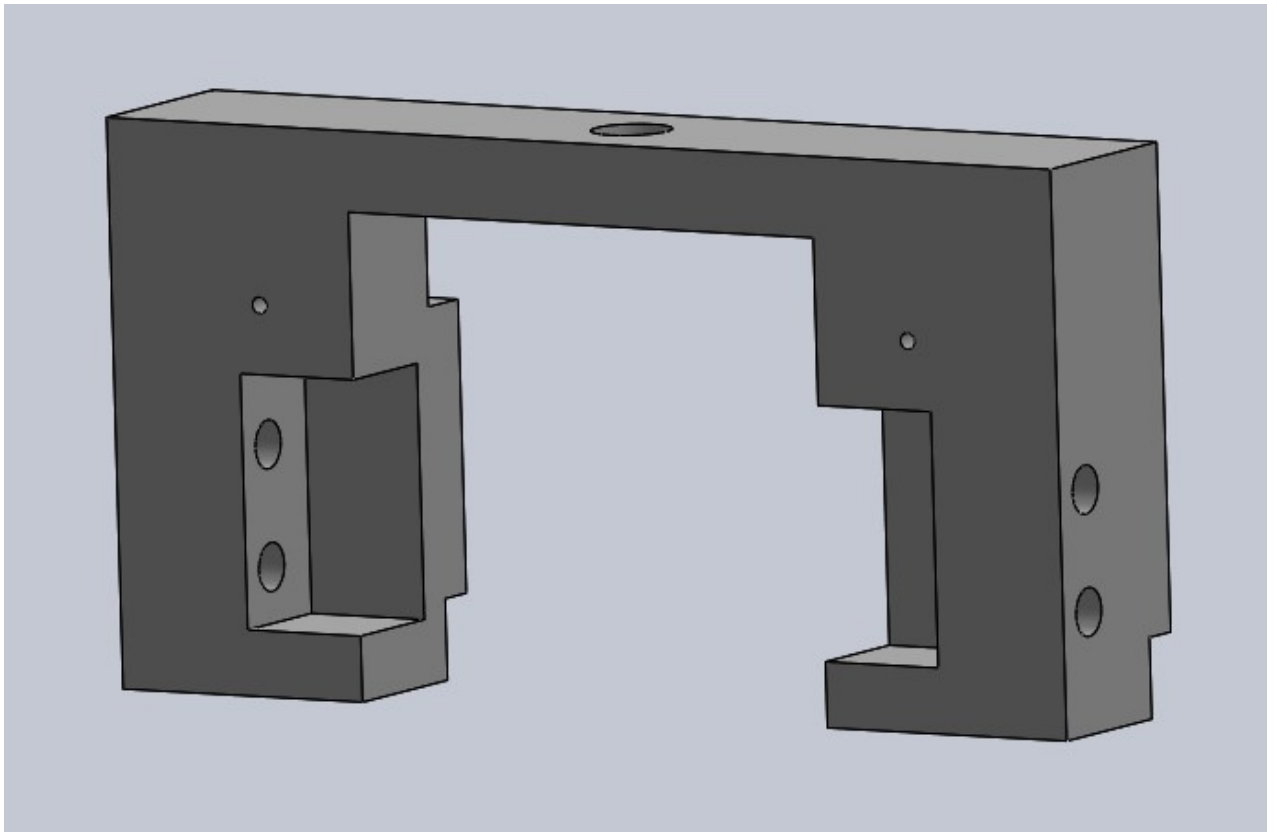


Рис. 2.12 Горизонтальне рішення без інструменту 2

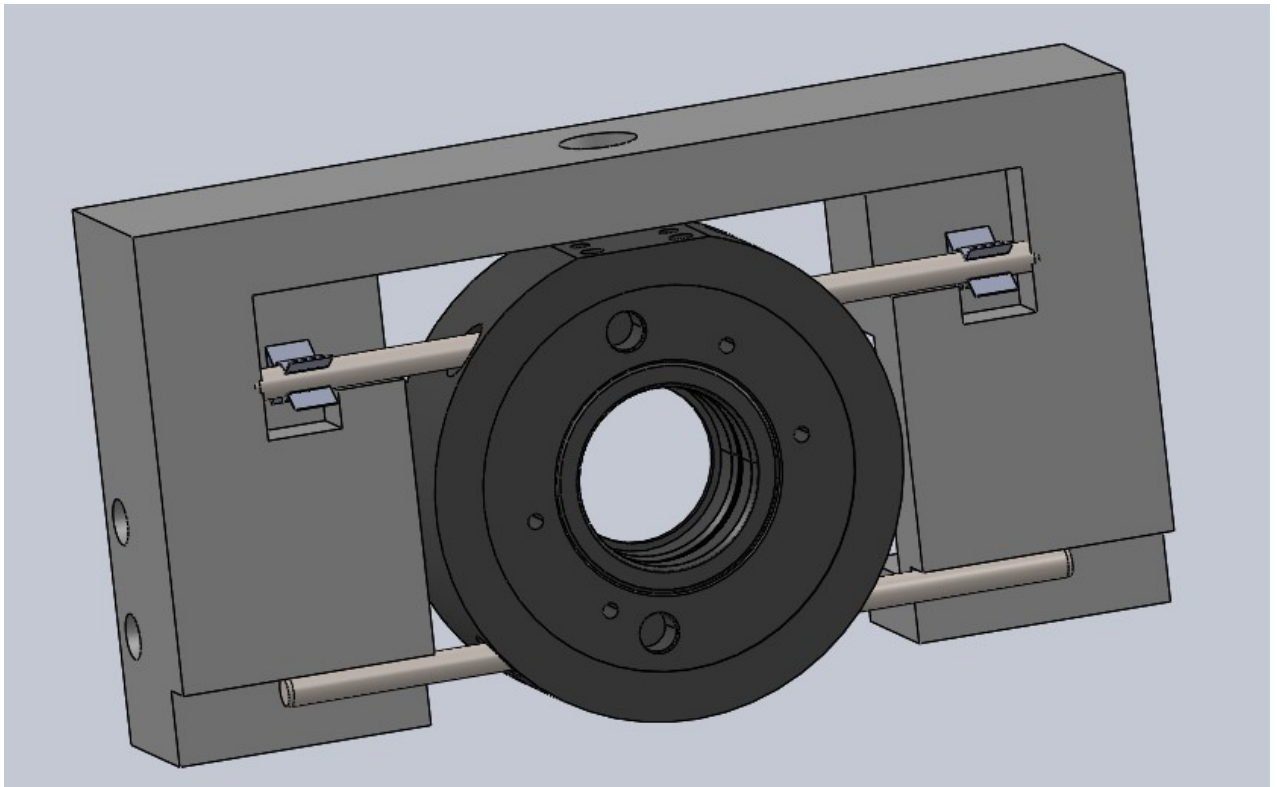


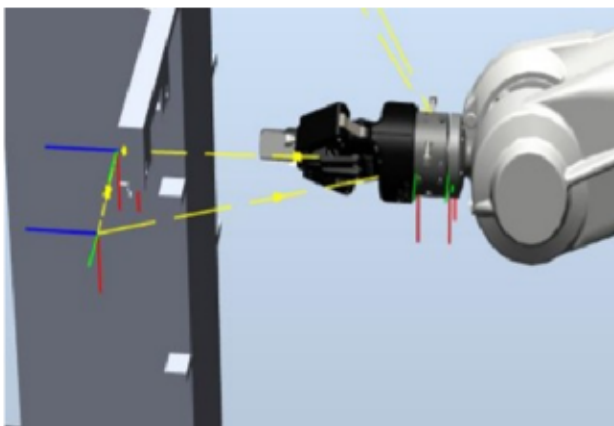
Рис. 2.13 Горизонтальне рішення з інструментом

Аналізуючи рисунок 2.13, можна побачити невеликий круговий отвір у верхній частині рами, в цьому отворі буде вставлений датчик наближення, який потім з'єднаний з контролером, даючи інформацію про існування або відсутність інструменту в цьому фіксаторі.

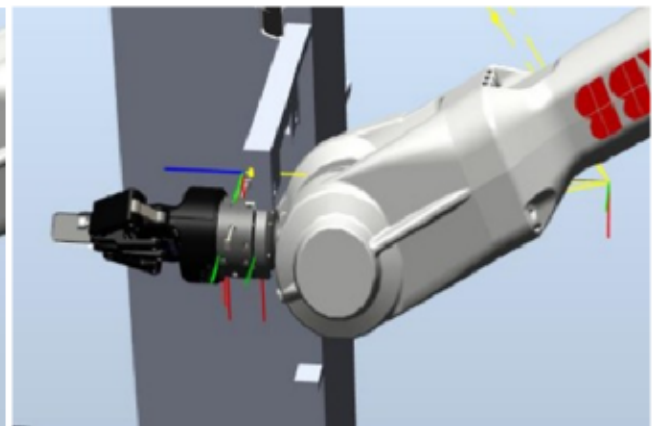
Це рішення пропонує очевидну перевагу щодо зайняття простору, особливо в поєднанні з вертикальним тримачем, оскільки інструменти можуть бути щільніше упаковані. Це також збільшує гнучкість інструментів, оскільки це дозволить отримати більш широкий спектр можливостей при виборі місця зберігання кожного з інструментів.

Однак можуть виникати деякі проблеми щодо стійкості інструменту при розгляді дуже важкого інструменту через можливість обертання або ковзання інструменту при зберіганні в тримачі.

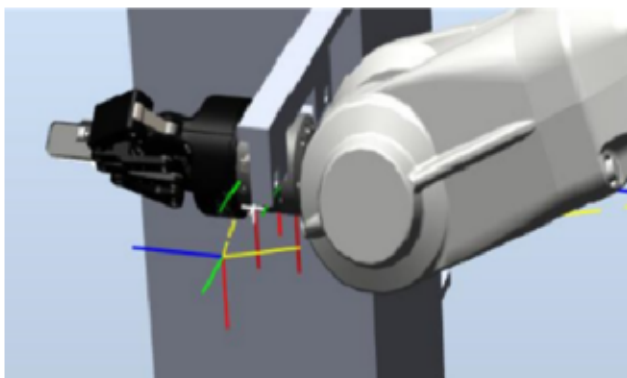
На рисунку 2.14 ілюструється рух робота для розміщення інструменту в горизонтальному положенні.



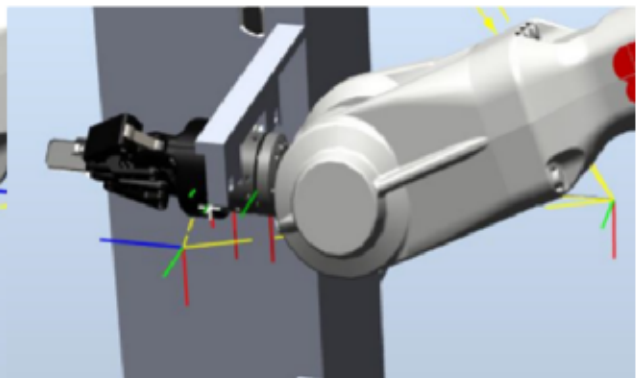
(a) Перша позиція робота



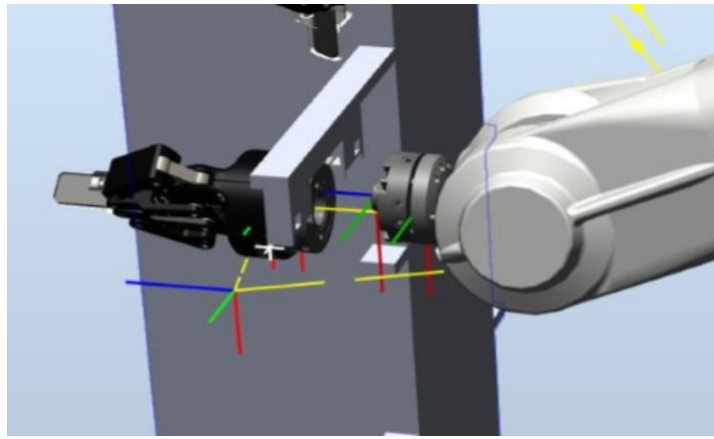
(b) Друга позиція робота



(c) Третя позиція робота



(d) Четверта позиція робота



(e) П'ята позиція робота

Рис. 2.14 Послідовність рухів робота для розміщення інструменту

На рисунку 2.14,а робот просто стоїть перед тримачем, після чого він переміщується в положення трохи більш просунуте, ніж місце тримача, це положення ілюструється рисунком 2.14,б.

Після того, як робот досягне цього положення, він рухається вгору до місця, де знаходяться шпильки точно на тому самому рівні, що і зазор, після чого він рухається всередині цього зазору, поки не досягне металевих муфт. Як тільки це буде зроблено, він звільняє інструмент, вільно повертаючись у вихідне положення.

Витяг інструментів у всьому схожий на цей тип руху, за винятком того, що він робиться у зворотному напрямку, як це було для звичайного тримача.

### 2.3.3 Горизонтальний тримач 2

Обидва рішення використовують 4 прильки. Це може бути цікаво для розробки рішення, яке не вимагає такої великої кількості штифтів. Інтерес до використання меншої кількості штифтів обумовлений тим, що ці інструменти будуть використовуватися для маніпулювання об'єктами в реальній робочій області, отже, ці шпильки можуть врізатися в об'єкти, роблячи програмування руху робота більш складним.



Друге запропоноване рішення має на меті усунути необхідність 4 шпильок, використовуючи замість цього лише 2. Замість використання 4 раніше згаданих шпильок було використано лише два, кожен з них у своєму подальшому кінці має квадратну гайку. Тримач має два спеціальні прорізи для розмірів, які є трохи меншими, ніж сторона квадратної гайки. Є також дві муфти в кінці основної рами, знову ж таки призначені для підвищення стійкості пристрою для зміни інструменту, як тільки він буде розміщений там.

Щоб помістити інструмент у тримач, шпильки та квадратні гайки ковзають усередині отворів у тримачі, доки він не досягне муфт. У цьому положенні квадратні гайки уникають обертання інструменту через щільний зазор між ними і прорізами в тримачі, муфти знову допоможуть стабілізувати інструмент і запобігти будь-якому переключу системи.

На рисунку 2.15 зображено цей тримач.

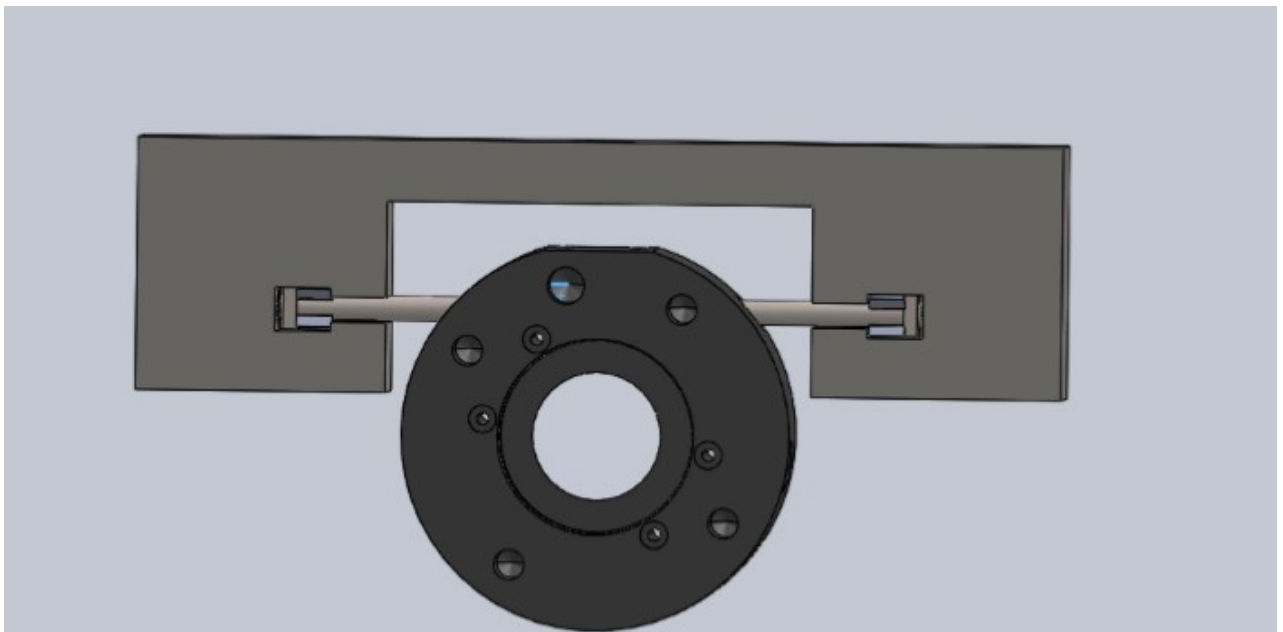


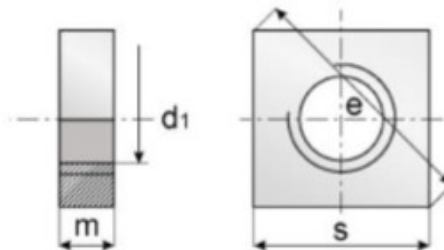
Рис. 2.14 Друге горизонтальне рішення з пристроєм

Рух робота для вибору та розміщення інструменту схожий на рух, представлений у першому рішенні.

Тепер необхідно визначити, який саме квадратний гайка буде використовуватися.

Аналізуючи таблицю 3, із гайками, нормалізованими відповідно до DIN 562, можна побачити існування лише 4 різних типів гайок, вибір гайки, яку збиралися використовувати, був зроблений з урахуванням діаметра штифта, це має бути 4 мм, для цього буде використовуватися гайка m4.

Таблиця 3: Гайка квадратна - DIN 562



d1	M2	M2,5	M3	M3,5	M4	M5
e	5	6.3	7	7.6	8.9	10.2
s	4	5	5.5	6	7	8
m	1.2	1.6	1.8	2	2.2	2.7

Мінімальний розмір зазору відповідає значенню “s”, в даному випадку 7 мм, однак, і, завдяки експлуатаційним параметрам, необхідно мати більший зазор для безпечного розміщення інструменту в тримачі. Мінімальне значення цієї різниці становить 7,04 мм, однак важливо мати запас при розмірюванні цих прорізів.

Враховуючи коефіцієнт запасу 10, зазор між гайкою та шпильками дорівнює 0,4 мм, а загальний зазор 7,4 мм. Різниця між верхньою частиною гайки та верхньою частиною прорізу дозволить зробити невелике обертання гайки, а отже, і невелике обертання інструменту. При цьому коефіцієнті запасу 10 буде поворот на 3,38 градуса.

Якщо використовується лише коефіцієнт запасу 2, кут повороту дорівнює 0,66 градуса, такий вид повороту слід враховувати при виборі та програмуванні такого типу тримача для пристрою для зміни інструменту, однак, це не є основним фактором при виборі цього показника.

### 2.3.4 Горизонтальний тримач 3

Третє рішення має схожість з другим рішенням, тримач має подібну форму, а пристрій для заміни інструменту використовує комбінацію двох пильок і квадратних гайок, однак це рішення робить ще один крок у стабілізації та центруванні пристрою для зміни інструменту.

У цьому випадку, замість використання звичайних квадратних гайок, він використовувався як спеціально сконструйовані квадратні гайка з порожниною на одній з її граней, такою, яка протиставляється центру інструмента. Ця порожнина має круглу форму і за своєю конструкцією створює егоцентричний механізм.

Для цього в тримачі є дві шпильки, які мають додаткову форму порожнини в гайках і з'єднані з основною рамою жолобних пружин тримача, ці штирі розташовані в кінці прорізу.

Рух розміщення інструменту в тримачі у всьому схожий на обидва горизонтальних рішення, він також має однакову муфту в кінці прорізу, куди ковзають штифти.

Однак у цьому рішенні, коли робот досягає кінця прорізу, де розташовані спеціальні штирі, між гайками і штифтами здійснюється зв'язок. Завдяки пружинам, що мають однакову міцність з кожного боку, інструмент для заміни інструментів буде центрований в основній рамі тримача. Це рішення можна побачити на рисунку 2.15 та рисунку 2.16.

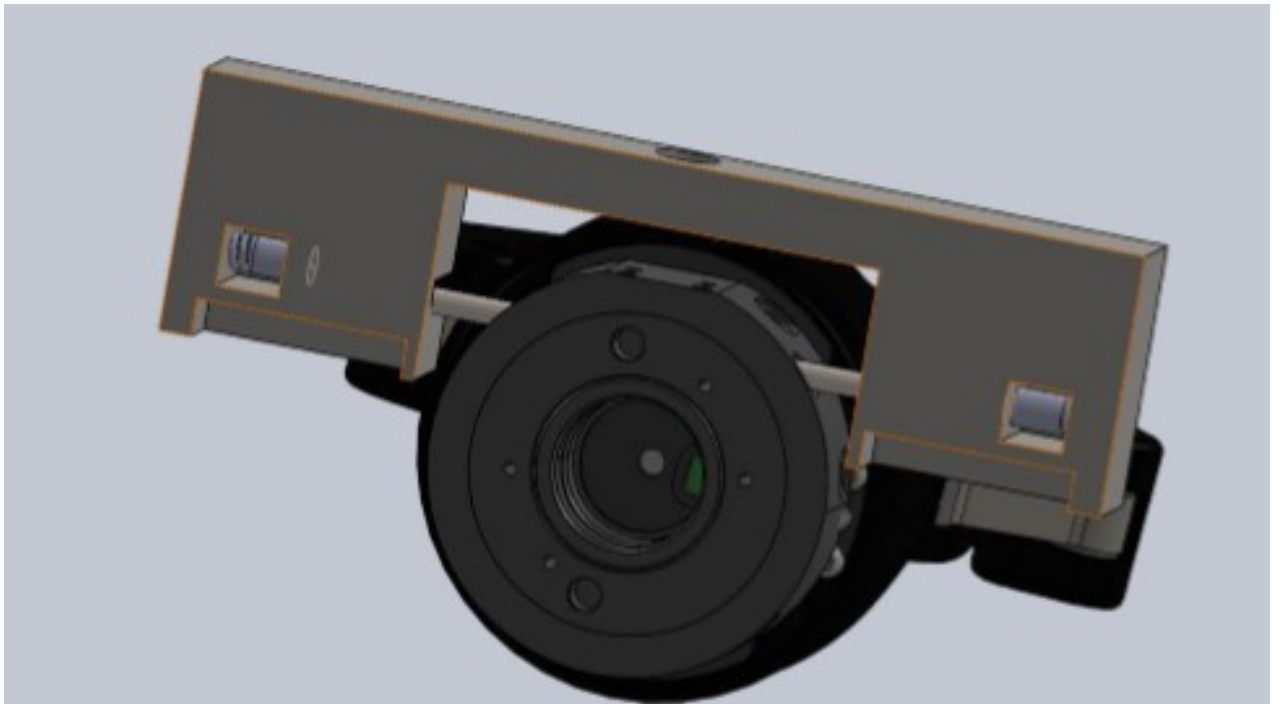


Рис. 2.15 Вид самоцентрування

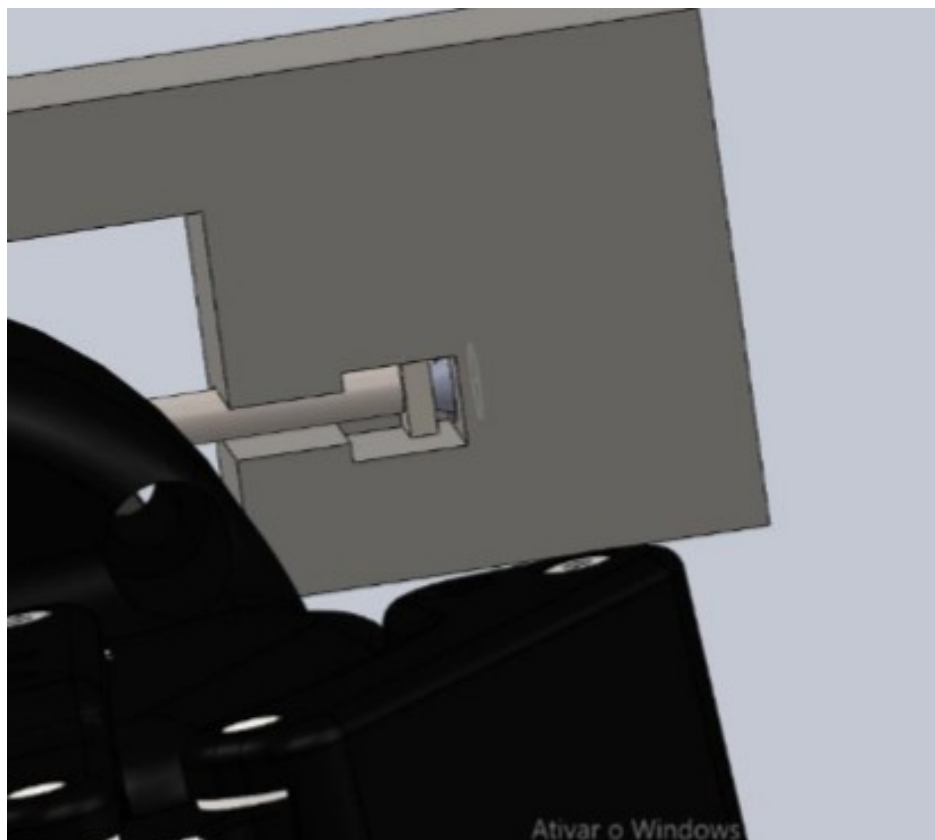


Рис. 2.16 Детальний вигляд автоцентрування

Це рішення має вищу стабільність, ніж обидва згадані раніше рішення, оскільки воно має додаткову силу, що утримує його на місці щодо осі. Ця додаткова міцність також допомагає запобігти будь-якому обертанню. Це

рішення також має очевидну перевагу щодо позиціонування інструменту, завдяки його самоцентруванню, навіть якщо робот втратить пристрій, що змінює інструмент, більш ніж на кілька міліметрів, інструмент повернеться на своє місце, що збільшує гнучкість і дозволяє цьому інструменту для зміни інструменту для використання з менш точним роботом.

Найбільш очевидною перевагою даної конструкції є механізм самоцентрування, оскільки раніше було сказано, що робот має деякі параметри продуктивності, і положення, де інструмент залишається, не завжди може бути досягнуто однаковим чином, тому наявність цього механізму дозволить тримачу, щоб перестановити інструмент, дозволяючи завжди знаходитись у правильному місці.

Ці рішення складаються з великої кількості різних компонентів, більшість з яких не нормовані, це факт суттєво збільшить загальну ціну системи, оскільки їх доведеться робити індивідуально. Якщо розглядати цю конструкцію з алюмінію, то ціна механічної обробки зробить тримач ще дорожчим.

## 3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

### 3.1 Конструкція подвійного адаптера захоплювача

Однією з головних цілей даної роботи було побудувати гнучку систему зміни інструментів. Для додання гнучкості системі важливо проаналізувати процес розробки нового інструменту, який можна використовувати з цим пристроєм, що змінює інструмент.

Тому було проаналізовано реальну проблему виробничої лінії, в даному випадку потрібен був інструмент, який міг підібрати як окрему деталь, так і блістер.

Блістер - це система, яка вміщує в собі різноманітні деталі, вона використовується для легкої упаковки та транспортування масиву деталей. Вони зазвичай виготовляються з пластику та, що використовувалася є досить легкою.

Оглядаючи розміри виступів, можна розглянути деякі ускладнення його балансування, особливо враховуючи використання лише одного робота з однією рукою для маніпулювання ним, крім того, кожна деталь повинна мати можливість захоплення індивідуально. Для вирішення цієї проблеми був розроблений спеціальний інструмент з 2 захоплювачами, які мають кут 90 градусів між собою для захоплення за виступ та різні частин на ньому.

Кут між захоплювачами дозволив би використовувати відстань між кінчиками пальців захоплювачів, забезпечуючи рівновагу виступу після його утримання в повітрі, цей кут також дозволив би добре обробляти деталі, які збиралися підібрати окремо.

Захоплювачі, які збиралися використовувати, є Robotiq 2F-85, тому потрібно було лише побудувати тримач, щоб утримувати як захоплювачі на місці з певним кутом, так і відстанню.

Щоб побудувати адаптер, спочатку потрібно було зрозуміти і визначити, як різні компоненти будуть з'єднані між собою, тобто як буде здійснюватися зв'язок між захватами та адаптером та адаптером з роботом.

Вивчаючи каталог, наданий robotiq, можна побачити, що є два основні аспекти, які слід враховувати при розмірі з'єднання з адаптером. Перший аспект - це захоплювач, який складається з механічного інструменту, який відкриватиметься та закриватиметься, щоб захопити різні предмети, другий - це зчеплення, саме тут буде встановлено захоплювач. Потім муфта буде з'єднана з роботом, або, в цьому випадку, з приладом для зміни інструменту.

Муфта також має кабель із хвостовиком, який з'єднує кабель пристрою для забезпечення зв'язку з роботом. Це з'єднання є послідовним RS-485 і складається з з'єднання для передачі інформації, наприклад, наказів на відкриття або закриття захоплювача [61].

Різні компоненти захоплювача можна побачити на рисунку 3.1.

PROVIDED PARTS :

	AGC-CPL-XXX-002		AGC-APL-XXX-002 (optional)
①	2-Finger Gripper coupling option	④	2-Finger Gripper adapter plate option
②	M5-0.8 x 35 mm SHCS	⑤	M6-1.0 x 5 mm LHCS
③	M5 Tooth lock washer	⑥	M6 x 12 Indexing pins (H8 tolerance)

TOOLS YOU NEED :

- 4 mm Allen key
- Medium strength Loctite

*Shown with optional adapter plate  
Robot side screws are available only for specific robot kits.*

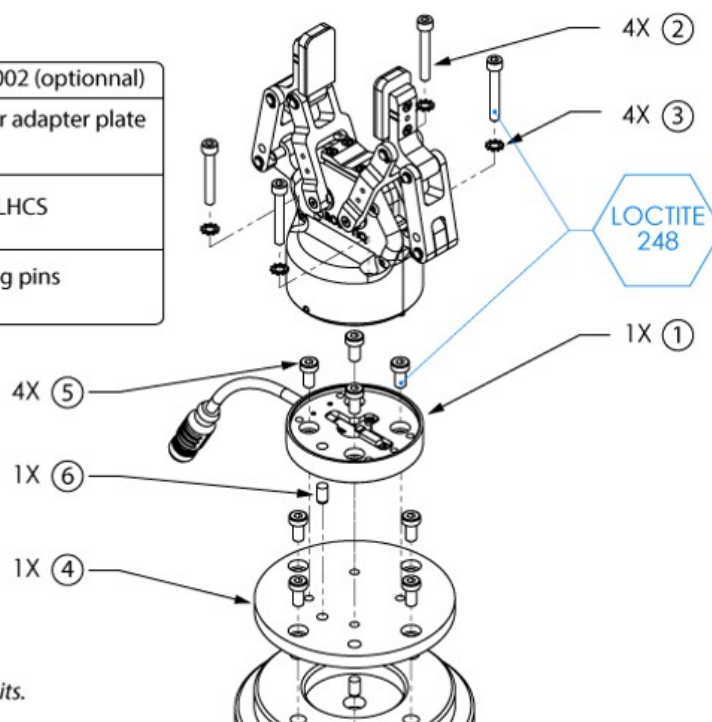


Рис. 3.1 Збірка захоплювача [61]

На рисунку 3.2 ми можемо побачити зображення муфти.

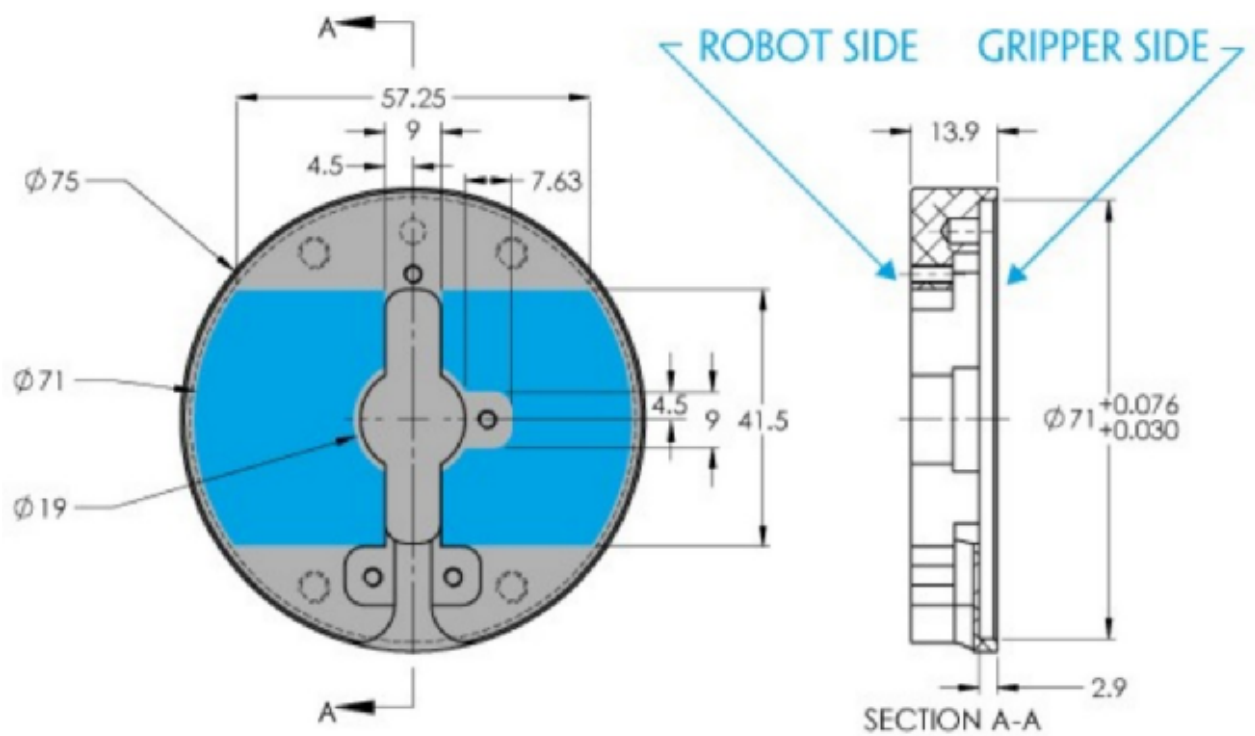


Рис. 3.2 Редагована частина захоплювача [61]

Синя область представляє область, яку можна відредагувати, щоб забезпечити з'єднання між захоплюючим пристроєм та адаптером; у цій блакитній області можуть бути зроблені отвори з будь-якою глибиною, куди можна вставити гвинти або болти, щоб забезпечити з'єднання з адаптером. У сірій зоні отвори можуть бути зроблені до 3 мм в глибину, що не є правильним варіантом для підключення [61].

Виробник пропонує та виготовляє муфти, які вже мають тип з'єднання, виготовлені відповідно до різних норм. Використаний захоплювач мав муфту, виготовлену відповідно до ISO 9409-1-50-4-M6 (Рис. 3.3). Цей тип з'єднання кріпить захоплювач до муфти за допомогою гвинтів 4xM6, які розташовані під кутом 90 градусів між собою і розташовані на 25 мм від центру муфти.



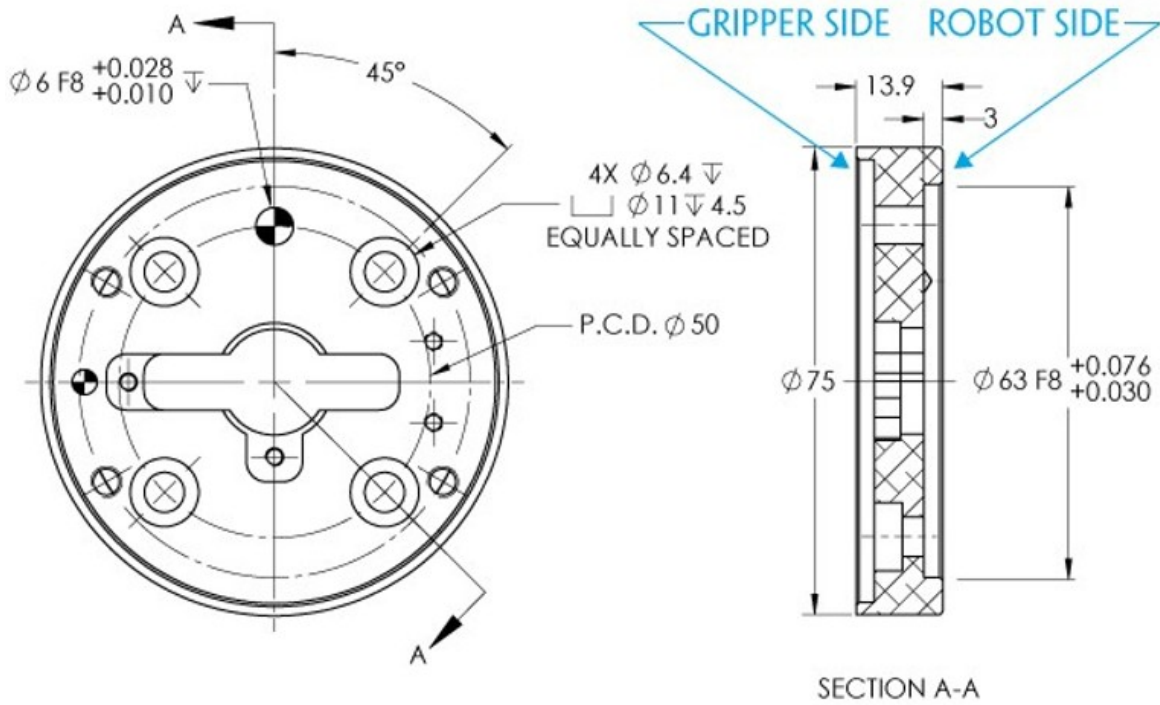


Рис. 3.3 Муфта до ISO 9409-1-50-4-M6 [61]

Іншим фактором, пов'язаним із захопленням, який потрібно врахувати, є основний розмір цього інструменту (Рис. 3.4, Рис. 3.5).

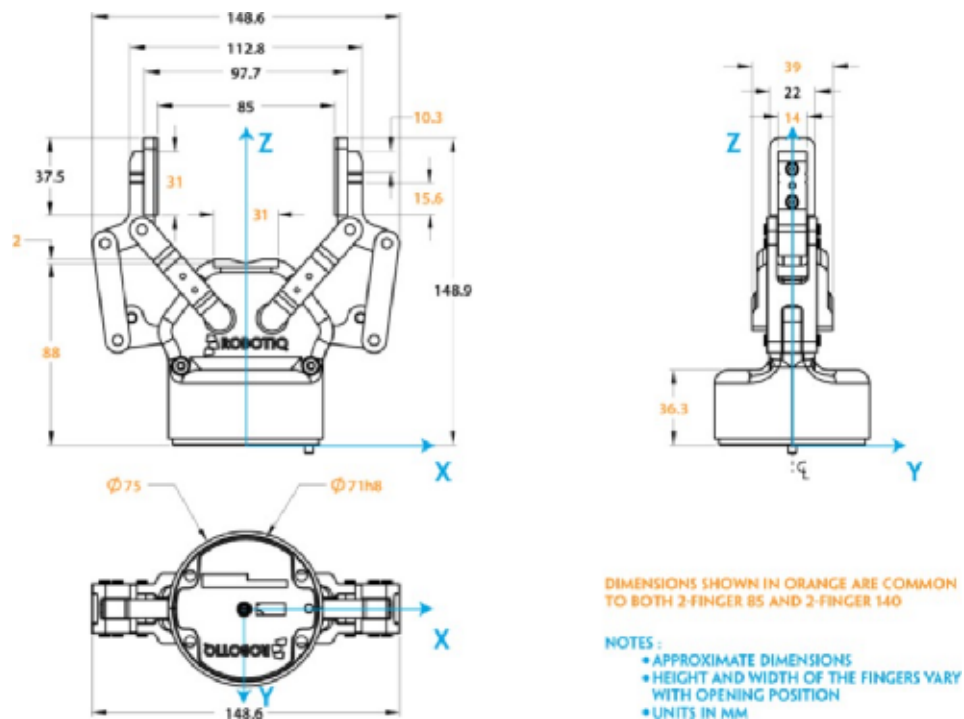


Рис. 3.4 Основні розміри захоплювача з відкритому положенні [61]

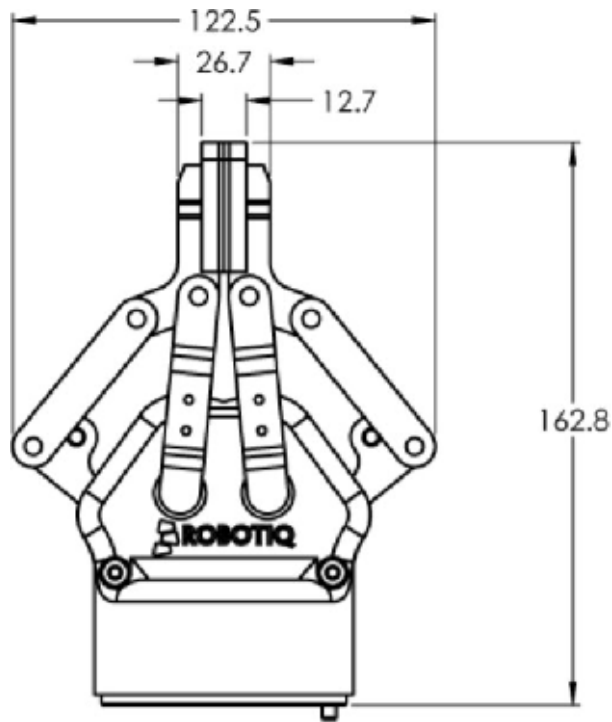


Рис. 3.5 Основні розміри захоплювача в закритому положенні [61]

Аналізуючи схеми, представлені на рисунках 3.3, 3.4, 3.5, можна побачити, що висота муфти становить 13,9 мм при діаметрі 75 мм, висота сітки 148,9 мм при закритих кінчиках пальців і 162,8 при кінчики пальців повністю розкриті. Захват може відкриватися до 85 мм.

Зрозумівши, як здійснюється зв'язок між захоплюючим пристроєм та адаптером, тепер необхідно визначити зв'язок між адаптером та роботом, або в даному випадку пристроєм для зміни інструменту та роботом. Цей аналіз раніше проводився у другому розділі.

Проаналізувавши аспекти з'єднання, а також основні розміри захоплювача, важливо вивчити сам блістер.

Цей блістер виготовлений з пластику, що робить його досить легким. Він тримається в пластикових деталях, він має прямокутну форму з боком 457 мм і 719 мм, що робить його досить великим вибором.

Однією з цілей цього інструменту є збирання блістера, який має специфічні пластикові виступи, на яких захоплювачі можуть чіплятися легше.

У блістері є два різновиди виступів: перші виступи розташовані вздовж центральної лінії, є прямокутні та мають 24 мм на 48 мм збоку, висоту 20 мм і похилі 41 градус. У центральній лінії є 3 виступи, які розділені між собою на 120 мм.

Інші пластикові виступи розташовані на відстані 219 мм від довшої стіни, вони також прямокутні, але мають 43 мм на 20 мм збоку і нахил 75 градусів, а також мають висоту 20 мм. Ці виступи розділені між собою на 120,5 мм.

Існує кілька можливих положень, за допомогою яких захоплювач може утримувати блістер. Експериментуючи, вважалось оптимальним положення знаходитись вздовж середини пухиря і бути підібраним у місцях, виділених червоними колами, на малюнку 64.

Також вважалось можливим підібрати його у місцях, виділених синім та зеленим колами, ці визначення були зроблені експериментально.

### **3.2 Визначення параметрів адаптера захоплювача**

Як вже було сказано раніше, адаптер має функцію підключення захопників до робота. Кожен захват має кут 90 градусів між собою. При розробці цього адаптера слід враховувати різні аспекти, наприклад, який матеріал буде використаний для його виготовлення, спосіб його виготовлення, конфігурацію, яка буде використовуватися, та інші конструктивні аспекти.

Спочатку вважалось, що адаптер розділити на 4 різні частини:

- першою була б основна структура адаптера, тобто конструкція, яка з'єднає робота з захоплювачем.
- друга частина - це диск, що з'єднує основний каркас із конструкцією адаптера
- останні 2 частини - це диски, які з'єднують захоплювачі з основною рамою.

Ідея робити ці деталі окремо, а не просто виготовляти одну-єдину деталь, полягає в економії грошей за рахунок можливих операцій механічної обробки, оскільки це, в більшості випадків, набагато дешевше. Обробка різних деталей також додає гнучкості моделі, оскільки можна поєднувати різні основні рами з різними дисками для різних захватів.

Було вирішено, що адаптер буде виготовлений з алюмінію, на цей вибір значний вплив мала легка вага цього матеріалу, а також відносно дешева вартість. Примітно згадати, що він також має хороші механічні властивості, такі як висока пластичність та стійкість до корозії, однак це твердий матеріал для зварювання, тому при ідеалізації конструкції або можливих з'єднань, важкість зварювання, слід враховувати. У таблиці 8 можна побачити основні властивості використовуваного алюмінієвого сплаву [62].

Таблиця 8: Властивості алюмінієвого сплаву

<b>Wrought aluminum alloy 1060</b>				
<b>Chemical composition: Si=0.25%, Fe=0.35%, Al = 99.6% min</b>				
<b>Property</b>	<b>Value in metric unit</b>		<b>Value in US unit</b>	
<b>Density</b>	2.705 *10 <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	169	lb/ft <sup>3</sup>
<b>Modulus of elasticity</b>	69	GPa	10000	ksi
<b>Thermal expansion (20 °C)</b>	23.6*10 <sup>-6</sup>	°C <sup>-1</sup>	13.1*10 <sup>-6</sup>	in/(in* °F)
<b>Specific heat capacity</b>	900	J/(kg*K)	0.215	BTU/(lb*°F)
<b>Thermal conductivity</b>	231	W/(m*K)	1600	BTU*in/(hr*ft <sup>2</sup> *°F)
<b>Electric resistivity</b>	2.81*10 <sup>-8</sup>	Ohm*m	2.81*10 <sup>-6</sup>	Ohm*cm
<b>Tensile strength (annealed)</b>	69	MPa	10000	psi
<b>Yield strength (annealed)</b>	28	MPa	4000	psi
<b>Elongation (annealed)</b>	43	%	43	%
<b>Shear strength (annealed)</b>	48	MPa	7000	psi
<b>Fatigue strength (annealed)</b>	21	MPa	3000	psi
<b>Hardness (annealed)</b>	19	HB	19	HB
<b>Tensile strength (H16)</b>	110	MPa	16000	psi
<b>Yield strength (H16)</b>	103	MPa	15000	psi
<b>Elongation (H16)</b>	8	%	8	%
<b>Shear strength (H16)</b>	69	MPa	10000	psi
<b>Fatigue strength (H16)</b>	45	MPa	6500	psi
<b>Hardness (H16)</b>	30	HB	30	HB
<b>Annealing temperature</b>	343	°C	650	°F

Адаптер не повинен мати проміжків між будь-якими його компонентами, і якщо він є, їх слід звести до мінімуму. Це пов'язано з тим, що інструмент застосовується до роботи та вимагає калібрування, що означає, що інструмент у роботі початково калібрується таким чином, щоб центр ваги та моменти інерції були відомі для цілей управління. Будь-яка зміна цих параметрів може кардинально змінити продуктивність роботи, оскільки це може вплинути на кінцеві позиції, швидкість тощо, чого слід уникати.

Маючи на увазі раніше згадані теми, диски адаптера, швидше за все, потрібно буде обробити, оскільки це найекономічніший спосіб їх створення.

Однак основну раму можна обробити або зробити за допомогою нормалізованих профілів, які згодом з'єднуються розбірними з'єднаннями. Пізніше рішення має переваги в ціні та довговічності, але може призвести до значних проблем при проектуванні рами через відсутність існуючих профілів, які можуть бути використані для цього проекту.

Основна рама адаптера може розглядатися як прямокутний трикутник для вимірювання (рисунок 3.6).

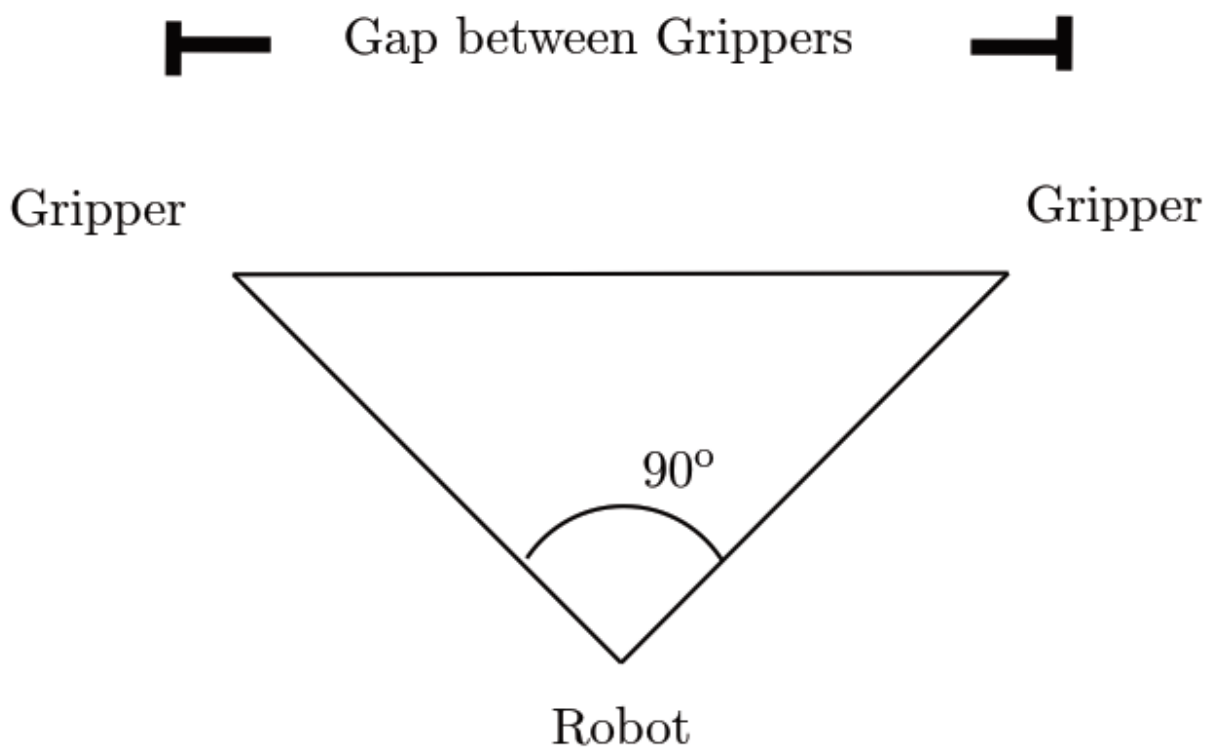


Рис. 3.6 Схематичне креслення захоплювачів

Щоб визначити мінімально можливий зазор захоплювача, нам потрібно врахувати всі відповідні компоненти та розміри, від основи адаптера до кінчиків захоплювача:

Ця процедура робиться для того, щоб переконатися, що можна створити адаптер, який вміщує пухирець, у бажаних місцях.

- середня довжина захоплювачів:

$$L = \frac{fingertips_{closed} + fingertips_{open}}{2}; \quad (3.1)$$

$$L = \frac{148.9 + 162.8}{2} = 155.85mm \quad (3.2)$$

- Товщина муфти = 13,9 мм
- Товщина диска, що з'єднує муфту з адаптером = 15 мм

Повна довжина катету трикутника становить 184,76 мм, і, використовуючи теорему Піфагора, ми можемо визначити гіпотенузу трикутника, яка представляє мінімальний зазор (G) між захоплювачами:

$$x^2 + x^2 = z^2; \quad (3.3)$$

$$G = \sqrt{184.7^2 + 184.7^2}; \quad (3.4)$$

$$G = 261.2mm; \quad (3.5)$$

При визначенні гіпотенузи трикутника немає необхідності враховувати товщину дисків, що з'єднують пристрій для зміни інструменту та адаптер, якщо система буде там підключена. Однак існує необхідність у невеликому зазорі між ними, щоб диски не зіткнулися.

Для визначення цього зазору спочатку потрібно було б визначити діаметр дисків, який поки що неможливо визначити, оскільки це буде залежати від кількох факторів, найголовніше від того, як буде побудований адаптер, однак можна зробити початкове припущення для цього значення.

Мінімально можливий радіус для диска буде близько 30 мм, оскільки отвори адаптерів розташовані на відстані 25 мм від центру та мають радіус 3 мм. Початковим радіусом вважається 37,5 мм або діаметром 75 мм, оскільки це діаметр муфти.

Кут між дисками знову становитиме  $90^\circ$ , тому зазор між дисками можна знову розрахувати, використовуючи теорему Піфагора:

$$G = \sqrt{37.5^2 + 37.5^2} \quad (3.6)$$

$$G = 53mm \quad (3.7)$$

Додавши зазор, спричинений розміром захоплювачів, і зазор, спричинений мінімальною відстанню між дисками, ми можемо визначити, що мінімально можливий зазор між кінчиками пальців захоплювачів, коли він з'єднаний з адаптером, становить 314,2 мм.

Як вже було сказано раніше, червоні кола представляють ідеальне місце для захоплення захоплювача, однак, ці 2 місця мають проміжок між собою 262,8 мм, тому неможливо утримувати виступ у зазначених місцях.

Друге найкраще місце, знову ж таки, визначене експериментом, виділено блакитними колами. Зазор між цими місцями становить приблизно 420 мм, що робить це місце ідеальним для того, щоб захопити захоплювач.

Початковий випадок цього рішення мав стати відправною точкою для наступних варіантів. Він повинен був бути досить простим, все, що йому потрібно було гарантувати, - це те, що захоплювачі стискаються в потрібному місці під кутом  $90^\circ$ . Це рішення не матиме жодних вимог щодо простору праці чи маневреності.

Першою частиною адаптера для проектування повинен бути диск, який з'єднує основну раму з роботом, це повинно бути максимально простим.

У попередній главі вважалося, що діаметр диска повинен бути приблизно 75 мм, а товщина адаптера 15 мм, це значення залишиться для конструкції.

Тепер необхідно розглянути спосіб підключення між інструментальним диском та адаптером, а також роботом та адаптером. Починаючи з першої ситуації, ми розглядаємо просте з'єднання одним гвинтом у центрі диска, цей гвинт повинен бути гвинтом із низьким ковпачком, а невелика порожнина повинна бути оброблена всередині диска, щоб запобігти будь-якому контакту цього з фланець чоловічого інструмента для зміни інструменту.

Метод з'єднання між основною рамою та адаптером вже визначений жіночою інструментом для зміни інструменту, він повинен складати гвинти 4 мб, рознесені на кут 90 градусів між собою, встановлені в радіусі 25 мм. На рисунку 3.7 можна побачити початкове рішення для цього диска.

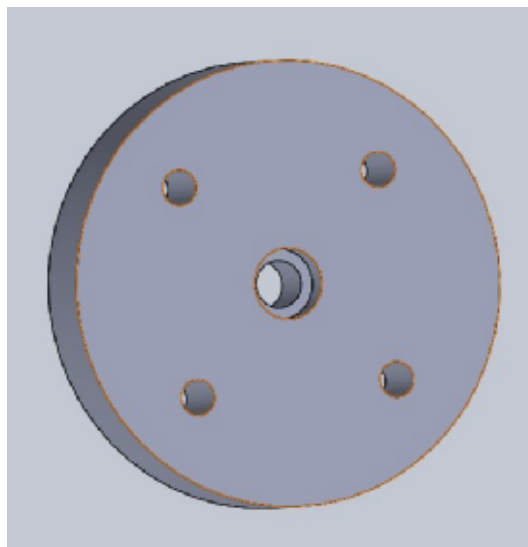


Рис. 3.7 Перехідник з порожнистим корпусом

Друга частина проектування адаптера полягає у розмірі його основної рами, як вже було сказано, бажаний зазор становить 420 мм, тому необхідно визначити розмір основної рами, яка дозволить такий зазор. Враховуючи, що довжина пластикового виступу в синіх колах (20 мм), можна вважати, що захват також доведеться відкривати на 20 мм.

Захват у повністю відкритому положенні має зазор між кінчиками пальців 85 мм, а в закритому - 0 мм між кінчиками пальців. Використовуючи ці



значення, можна визначити відсоток відкриття захоплювачів, коли зазор між кінчиками пальців становить 20 мм.

$$\text{openingpercentage} = \frac{20}{85} * 100 \quad (3.8)$$

$$\text{openingpercentage} = 23(\%) \quad (3.9)$$

Це означає, що захоплювачі будуть відкриті на 77% під час захоплення блістера, тому можна визнати, що захоплення будуть знаходитися на рівні 77% від своєї максимальної висоти при захопленні блістера.

$$\text{height} = ((\text{Height}_{max}) - \text{Height}_{min} * \text{height}_{percentage} + \text{Height}_{min}) \quad (3.10)$$

$$\text{heightofthegrippers} = ((162.8 - 148.9) * (1 - 0.23) + 148.9)mm \quad (3.11)$$

$$\text{heightofthegrippers} = 159.6mm \quad (3.12)$$

Було встановлено, що загальна висота захоплювачів, муфти та дисків становить 225,7 мм, і тому розрив між ними має значення 266,8 мм. Розрив, на якому мейнфрейм повинен розмістити захоплювач, становить:

$$\text{Grippersrequireddistance} = \text{Distancecausedbytheadapter} + \text{distancecausedbythegrippers} \quad (3.13)$$

$$\text{Distancecausebytheadapter} = 421 - 266.8 \quad (3.14)$$

$$\text{Distancecausebytheadapter} = 182.2mm \quad (3.15)$$

Зараз існують різні способи проектування основної рами, коли відомий необхідний зазор, можна просто побудувати дуже довгий паралелепіпед з його кінчиками, вирізаними під кутом 45°. Також можна запропонувати більш складні конструкції.

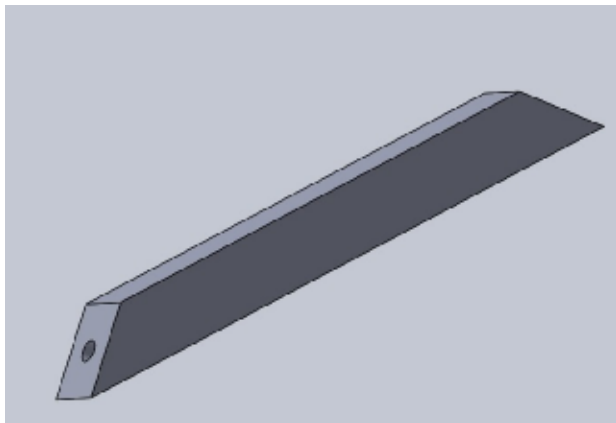
Необхідно вказати товщину основної рами та визначити, як буде закріплено дисками, відповідальними за встановлення зв'язку між основною рамою та зчепленням захоплювачів. Спосіб з'єднання між з'єднувальним диском, який з'єднує основний кадр з роботом, уже був визначений.

Був розглянутий дуже простий спосіб скріплення з'єднувальних дисків, які з'єднують захват із адаптером, лише один гвинт m8 у центрі дисків.

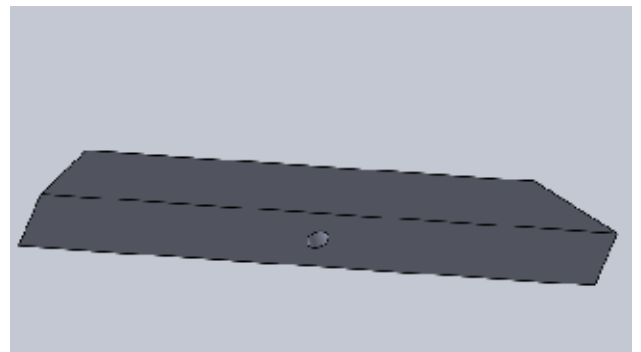
Товщина перехідника повинна бути достатньо малою, щоб гарантувати можливість підключення; це рамка не охоплює жодних місць, де будуть з'єднання, але достатньо велика, щоб гарантувати структурну цілісність цього перехідника.

Відстань між центром отворів, що дозволить розмістити гвинти для встановлення з'єднання між захваткою та основною рамою, та основною рамою з роботом, становить 29 мм, тому для адаптера 25 мм буде вважатися товщиною.

Було запропоновано два різні рішення, які можна побачити на рисунку 3.8 та 3.9.

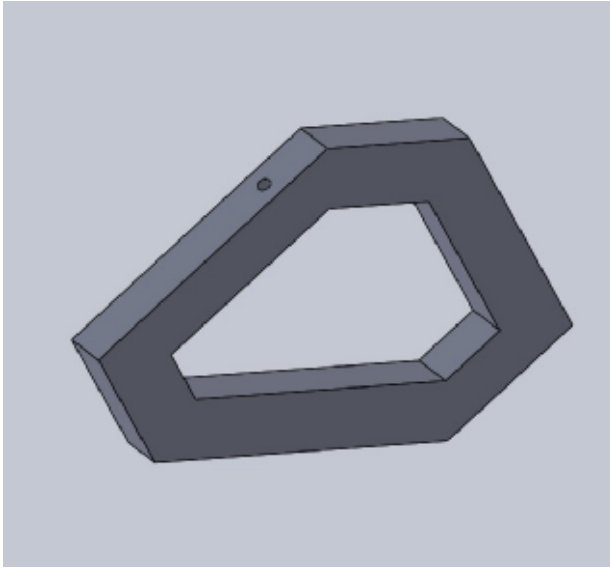


(а) Фрейм перший, перший вигляд

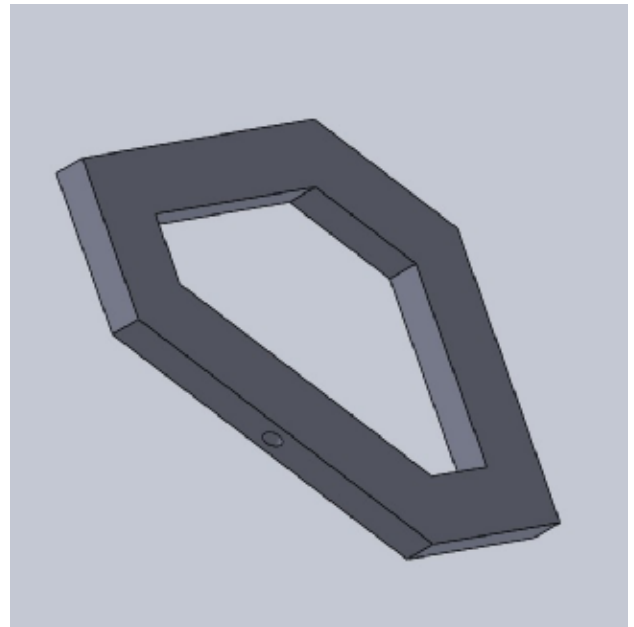


(а) Кадр перший, другий вигляд

Рис. 3.8 Основний фрейм перший.



(а) Фрейм другий, перший вигляд



(а) Фрейм другий, другий вигляд

Рис. 3.9 Основний фрейм другий.

Перше рішення являє собою паралелепіпедний розтин, він може бути виготовлений за допомогою профілів або механічно оброблений. Друга структура є більш складною і була конструкцією, що мала більшу цілісність конструкції. Це рішення все ще можна побудувати за допомогою профілів або обробити.

Потрібно звернути увагу, що друга конструкція була побудована з використанням порожнистого корпусу, це було зроблено, щоб зберегти можливість виготовлення цієї конструкції з використанням профілів. Якщо конструкція обробляється, рекомендується використовувати повний корпус, оскільки ціна буде меншою, а цілісність конструкції вищою.

Щоб вирішити, яке рішення може бути застосовано, було проведено невелике дослідження щодо цілісності конструкції при утримуванні захоплювачів, однак дискові з'єднання між муфтою та основною рамою повинні бути розмірені.

Тепер необхідно визначити з'єднувальні диски між захватами та основною конструкцією, це знову зроблено якомога простіше. Аналізуючи муфту, ми можемо побачити необхідність 4 отворів тб з центрами,

віддаленими на 25 мм від центру муфти, також є один отвір  $m8$ , виконаний в адаптерах. Диски видно на рисунку 3.10.

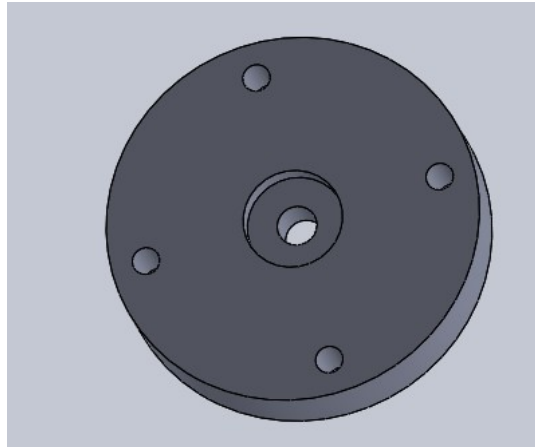
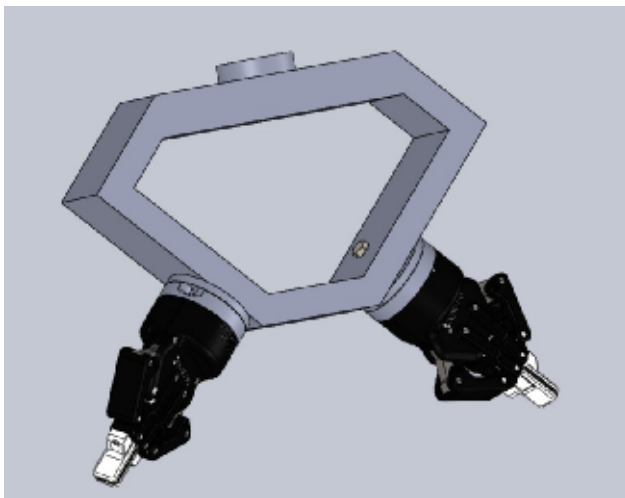
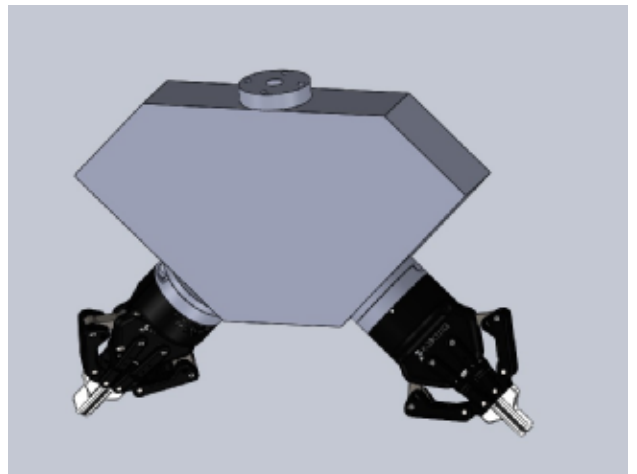


Рис. 3.10 Перехідник з порожнистим корпусом

З усіма різними компонентами, визначеними, тепер можна скласти здвоєні адаптери захоплення, використовуючи обидві запропоновані рами, що можна побачити на рисунку 3.11 і рисунку 3.12.



(a) Порожнистий корпус.



(b) Рама заповненого корпусу

Рис. 3.11 Більш складна структура фрейму

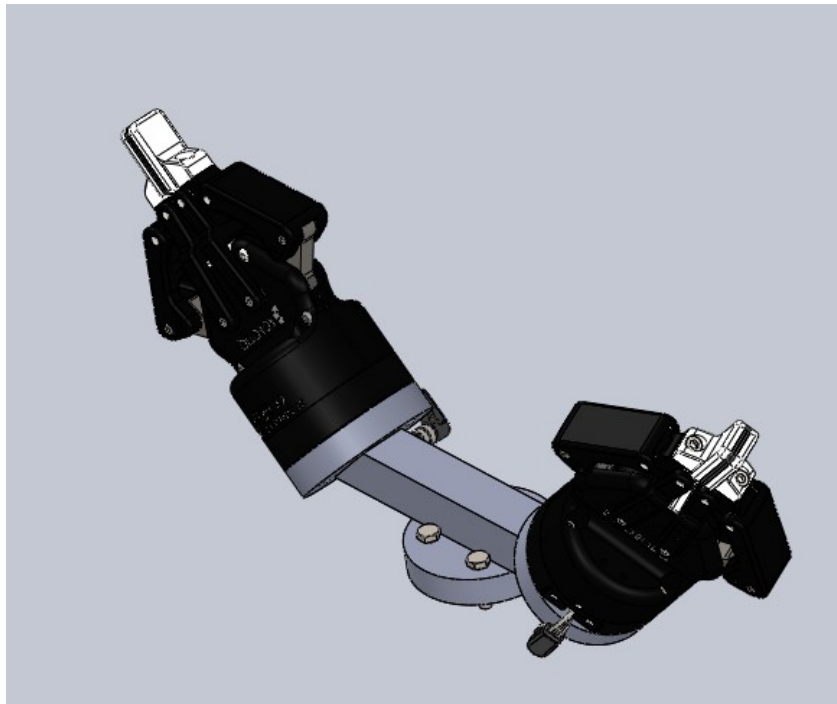
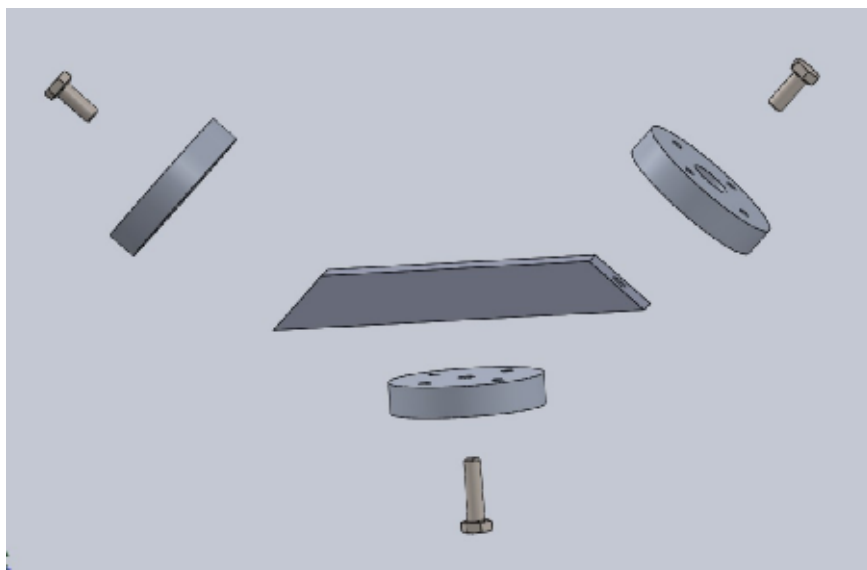
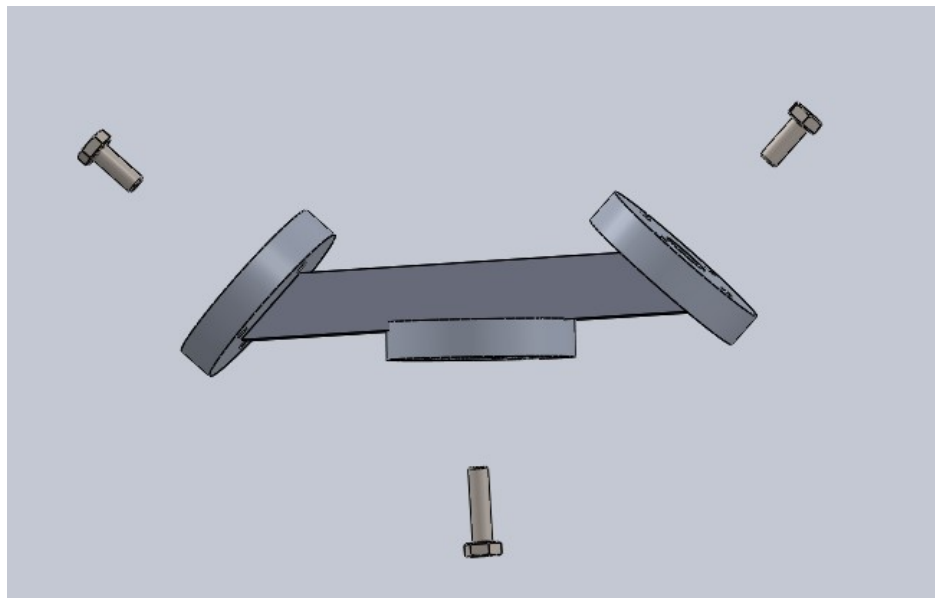


Рис. 3.12 Простий адаптер

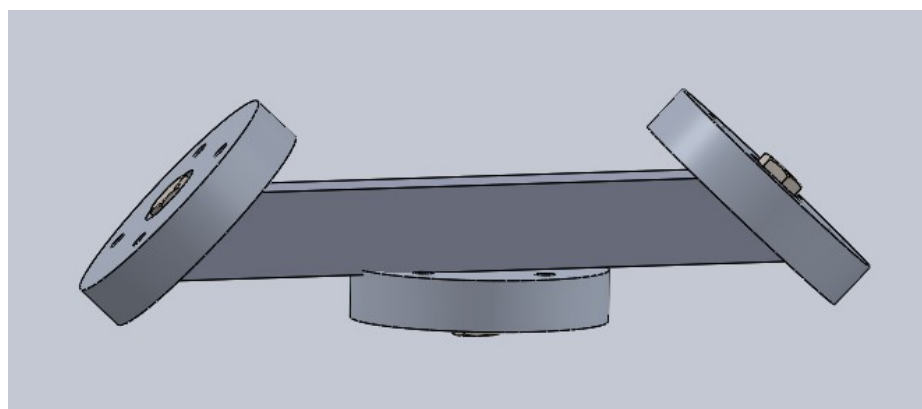
Досить важливо проаналізувати, як буде виконуватися збірка адаптера, перша частина полягає в тому, щоб закріпити різний диск на головній рамі адаптера, потім підключити захоплювач до основної рами, нарешті, необхідно підключити тепер зібраний інструмент або з роботом, або з пристроєм для зміни інструмента, відповідно до наміру оператора.



(a) Крок перший



(b) Крок другий



(b) Крок третій

Рис. 3.13 Простий процес складання адаптера

На рисунку 3.13 можна побачити збірку головного каркасного рішення паралелепіпеда.

### 3.3 Порівняння основних каркасів

Наступною частиною роботи є розгляд різних аспектів адаптера та вирішення, який найкращий варіант для поточної роботи. Обидва дискові адаптери використовують один і той же диск для зв'язку з роботом та захоплювачами, тому цей аналіз буде зосереджений на головному кадрі. Якщо основний каркас виконаний з використанням профілів, ціна не суттєво

відрізняється між обома основними каркасами, якщо, однак, вирішено обробити структуру, ціна більш складної геометрії вища.

У маневреності та стабільності конструкції вигідне найпростіше рішення, оскільки воно має меншу площу та меншу вагу, тому значно легше маневрувати всередині робота.

Останнім параметром для аналізу є структурна цілісність адаптера. Цей параметр, хоча і важливий, не є найважливішим, оскільки адаптер буде використовуватися в дуже легко обтяженому блістері, однак важливо вивчити різні сили, що діють на структуру адаптера, без необхідності робити розслідування щодо предмета.

Перша частина тесту з цього предмету полягає у визначенні, якого типу і де слід застосовувати навантаження, а також визначенні, яке програмне забезпечення буде використано для проведення необхідних тестів.

Оскільки це не дуже ретельний тест, він використовувався інструментом Solidworks для перевірки статичних зусиль. Це також було розглянуто як значно не вигідний сценарій для обох адаптерів. Було вирішено провести два випробування, в першому робот буде тримати блістер на 20 кг, а сила буде рівномірно розподілятися між захватами, другий вважатиме, що один із захоплювачів тримає виріб, що зважує ті ж 20 кг.

На рисунку 3.14 і 3.15 можна побачити репрезентативне представлення сил, що застосовуються в обох випробуваннях.

Було вирішено використовувати цю вагу (20 кг), оскільки це максимальне корисне навантаження робота, а також у 4 рази перевершує найважчий предмет, який міг утримувати захоплювач, що дає хорошу оцінку структурної цілісності подвійного адаптера захоплення.

Також важливо оцінити граничні умови адаптера, в цьому випадку адаптер інкаструється в робот, це означає, що всі обертання та трансляції заблоковані в місці фіксації. Адаптер дискового з'єднання між кулаком робота і адаптером є місцем фіксації.

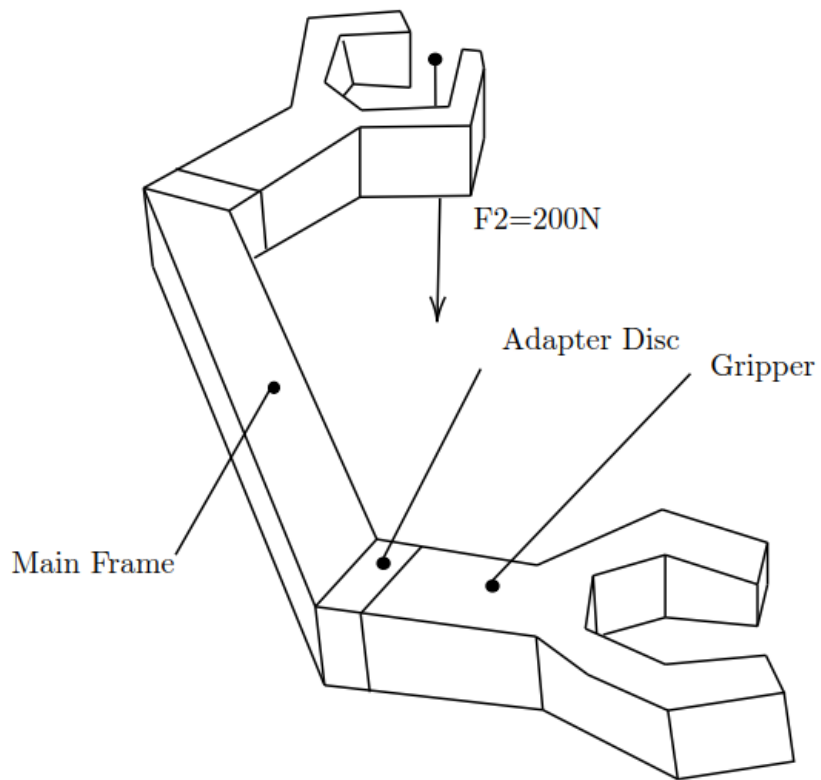


Рис. 3.14 Структурний аналіз на блістер

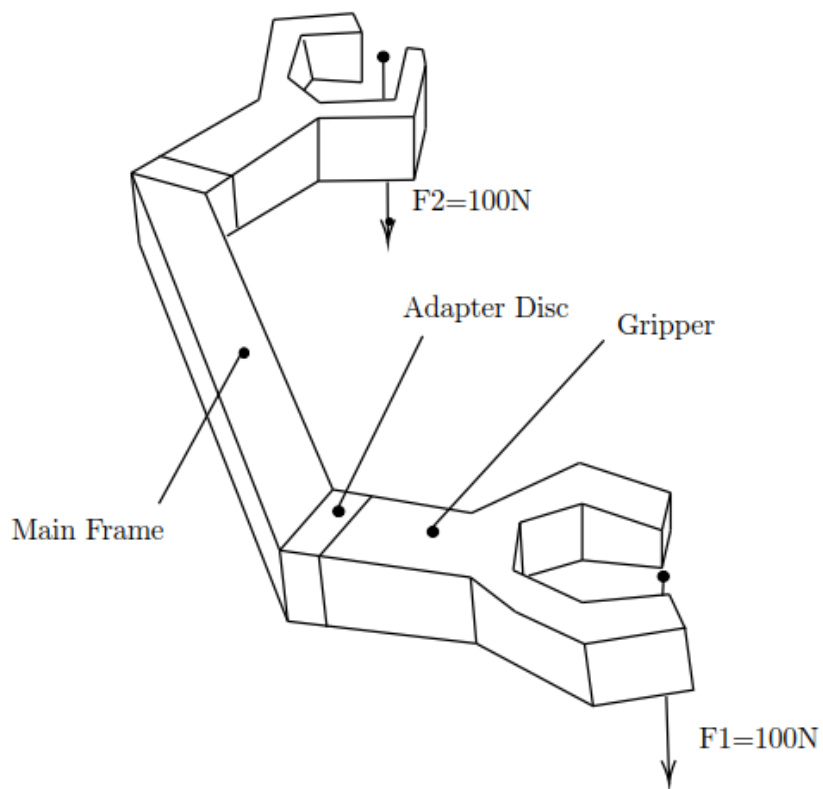


Рис. 3.15 Структурний аналіз для однієї частини



За допомогою цієї програми нам спочатку потрібно визначити матеріал адаптера.

Всі компоненти, які були розроблені, були виготовлені з алюмінію, однак, немає інформації про всі матеріали, які використовувались для виготовлення захопників, тому моделювання може бути порушено.

Можна перенести сили, прикладені до кінчиків пальців, безпосередньо до основної рами, просто врахувавши ту саму силу та імпульс, зумовлений зусиллям, прикладеним до кінчиків пальців. Також можна імітувати геометрію захоплювача з алюмінію, а потім застосовувати сили безпосередньо там, однак цей випадок споживає набагато більше обчислювальної потужності, і це може виявитись неможливим завданням для комп'ютера, таким чином, було вирішено протестувати з використанням еквівалентного сили.

Як було сказано раніше, захоплювач не призначений для утримання ваг, що перевищують 5 кг, тому він ніколи не зможе вмістити 20 кг, з якими ми збираємось його протестувати, однак, і виключно для цілей цього моделювання, буде вважатися, що вона здатна.

Подібно до цього, якщо вважати силу, прикладену до кінчиків пальців 200 Н, що приблизно відповідає вазі 20 кг, і ми також врахували відстань між основним каркасом та захопленням, із закритими кінчиками пальців (найгірший можливий сценарій), що відповідає до значення 191,7 мм можна розрахувати еквівалентний імпульс в основі адаптера. Представлення сил видно на рисунку 3.16.

$$T = L * F \quad (3.16)$$

$$T = 0.1917 * 200 \quad (3.17)$$

$$T = 38.34Nm \quad (3.18)$$

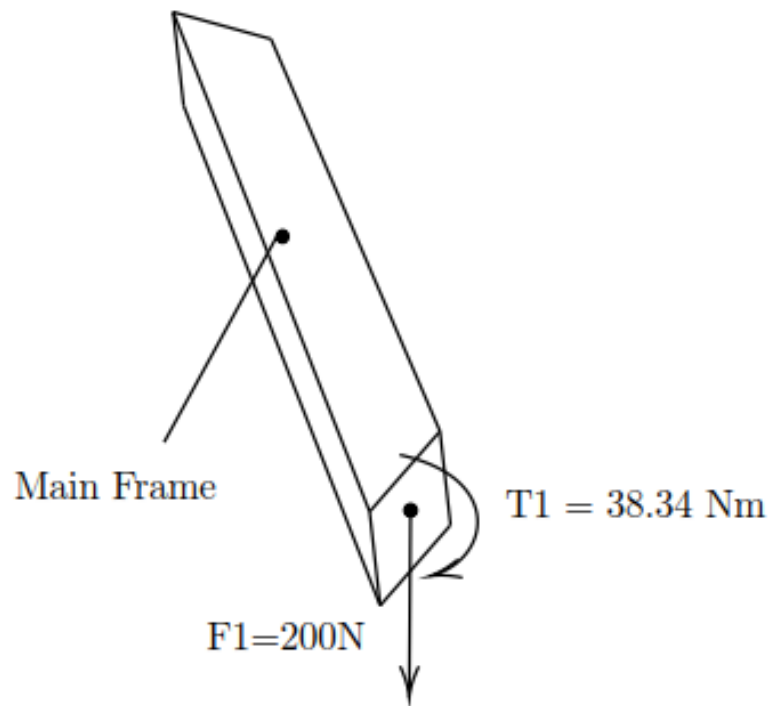


Рис. 3.16 Еквівалентні сили

Еквівалентні сили, прикладені до конструкції з використанням двох частин замість однієї, можуть бути визначені тим же методом, і, оскільки прикладені сили у другому випадку вдвічі більші, ніж у першому випадку, результуюча сила буде вдвічі меншою також.

У статичній системі необхідно визначити граничні умови, в цьому випадку система вбудована в робота, це означає, що немає обертання або переміщення щодо будь-якої осі, і сили, що виникають в результаті цього блокування, застосовуються в тильна сторона з'єднувального диска між роботом та адаптером. Після того, як всі налаштування визначені, можна починати моделювання.

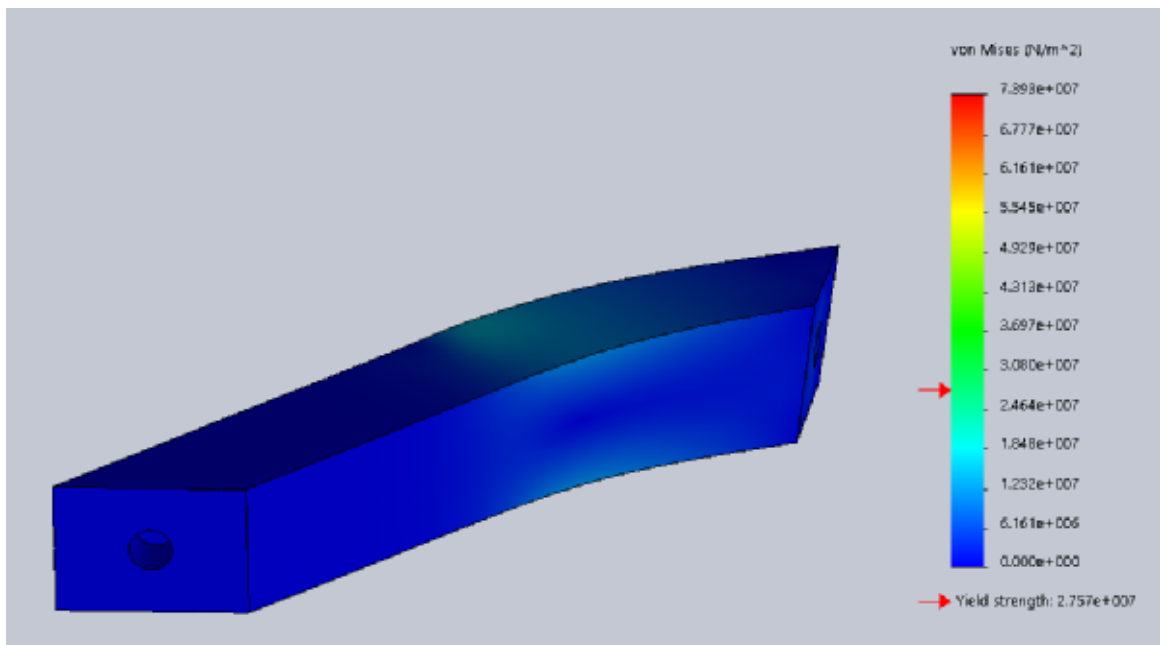


Рис. 3.17 Статичний тест, 200Н, перший вигляд

Аналізуючи рисунок 3.7, який відповідає 200Н, прикладеному до правої сторони адаптера, з зусиллям, спрямованим донизу, можна побачити, що основна рама не буде утримувати накладену вагу, межі текучості матеріалу поступаються визначеним ділянці, а саме отвір, де гвинти будуть утримувати основну раму на адаптері.

Існують різні способи зменшення цієї проблеми, перший з них полягає у збільшенні товщини адаптера, однак це неможливо через спосіб збирання адаптера.

Другим рішенням було б додати до диска ще один гвинт, який з'єднає основну раму з роботом, що дозволило б краще розподілити сили, а не концентруватися лише на одній точці.

Цей тест повторювали для ваги 20 кг, розділеної обома захватами. Аналізуючи друге випробування, представлене на рисунках 3.18 і 3.19, проведене до основної рами, можна побачити, що цього разу адаптер піддається напрузі під межею текучості, тому цей адаптер можна розглянути.

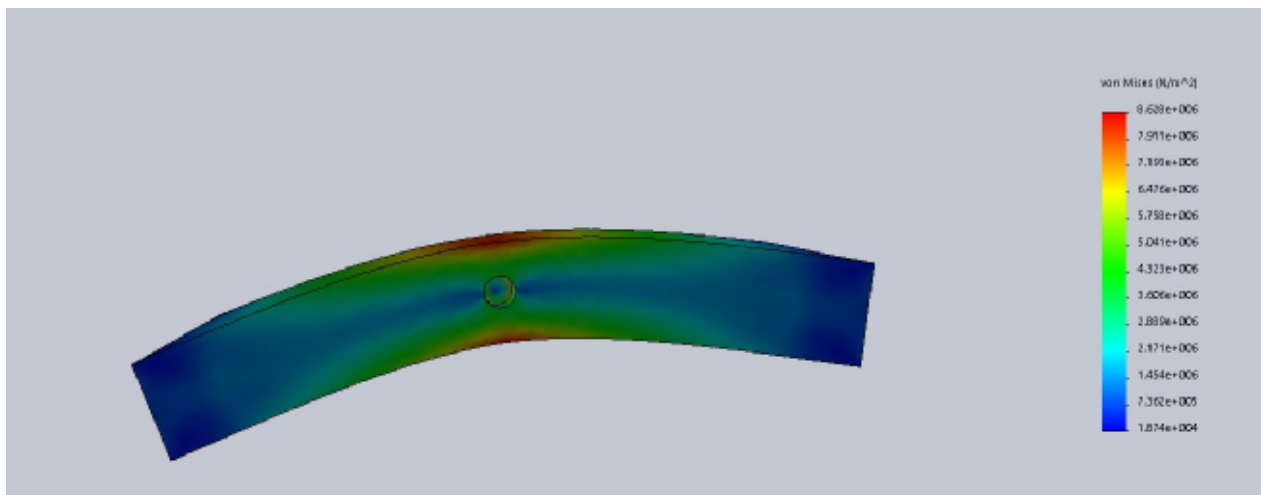


Рис. 3.18 Статичний тест, 100Н, перший вигляд

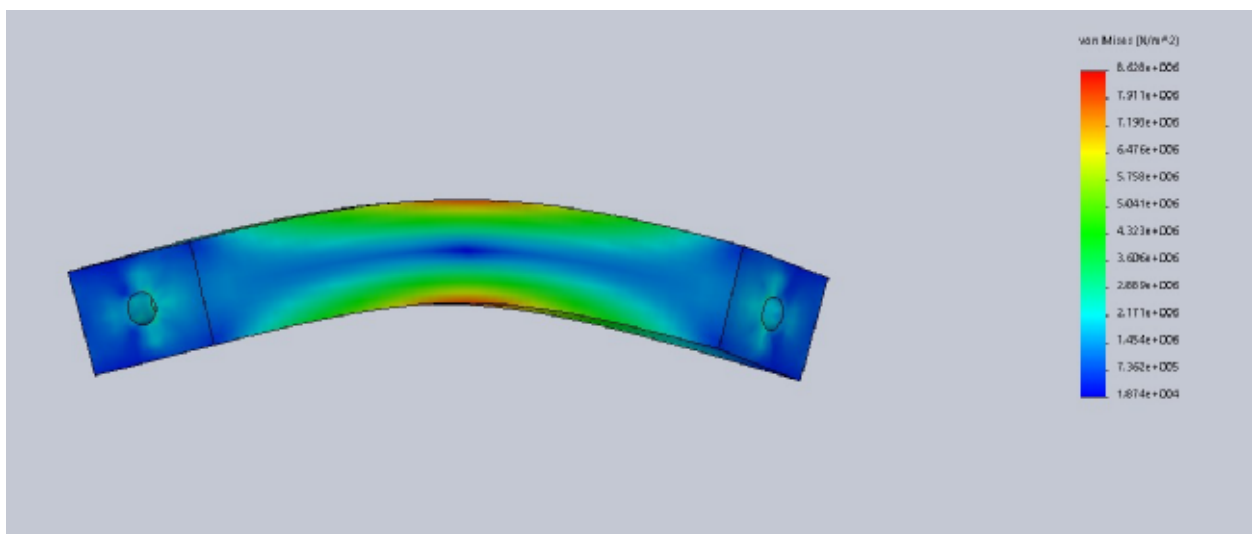


Рис. 3.19 Статичний тест, 100Н, другий вигляд

Як і очікувалося при більш рівномірно розподілених силах, основний кадр матиме кращу реакцію на згин.

На рисунку 3.20 ми бачимо другу головну реакцію кадру, коли на нього впливають 20 кг, розділені обома його захоплювачами. Можна помітити, що цей кадр може також утримувати розділену вагу і має кращий відгук у порівнянні з більш простим кадром.

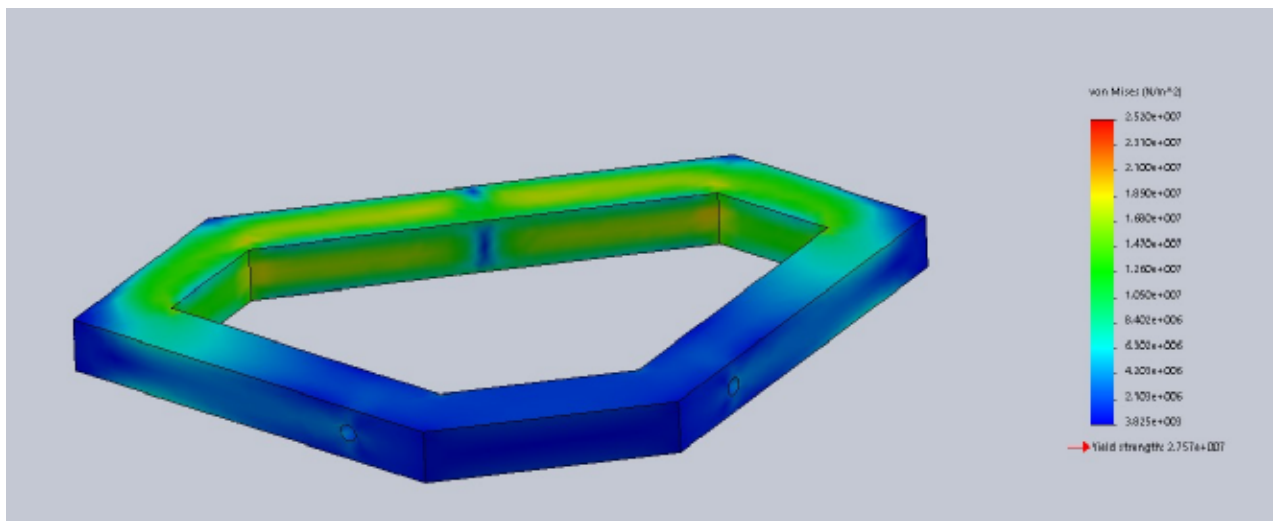


Рис. 3.20 Статичний тест, 100Н

Випробовуючи структуру з концентрованими зарядами, досягають результату, подібного до результату, отриманого за допомогою адаптера з більшим паралелепіпедом, як показано на рисунку 3.21. Основна рама, в цьому випадку, менш напружена, ніж використання простішої рами, однак є як і раніше балів вище межі текучості.

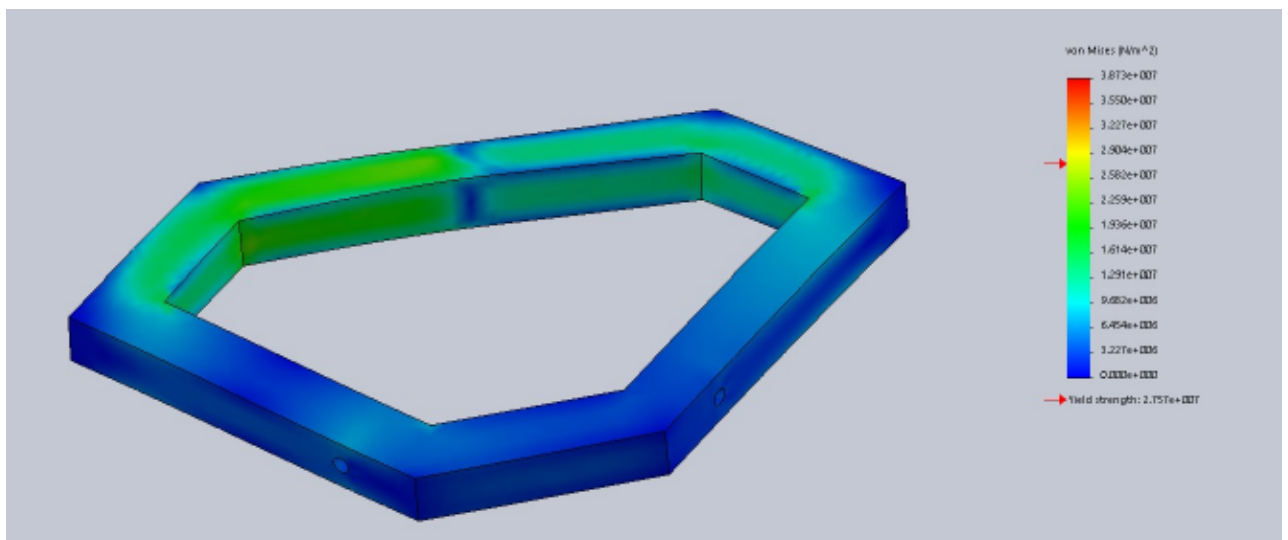


Рис. 3.21 Статичний тест, 200Н

Потім було вирішено протестувати друге рішення із повним корпусом, щоб оцінити, чи може ця рама витримати навантаження 20 кг. Аналізуючи рисунок 3.22, можна зробити висновок, що він все ще не може утримувати

вагу, це пов'язано з великою концентрацією натягу в отворі, який утримує основну раму. Ця проблема невелика, якщо ми вважали, що цей адаптер буде побудований для підняття дуже невеликих ваг, однак, маючи на увазі гнучкий підхід, було вирішено запропонувати альтернативне рішення для адаптерного диска.

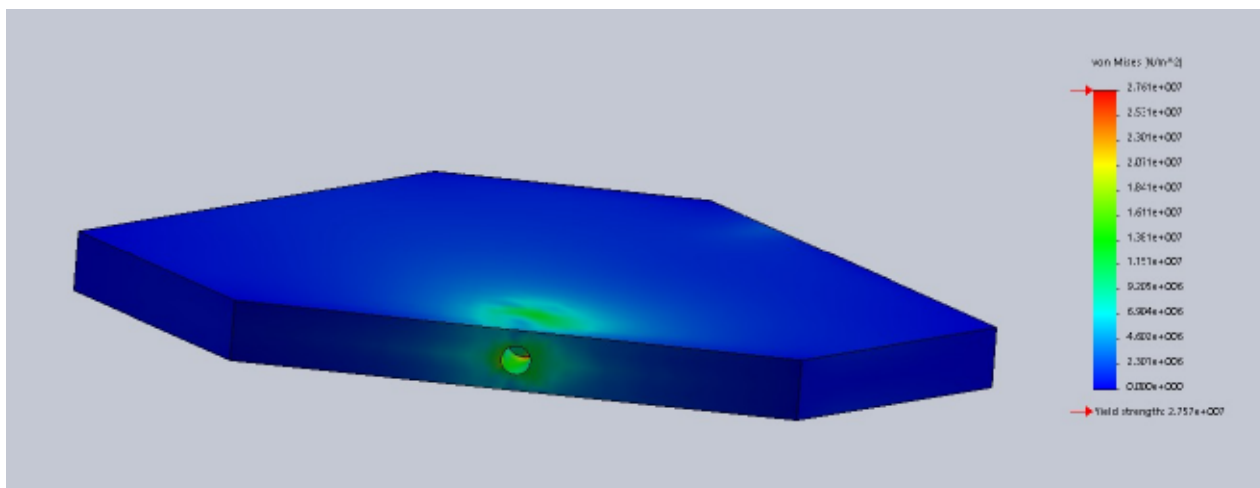


Рис. 3.22 Статичний тест, 200Н

Запропонований другий диск у всьому схожий на попередній варіант щодо зв'язку між диском і роботом, проте було запропоновано кращий розподіл зарядів, просто додавши ще два гвинти, таким чином напруга буде більше рівномірно розподілений, цей диск видно на рисунку 3.23.

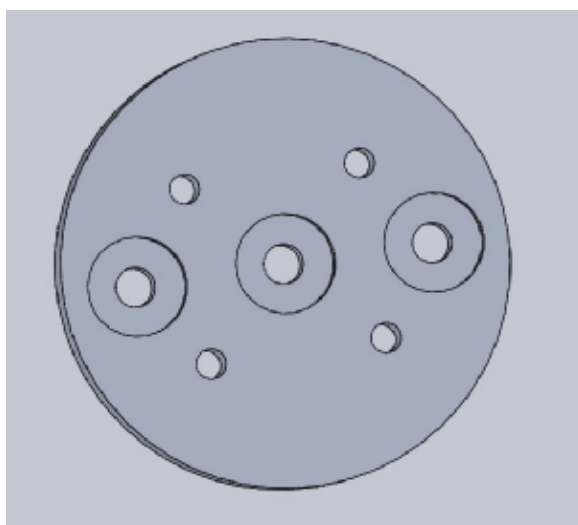


Рис. 3.23 Утримуючий диск з трьома отворами

Тепер основна рама матиме три різні отвори, де будуть кріпитися гвинти, і буде значно кращий розподіл міцності, як це видно на рисунках 3.24 та 3.25.

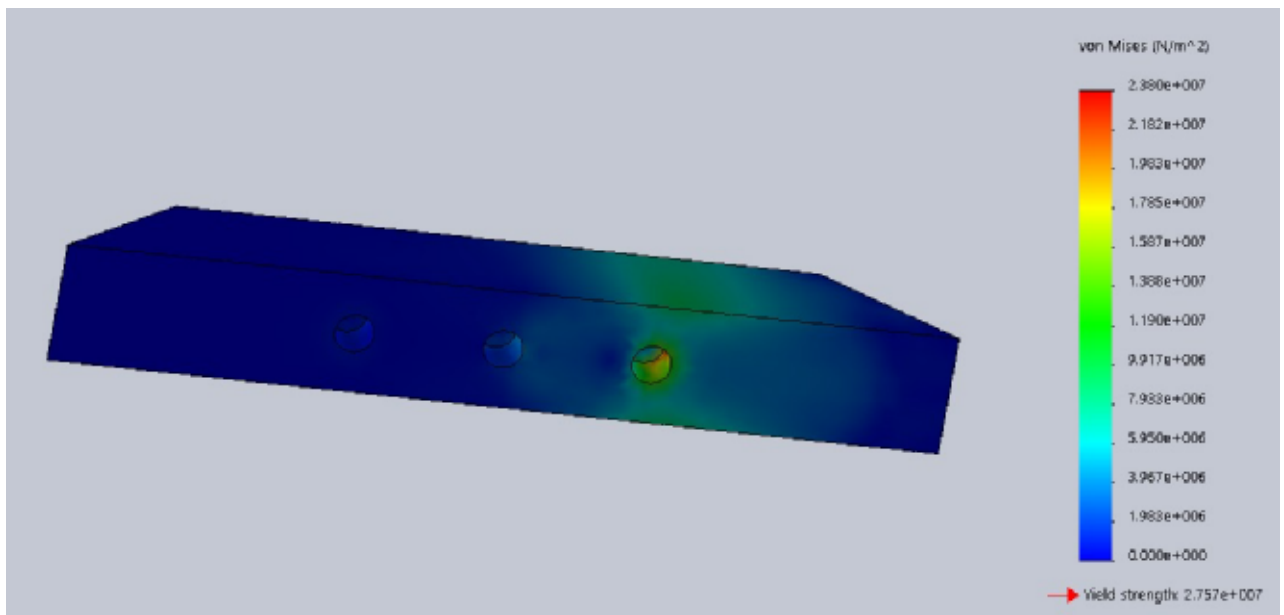


Рис. 3.24 Статичний тест, 200Н, вигляд один

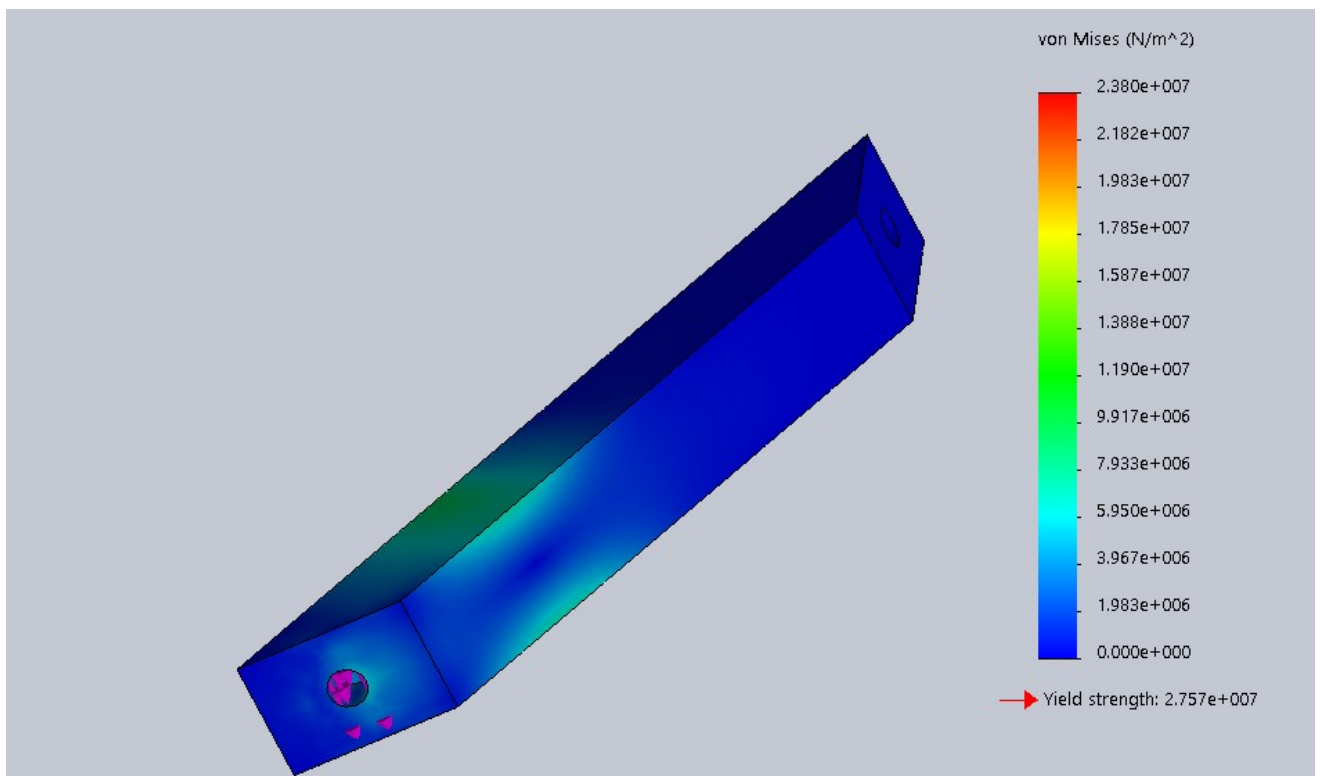


Рис. 3.25 Статичний тест, 200Н, вигляд два

Аналіз різних параметрів у рішенні не настільки простий, як видається, вирішити, який найкращий основний каркас для адаптера, ціна та стабільність конструкції є двома головними факторами, які необхідно враховувати при виборі адаптера.

Менш дорогий адаптер, який можна побудувати, параліпіпований, з найкращою структурною цілісністю, з іншого боку, той, що має більш складну геометрію та повне тіло, однак, використовуючи диск іншого типу, можна мають дуже хороші механічні властивості в параліпіпедному адаптері, однак ця зміна дискового адаптера збільшить ціну на обробку цього диска, тому він може більше не бути життєздатною альтернативою конструкції повного корпусу. Маючи це на увазі та враховуючи малу вагу, на яку буде подано структуру адаптера, було вирішено вибрати більш простий каркас та більш складний диск, оскільки він є хорошим компромісом між цілісністю конструкції та ціною. було також вирішено побудувати це рішення за допомогою профілів.

### **3.4 Конструювання телескопічного адаптера**

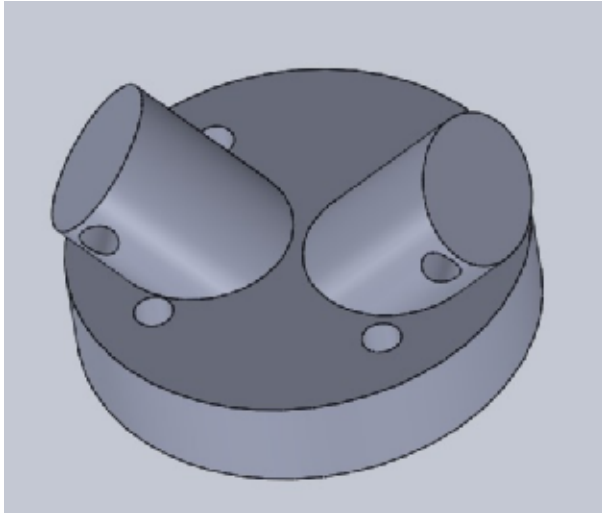
Було запропоновано друге рішення, яке спрямоване на більшу гнучкість, адаптер з більшим діапазоном розмірів, це адаптер, який би дозволяв розміщувати захоплювачі на різній відстані, дозволяючи мати розміри масиву для зазору між їх. Адаптер мав би зберігати ті самі основні цілі, тобто адаптер все ще повинен забезпечувати відстань  $90^\circ$  між захватами, а також повинен мати можливість вибрати кожну деталь окремо.

Враховуючи різні фактори, що беруть участь, було запропоновано рішення, побудоване як телескоп, рішення, яке мало нерухомий циліндр або набір трубок, які дозволяли б їм ковзати всередині один одного і фіксуватися в певних точках. Цей механізм потребує впровадження декількох частин.

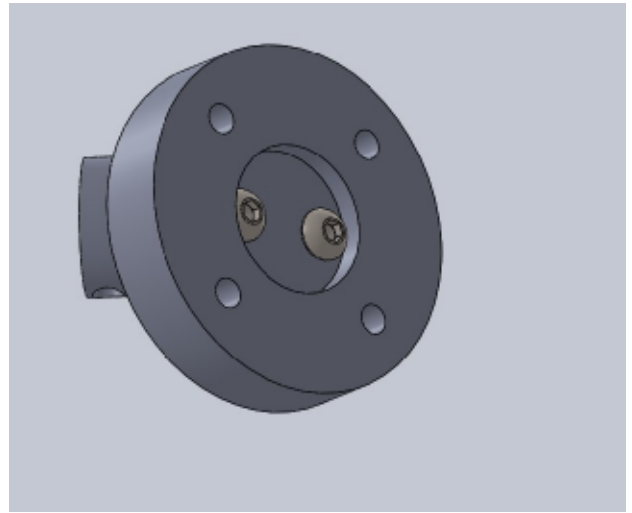
Раніше розглянута інформація щодо адаптерів все ще є дійсною, тому першою частиною проектування цього адаптера є розмір диска, який буде



виконувати підключення адаптера. Цей диск обов'язково буде оброблений, тому слід враховувати ціну операцій механічної обробки. Тому було запропоновано диск з двома суцільними циліндрами, спроектованими з кутом 90 градусів між ними, диск можна обробляти окремо, а циліндри купувати окремо. Диски видно на рисунку 3.26.



(а) З'єднувальний диск, Вид один



(б) З'єднувальний диск, Вид два

Рис. 3.26 З'єднувальний диск

У наступній частині роботи було визначено порожнисту трубку, яка нормована і поєднана з циліндром, представленим в основі за допомогою гвинтів і гайок, в цій порожнистій трубці було зроблено три отвори, які згодом визначають розширення, що матиме адаптер. Складання цієї трубки на з'єднувальному диску видно на рисунку 3.27.

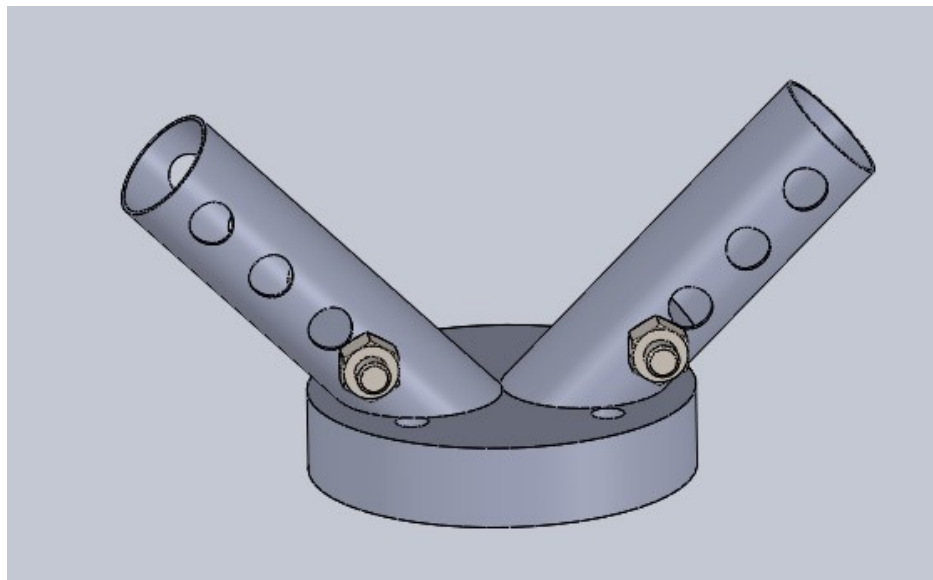


Рис. 3.27 Основа з порожнистими трубками

Потім у цю порожнисту трубку він буде встановлений циліндр (рисунок 3.28), який може вільно рухатися або фіксуватися в положенні, залежно від того, закріплений гвинт чи ні. Фіксація трубки буде відповідати за надання адаптеру гнучкості, оскільки це визначатиме розмір зазору адаптера.

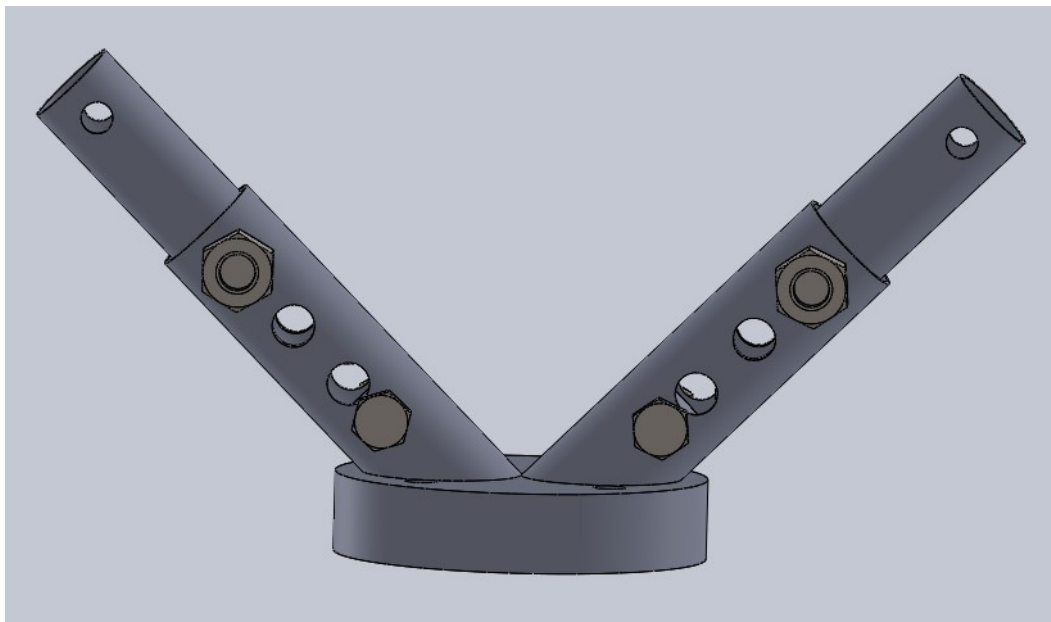
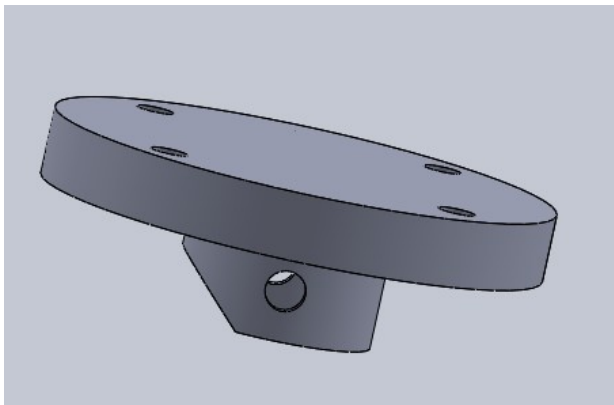


Рис. 3.28 Телескопічний адаптер без підєднаних захватів

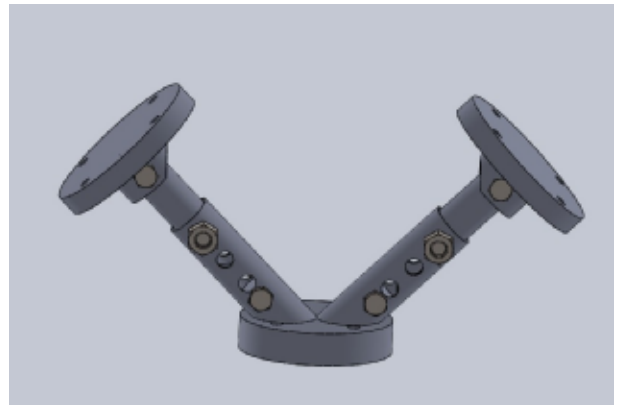
Останньою частиною телескопічного адаптера буде диск, який з'єднає захоплювач із основною рамою, або в цьому випадку трубами, що

становитимуть основну раму. Цей диск у всьому схожий на раніше розроблені, за винятком виступу всередині диска, що дозволить з'єднатися з порожнистою трубкою.

Цей виступ буде порожнистим циліндром і буде з'єднаний з трубкою гвинтом, він матиме частину свого торцевого вирізу, що дозволить диску безпосередньо з'єднуватися з основою, створюючи мінімально можливий зазор, який цей адаптер може мати. Цей з'єднувальний диск також буде оброблений, і це можна побачити на рисунку 3.29. Завдяки цьому металевий виступ буде найдорожчим компонентом адаптера, оскільки він потребуватиме більше матеріалу та більше операцій механічної обробки.



(a) Адаптивний диск



(b) Телескопічний адаптер з адаптивним диском

Рис. 3.29 Телескопічний адаптер з адаптивним диском

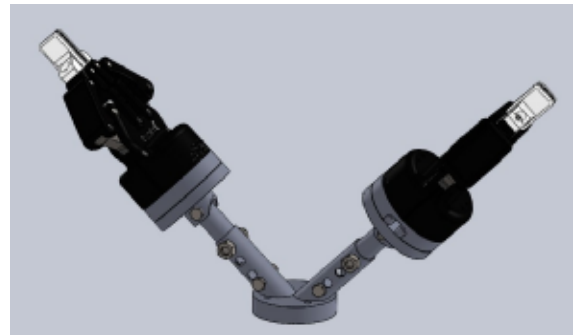
З усіма розмірними компонентами тепер можна виконати остаточну збірку, оскільки захоплювачі та муфта залишаться незмінними, існує велика кількість конфігурацій для цього адаптера, а може бути навіть більше із збільшенням розміру трубки або зміна будь-якого з місць розташування отворів. При поточній конфігурації найдаліше положення має зазор 435 мм, що значно перевищує необхідний зазор, у середньому положенні виходить зазор 421 мм. Це проміжок, який необхідний, щоб підібрати виступ у потрібних місцях.

Потрібно звернути увагу, що отвори, зроблені у фіксованій трубці, були дещо довільними, можна розглянути трубку, де єдиною заздалегідь визначеною конфігурацією є та, що має середній отвір, будь-яку подальшу конфігурацію може визначити користувач, просто просвердливши трубку в розташування, яке дозволило б отримати бажаний зазор, який можна було б розрахувати, як це було раніше.

Трубки також можна вийняти з адаптера (рис. 3.30,а), а з'єднання можна здійснити безпосередньо між диском та основою адаптера, така конфігурація відповідає мінімально можливому зазору. Максимально можливий розрив можна побачити на рисунку 3.30,б.



(а) телескопічний адаптер із мінімально можливим зазором



(б) телескопічний адаптер із найбільш можливим зазором

Рис. 3.30 Телескопічний адаптер з адаптивним диском

Цей механізм значно покращує гнучкість адаптера, оскільки замість того, щоб мати фіксований зазор між захватами, зазор можна змінити, щоб краще відповідати різним потребам, крім того, сам бластер досить легкий, і тому адаптер не вимагає дуже значний механічний опір.

Ціна телескопічного адаптера не повинна бути набагато вищою, ніж раніше розпилювані рішення, за винятком дисків, усіх деталей або нормалізованих, і тому їх легко придбати, зчпний диск між захватами та основною рамою потребуватиме більшої обробки і його ціна повинна бути вищою, але не дуже суттєво.

Однак цей адаптер матиме велику проблему з великою кількістю зазорів, що існують в основній рамі, оскільки раніше говорилося, що робот є дуже точним інструментом і вимагає дуже точного калібрування з такою великою кількістю деталей всі з'єднані розбірною частиною, адаптер матиме широкий діапазон незначних небажаних змін у структурі, це може призвести до неможливості використання цього адаптера, це буде залежати від робота та настрою користувача частіше проводити калібрування системи для перевірки рішення.

## 4 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

Завдання програмування зміни інструменту полягає в тому, що, зважаючи на місце розташування інструменту, робот повинен мати можливість вибрати і розмістити його в будь-який час автоматично. Для цього користувач повинен спочатку навчити робота, де знаходяться інструменти, переміщаючи робота в положення інструменту та зберігаючи це положення в системі роботи. Розроблений додаток повинен бути максимально універсальним та масштабованим таким чином, щоб, якщо використовувалося зовсім інше розташування тримачів, а також більша кількість інструментів, робот все ще міг їх взяти, враховуючи попереднє калібрування система.

Програма також повинна дозволити користувачеві вибрати інструмент, який він хоче вибрати або розмістити в будь-який час. Цю програму можна використовувати в три окремі моменти:

Перший момент, коли користувач навчає роботів розташування всіх інструментів, які будуть використані в проекті.

Другий момент, коли рухи роботів визначаються, перевіряються і, якщо потрібно, коригуються, щоб забезпечити безпечне переміщення робота.

Третій момент, коли користувач може вибрати або розмістити інструменти, які раніше були визначені відповідно до потреб його проекту.

Важливо також пам'ятати про різні можливості утримувача інструмента для зміни інструменту, оскільки вони мають різні типи рухів для вибору та розміщення інструменту.

Спочатку буде розглядатися тримач, який буде розглядатися вертикально, однак рухи робота можуть бути скориговані всередині програми, щоб вмістити більшість власників.

### 4.1 Створення програми для зміни інструменту мовою RAPID

Для розробки програми, що змінює інструменти, необхідно розглянути інше програмне забезпечення, спочатку нам потрібно врахувати мову робота, потім програмне забезпечення, яке було використано для побудови НМІ і, нарешті, програму для імітації системи.

Роботом, використовуваним у цьому проекті, був АВВ, цей тип роботів має фізичну консоль, яка може працювати як НМІ для маніпулювання та програмування робота, що видно на рисунку 4.1. Ця компанія також пропонує безліч програм для допомоги визначити програми для цього робота.



Рис. 4.1 Flex Pendant [48]

Мова програмування АВВ називається RAPID, це мова, що використовувалася для програмування робота, який є досить великим і потужним, тому існує необхідність пояснити деякі поняття, властиві цій програмі.

АВВ пропонує програму під назвою Robotstudio, саме тут запрограмована більшість програм-роботів, вона включає графічну станцію, де можна імітувати реальні рухи робота, вона також має ряд доповнень, що полегшують повний моделювання реальної станції.

Однією з надбудов всередині robotstudio є екранізатор, це графічний інтерфейс, який дозволяє користувачеві розробляти програми для підвіски flex в більш інтуїтивному середовищі.

Створення графічного інтерфейсу для робота АВВ має виконуватися як мовою RAPID, так і режисером екранізації. Ці два компоненти повинні взаємодіяти між собою для обміну змінними та сигналами, наприклад, коли користувач змінює змінну або надсилає сигнал через екранізатора, це змінює значення в швидкій програмі, це означає, що програми працюють окремо, але взаємодіють між собою .

RAPID - це мова, що використовується при програмуванні різних підпрограм, що були використані в цій роботі, тому важливо розуміти основні поняття, властиві цій мові програмування, а також розуміти, як можна robotstudio використовувати для спрощення процедури програмування.

Перша концепція, яка буде проаналізована, - це основні механізми управління, які є різними типами процедур. Важливо розуміти мету кожної рутини, як вони працюють і коли їх слід використовувати.

Основною частиною програми буде вибір та розміщення інструментів, такі елементи розташовані в різних точках простору, тому буде досліджено дані руху, необхідні для програм RAPID.

Нарешті, буде вивчено різні системи координат, які RAPID використовує для визначення різних рухів робота.

Основним типом функції, що використовується в швидкому режимі, є процедура, це фрагмент коду, який працює послідовно і не повертає жодного значення [60, 20-43]. Ці функції використовуються для визначення шляхів, які мають важливе значення в будь-якій швидкій програмі.

Функція - це механізм управління, який при введенні повертає визначене значення, обчислене завжди однаково [60, 20-43]. Він в основному використовується, коли існує певний вираз, який потрібно повторити кілька разів під час застосування програми.



Пастки - це механізми управління, що використовуються для усунення перебоїв. Вони використовуються як відповідь на заданий вхід, що дозволяє програмі негайно перериватися для виконання заданого завдання. Цей тип процедур не можна назвати безпосередньо [60, 20-43].

Є 4 різні способи перервати швидку програму, щоб поступитися рутині пастки:

- Використання сигналів, які можуть бути цифровими або аналогічними, вихідними або вхідними;
- Від помилки, тобто, пастка буде запускатися, коли виникає певна помилка;
- Переривання можна запускати кожні кілька секунд, циклічно;
- Процедуру пастки можна запускати щоразу, коли змінюється змінна.

Шлях - це особливий тип процедури, який визначає шлях руху робота між точками. Він використовує інструкції "переміщення", щоб визначити, як робот повинен рухатися до заданої точки призначення.

Для визначення шляху необхідно вибрати, який рух буде робити робот. Рухи можуть бути або лінійними (вказівка "moveL"), де суглоби робота обертаються, щоб дозволити лінійний рух кулаком, або спільним видом руху, де, якщо шлях лінійний чи ні, не має значення (вказівка "moveJ").

Необхідно охарактеризувати швидкість руху, це визначається «v» з цифрою перед собою, це число визначає швидкість робота.

Іншим параметром для визначення шляху є зона, це відповідає розташуванню, де робот повинен припинити рух до цілі всередині поточної інструкції переміщення та ініціює рух до цілі всередині наступної інструкції переміщення. Він визначається z і цифрою перед ним, або "штрафом", якщо користувач хоче, щоб робот досяг точної точки призначення.

Нарешті, необхідно охарактеризувати інструмент, який використовує робот, та посилання на те, що координати визначені.

```

PROC pick_tool_one()
  IF peca=False THEN
    ferr1:=TRUE;
    MoveJ Home1,spd2,fine,Macho\WObj:=Workobject_1;
    MoveJ target12,spd2,fine,Macho\WObj:=Workobject_1;
    MoveJ target13,spd2,fine,Macho\WObj:=Workobject_1;
    MoveJ target11,spd2,fine,Macho\WObj:=Workobject_1;
    PulseDO PegaB0;
    MoveJ target14,spd2,fine,Macho\WObj:=Workobject_1;
    MoveJ Home1,spd2,fine,Macho\WObj:=Workobject_1;
  ENDIF
ENDPROC

```

Рис. 4.2 Приклад шляху

На рисунку 4.2 можна побачити різні компоненти інструкцій з переміщення. Спочатку це визначається як тип руху, а потім місце, куди повинен рухатися робот, потім зона, потім інструмент і система координат.

У процедурі шляху деякі інструкції визначають дії, які повинен виконати робот з даною ціллю. На малюнку 23 можна побачити приклад цього випадку. Після інструкції переміщення до "target11" з'являється функція з позначкою "PulseDO PickX0", це вказує роботіві імпульсувати цифровий вихід з позначкою "Pick0", як тільки закінчить інструкцію переміщення до цілі 11.

Цілі це точка, куди повинен рухатися робот, визначається цілями. Це елементи даних, які визначають задану позицію та задану орієнтацію, яку робот може відвідати. Це визначається щодо робочого об'єкта, а також визначає конфігурацію робота.

Позиція - це просторове розташування в системі координат, яку повинен відвідати робот.

Він визначається координатами x, y та z.

Орієнтація - це кути рами інструменту при розміщенні у визначеній мішені, вона виражається в кватерніонах і відповідає кутам, які повинен мати кулак при розміщенні на цілі.

Конфігурація являє собою тип конфіденційних даних, який визначає, як слід розміщувати суглоби робота при досягненні:

- перше значення вектора представляє квадрант першої осі;
- друге значення вектора представляє квадрант четвертої осі;
- третє значення вектора представляє квадрант шостої осі;

- четверте значення вектора представляє квадрант віртуальних осей, це використовується для представлення центру кулака робота щодо іншої осі.

Квадранти починають перераховуватися з 0, представляючи перший позитивний квадрант, потім вони перелічуються проти годинникової стрілки, це означає, що другий позитивний квадрант представляється числом один, а третій - числом два [60, 20-43].

Негативні квадранти починаються з мінус один і перераховуються за годинниковою стрілкою, зменшуючись, тому мінус один - це перший негативний квадрант, а мінус два - другий негативний квадрант тощо.

Отже, якщо, наприклад, ми маємо конфігурацію (0,1,2, -1), перша вісь розташована в першому квадранті (кут від  $0^\circ$  до  $-90^\circ$ ), четверта вісь - у другому квадранті ( $90^\circ$  до кута  $180^\circ$ ), а шоста вісь розташована на першій негативній осі (кут від  $0^\circ$  до  $-90^\circ$ ).

Більшість цілей неможливо досягти з кожною конфігурацією, тому користувач повинен вибрати дійсну конфігурацію. Цілі можна визначити за допомогою інтерфейсу на robotstudio, за допомогою цього методу можна протестувати різну конфігурацію та вибрати дійсну. За допомогою швидкого неможливо автоматично перевірити конфігурації робота.

На рисунку 4.3 ми бачимо визначену ціль, перша частина відповідає положенням x, y та z, другий вектор відповідає орієнтації, вираженій в кватерніонах, третій вектор - цільова конфігурація, а останній вектор визначає зовнішню спільну вісь який використовується для визначення положень осей додаткових осей, позиціонерів або маніпуляторів заготовки.

```
CONST robtarget Home1:=[[604.695,-91.788,300.268],[0,1,0,0],[0,-2,1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
```

Рис. 4.3 Приклад RobTarget

Світова система координат (WCS) є основним еталоном усієї робочої станції (роботизованої комірки). Ця система координат є найвищою в ієрархії, і всі інші системи координат мають посилання на цю.

Робочі об'єкти Робочий об'єкт - це система координат, яка використовується для опису положення заготовки та представляє фізичне розташування об'єкта на робочій станції [60, 20-43].

Робочий об'єкт складається з двох кадрів: кадру користувача та кадру об'єкта. Усі запрограмовані позиції будуть пов'язані з об'єктом кадру, який визначається відповідно до кадру користувача, який вказаний про світову систему координат, рис. 4.4 [60, 20-43].

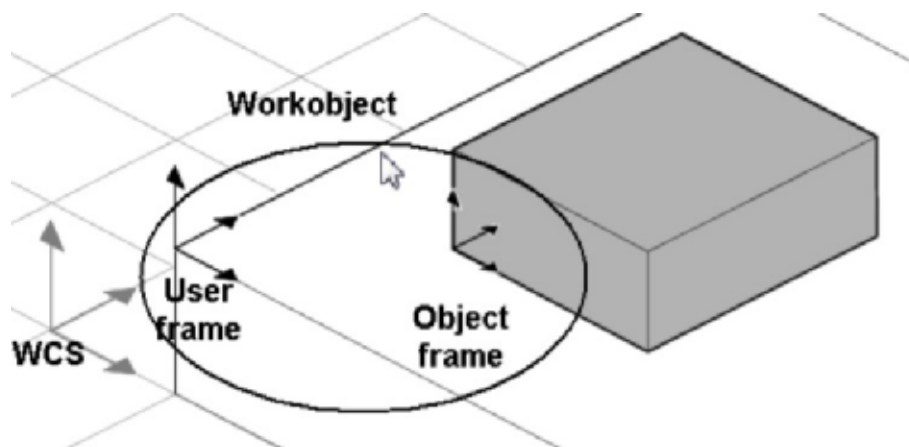


Рис. 4.4 Система координат робочого об'єкта [60, 20-43]

Ця система координат особливо корисна завдяки своїй гнучкості, переконфігурація полегшується завдяки використанню двох кадрів для визначення системи координат. Коли потрібна повторна калібрування, необхідно лише відрегулювати користувальницький кадр, і всі цілі, визначені для цього робочого об'єкта, будуть відповідно скореговані. Робочий об'єкт також корисний, коли робот повинен рухатися відповідно до заданої геометрії.

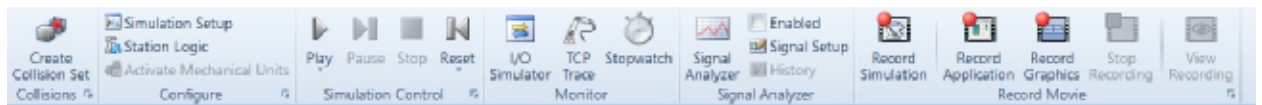
Кадр інструменту - це система координат, пов'язана з даним інструментом, вона має як орієнтацію, так і розташування, як ціль, і використовується для полегшення процедури програмування будь-якого руху, де цей інструмент задіяний.

Ця система координат в основному визначається в робочому кінці інструменту, наприклад у зварювальному пальнику, рама інструменту визначається в кінці пальника. з орієнтацією z, що вказує на місце зварювання.

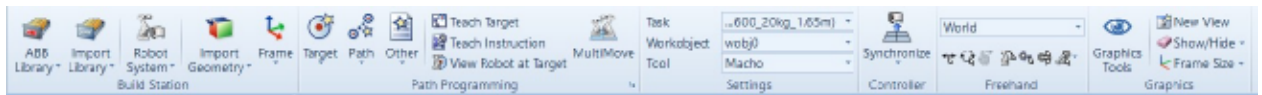
Робот-студія АВВ - це програма, яка використовується для імітації реальних роботизованих станцій АВВ, вона має ряд бібліотек, де користувач може вибрати даного робота, запрограмувати його та змоделювати реальну станцію.

Ця програма має графічний інтерфейс, який імітує справжнього робота, який виконує різні завдання, це дуже приваблива система, оскільки вона дозволяє користувачеві бачити різні запрограмовані процедури, що працюють на станції, так само, як це було б у справжнього робота.

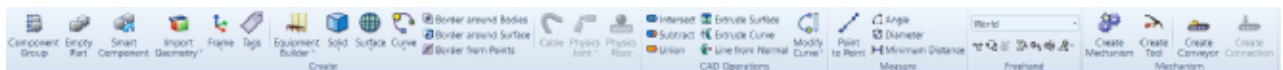
Це програмне забезпечення також дозволяє проводити більш прямий тип програмування, оскільки воно має ряд кнопок, що полегшують створення цілей, шляхів, робочих об'єктів, інструментів тощо. На рисунку 4.5 можна побачити серію кнопок, які дозволяють створення різних візуальних елементів.



(a) Зйомка екрану



(b) Параметри сигналу



(c) Швидкі дані

Рис. 4.5 Різні функції кнопок

Розумні компоненти У багатьох різних станціях та моделюваннях необхідність використання розумних компонентів, фактично ці компоненти є властивостями, пов'язаними з певним інструментом або об'єктом, і використовуються для імітації певної функції

Наприклад, для імітації вибору та розміщення компонентів можуть бути використані кріплення, які з'єднують два об'єкти в моделюванні, змушуючи їх рухатись, має один, і детахери, які скасовують належність прикріплювача.

Розумні компоненти можуть також імітувати датчики для виявлення об'єктів усередині імітації, а також можуть імітувати постійні рухи, щоб імітувати, наприклад, конвеєр.

Деталі Використовуючи robotstudio, можна імпортувати геометрії, побудовані за допомогою програмного забезпечення САПР. Ці геометрії можуть мати різне призначення, і вони можуть, наприклад, імітувати виріб, який повинен вибрати робот, або перешкоду, яку робот не може торкнутися.

Ці деталі також є основою для імітації інструментів, можна визначити задану геометрію як інструмент, яким може користуватися робот, можна навіть визначити рух усередині цих інструментів, наприклад, замикання та відкривання затискачів захватного інструменту.

Процес створення цього гнучкого додатка-підвіски за допомогою режисера просто зрозуміти. На головній сторінці є інтерфейс, де користувач перетягує різні елементи керування в робочу область, що можна побачити на рисунку 4.6, це область, яка згодом буде експортована до підвіски flex. Потім користувач повинен визначити, що робитиме кожен із об'єктів у робочій зоні, використовуючи інший інтерфейс, як показано на рисунку 4.7.



Рис. 4.6 Порожня робоча зона

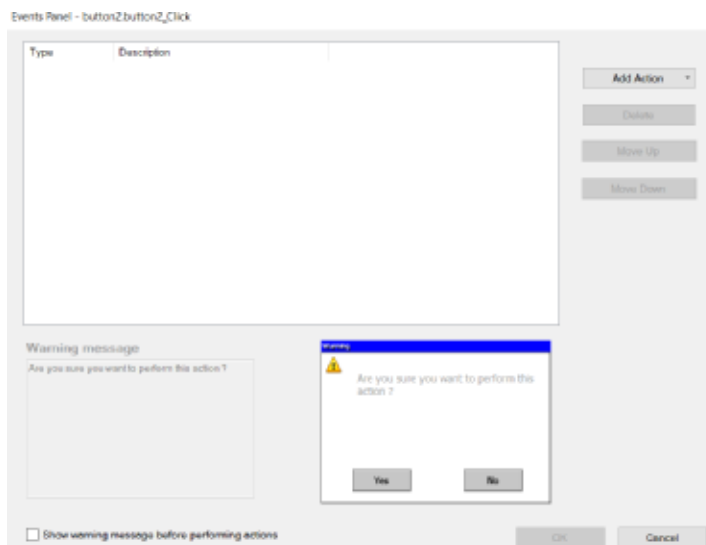


Рис. 4.7 Екран визначення

На рисунку 4.8 можна побачити найпоширеніші елементи керування, що використовуються в програмах сценаристів. Ці елементи керування можуть мати різні функції і становлять основні інструменти, які програміст використовує для визначення НМІ.

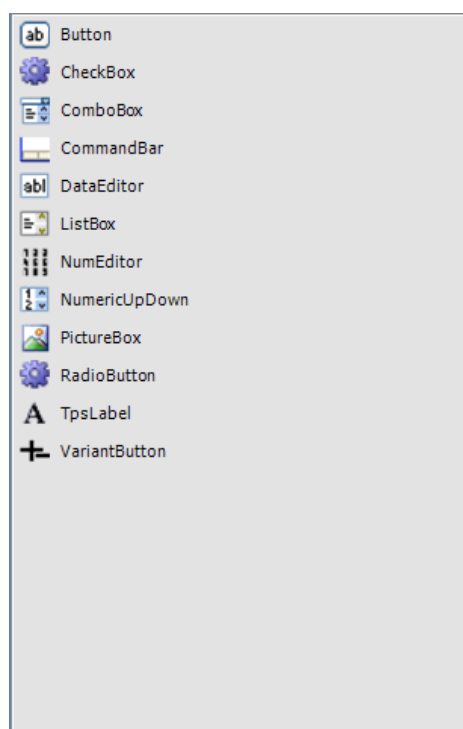
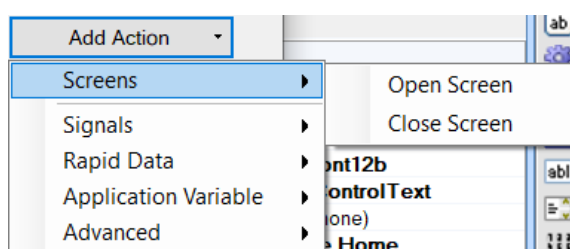


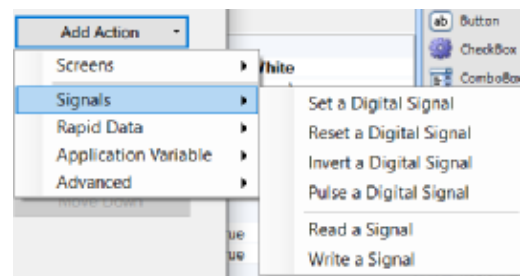
Рис. 4.8 Найпоширеніші засоби контролю

Найбільш основним об'єктом, який використовується в режисері екрану, є кнопка. Щоб розмістити кнопку в НМІ, програміст повинен перетягнути цей компонент у робочу область, потім він може визначити його властивості та функції, натиснувши на кнопку.

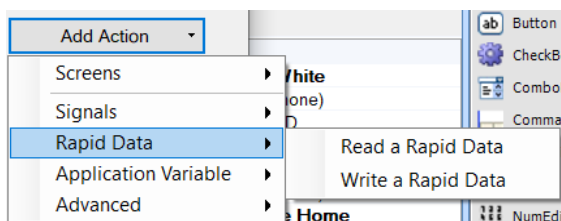
Цей контролер може виконувати різні функції, він може відкривати і закривати екран, він може читати, писати, встановлювати, імпульсувати, інвертувати або скидати сигнал, він може читати або писати швидкі дані, що є змінною в межах швидка частина проекту, або він може прочитати або записати змінну в додатку сценариста. Ці функції видно на рисунку 4.9.



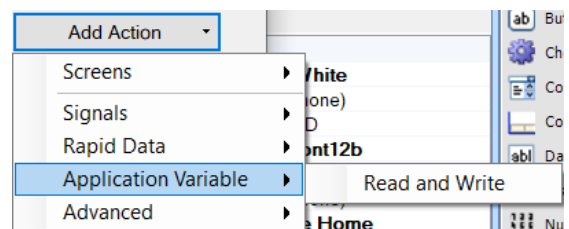
(a) Відкрити / закрити екрани



(b) Параметри сигналу



(c) Швидкі дані



(d) змінні програми

Рис. 4.9 Різні функції кнопок

Ще одним дуже поширеним елементом управління, що використовується в цій програмі, є поле зі списком. Ці елементи використовуються, коли програмісту потрібно визначити ряд значень, з яких користувач може вибрати одне, наприклад, користувачеві може бути запропоновано вибрати інструмент із масиву доступних інструментів.

Значення в цих комбінованих полях визначаються в меню властивостей під даними, вони прив'язані до масиву опцій, реалізованих далі в програмі



RAPID. У попередньому прикладі поле зі списком буде обмежене масивом, де оголошено всі доступні інструменти.

Значення всередині списку сполучень також може бути прив'язане до однієї постійної змінної всередині швидкої програми, це означає, що коли користувач вибере значення всередині списку сполучень, стійка змінна, до якої прив'язано поле списку, також буде відповідно змінюватися.

Зв'язування змінних здійснюється за допомогою меню властивостей, яке видно на рисунку 4.10.

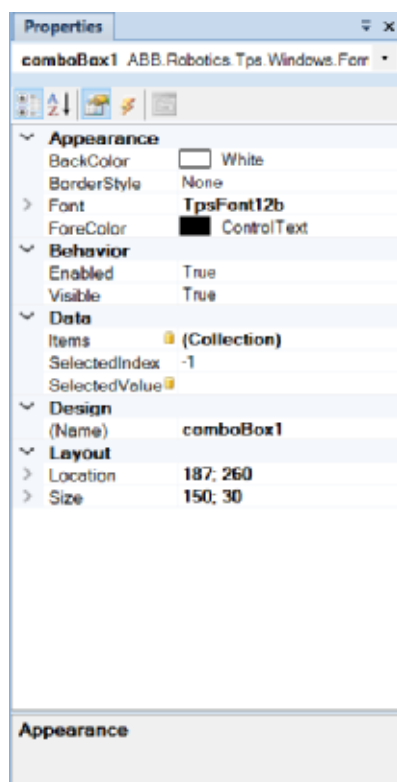


Рис. 4.10 Меню властивостей

Елементом, який може бути використаний для надання зворотного зв'язку з користувачем, є світлодіод, це візуальний елемент, який буде світитися за певних умов і може бути пов'язаний як сигналом, так і змінною. Наприклад, світлодіод може бути доданий, щоб повідомити користувача, доступний певний інструмент чи ні.

Іншими корисними елементами є мітки, це поля з заданим текстом, і їх можна використовувати для надання основних вказівок або визначення певного інструменту. Щоб визначити мітку, користувач повинен перетягнути цю команду з блоків керування, а потім написати ту інформацію, яку він хоче відобразити.

Є також текстові та числові поля, які є елементами, де користувач може вільно визначати цифри та текст відповідно. Ці елементи корисні, наприклад, для визначення координат, оскільки цей елемент не прив'язаний до масиву, це означає, що користувач може визначити будь-яке значення для цих координат.

## **4.2 Розробка та дослідження робототехнічної комірки**

Перше, що слід зробити в цій системі, це створити станцію, яка буде імітувати станцію, що робиться в RobotStudio. Це моделювання є одночасно графічним завдяки візуальному відображенню робочої станції та вірним реальності, оскільки воно може бути застосовано безпосередньо до станції без необхідності великої подальшої роботи.

Як вже зазначалося, робот - це ABB 2600 20кг 1,65 м, який міститься в бібліотеках, що надаються в robotstudio, тому потрібно лише вибрати згадану бібліотеку та відповідний контролер для створення базової станції, що можна побачити на рисунку 4.11.

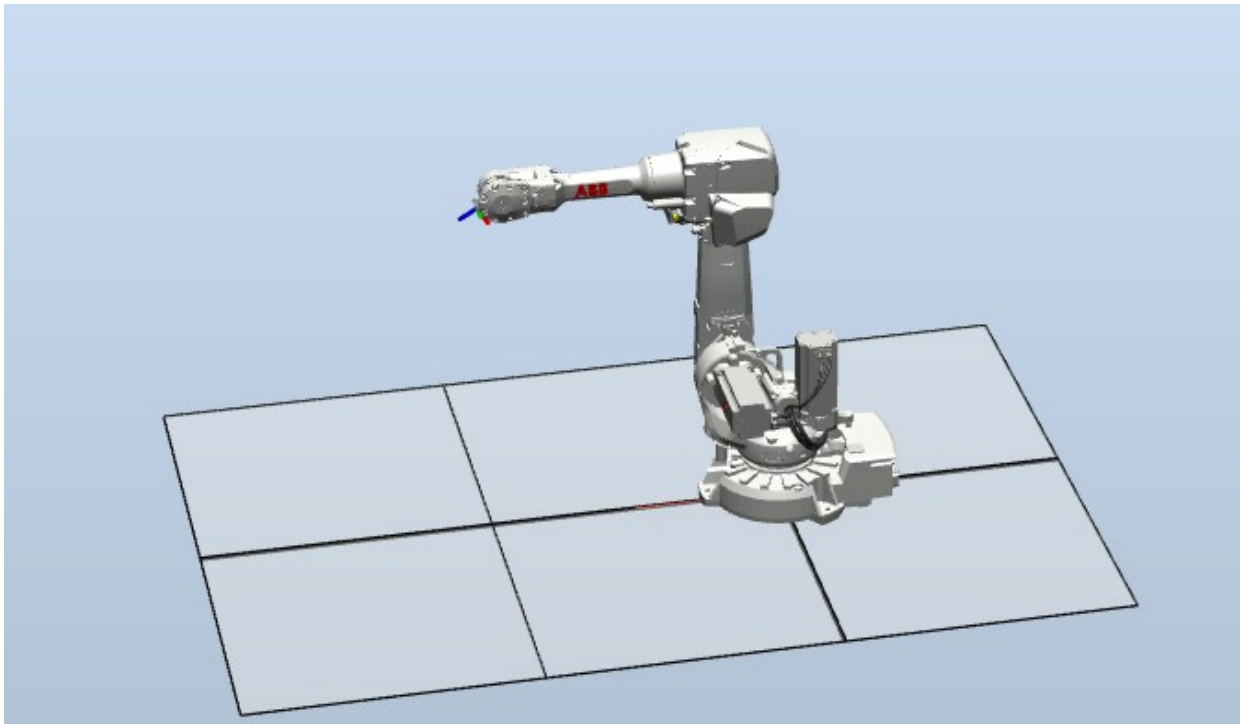


Рис. 4.11 Робоча станція

Після того, як станцію було визначено, важливо імпортувати, створити та приєднати інструмент, який буде використовуватися до робота, в цьому випадку інструментом є інструмент, що змінює інструмент.

Щоб побудувати цей компонент, спочатку необхідно отримати тривимірне зображення інструменту, це завдання спрощується, оскільки такий файл доступний для завантаження Zimmer. Після завантаження моделі її можна безпосередньо імпортувати на станцію з відповідним типом файлу, який є .SAT-файлом. На рисунку 4.12 можна побачити пристрій для заміни інструменту на робочій станції.

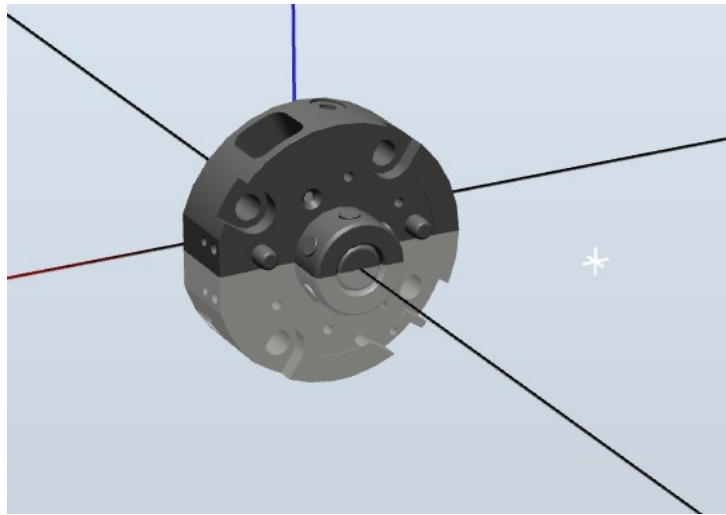


Рис. 4.12 Імпортний пристрою для зміни інструментів

За допомогою імпортованого інструменту необхідно визначити кадр, який згодом буде центральною точкою інструменту. У пристрої, що змінює інструмент, центральна точка інструмента відповідає центру фланця, який знаходиться всередині пристрою для зміни інструменту, щоб виконати з'єднання між обома деталями. Орієнтація цього інструменту повинна бути з паралельною фланцю.

Після імпорту геометрії інструменту та визначення точки центру інструмента можна скопіювати інструмент.

У robotstudio було обрано опцію створення інструменту, а використана імпортована геометрія має інструментальну частину та раніше створений кадр як центральну точку інструменту. Він також визначався як маса та центр ваги цього інструменту для подальшого калібрування.

Як тільки станція та інструмент були визначені належним чином, необхідно було імпортувати стійку, тримачі та інструменти, які збиралися використовувати. Цей процес у всьому схожий на той, який використовувався для створення геометрії інструменту, було створено 3D-модель, а потім імпортовано до робочої студії за допомогою відповідного типу файлу.

Імпортна стійка для інструментів мала лише мету тестування та вимоги до моделювання, і на даний момент це не було визначеною частиною проекту.

Ця стійка була розроблена якомога більш поширеною та простою, вона мала на меті імітувати можливу стійку для інструментів. Використовувану геометрію можна побачити на рисунку 4.13, знову ж це може бути використана іншу геометрію.

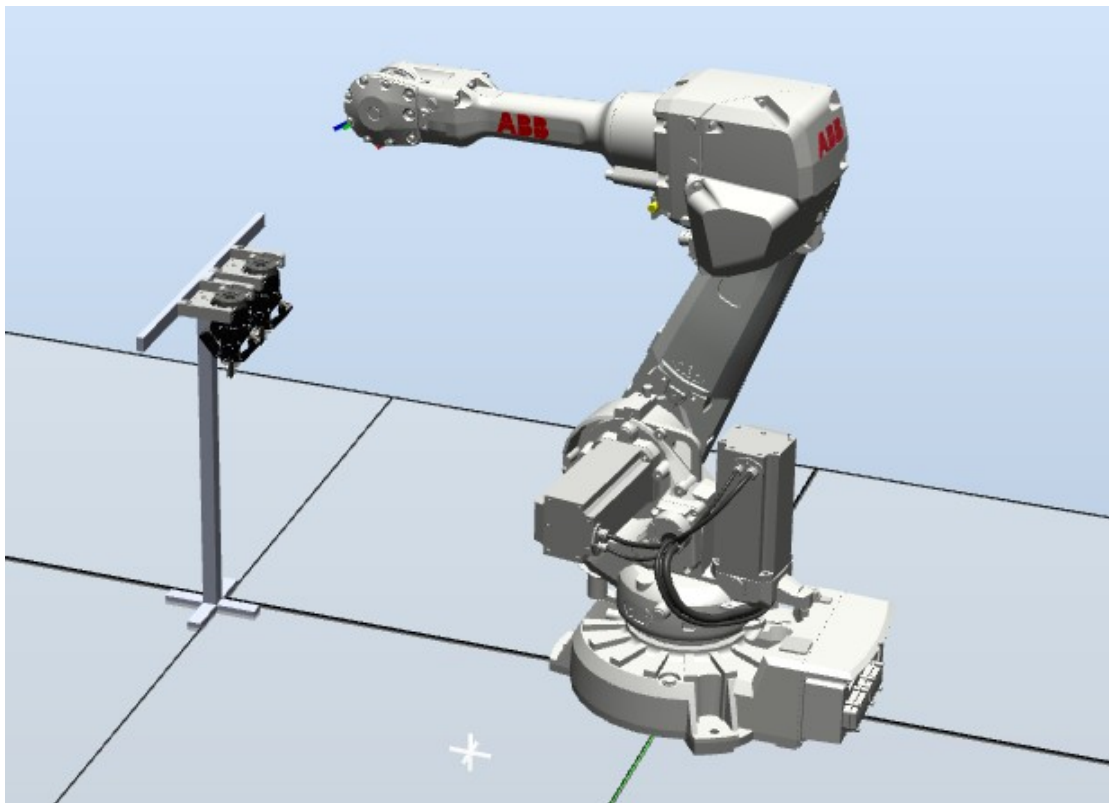


Рис. 4.13 Станція з інструментами

Існувала також необхідність у імітації датчиків, пов'язаних із стійкою, в даному випадку, світловідбивних датчиків, які дозволять роботу виявляти присутність інструментів у визначеному тримачі. Ці датчики можна імітувати за допомогою розумних компонентів, він використовувався по одному для кожного з тримачів.

Для роботи деяких інструментів може знадобитися вхід, захоплювач потребує вказівки закрити або відкрити - це кінчики пальців, зварювальний інструмент потребує інформації про те, коли слід зварювати, чоловічий замінник інструменту також повинен отримати сигнал, щоб знати, коли він може активувати пневматичний датчик щоб зв'язатися з жіночим

інструментом, що змінює інструмент. Розумні компоненти знову можна використовувати для імітації цих ефектів.

Для визначення інтелектуального компонента необхідно спочатку створити порожній інтелектуальний компонент, а потім визначити функцію. Для імітації вибору інструментів, який він використовував як кріпильний пристрій, цей компонент «зчеплює» 2 частини між собою, коли вони активні, вони рухаються як одна. Прикріплювач складається з двох частин, перша - це інструмент, який вибере предмет, у цьому випадку чоловіча частина інструмента, що змінює інструмент, а друга - компонент, який збирається вибрати, який є інструментом. Для відокремлення компонентів використовували детхатери, які визначаються аналогічно, але мають протилежну функцію.

Цей інтелектуальний компонент працюватиме лише з певною комбінацією змінного інструменту для чоловіків та інструментом, визначеним, це означає, що неможливо мати універсальний інтелектуальний компонент для вибору чи розміщення будь-якого інструменту. Для імітації декількох інструментів необхідно створити кілька розумних прикріплювачів та знімачів, по одному для кожного з інструментів.

Вбудована станція має функцію, яка допомагає розробляти та моделювати програму, не пов'язану з остаточною програмою. Цю остаточною програму можна розділити на три етапи ієрархії:

Перший - етап калібрування, в цей момент генеруються всі шляхи, цілі та робочі об'єкти, необхідні для програми інструмента зміни інструменту, а потім вони зберігаються для використання на наступних етапах

Другий етап - це момент ручного випробування, в основному, де визначаються та зберігаються всі процедури, необхідні для інструмента для зміни інструменту. Він також використовується для перевірки того, чи можна безпечно підібрати та розмістити інструменти.

Нарешті, на етапі програми цей момент справді не вписаний у створену програму, він відповідає користувацькій частині програми, де він може викликати створені підпрограми для вибору та розміщення інструментів, які зберігаються в момент ручного тестування .

Два перші етапи програми складаються з двох інших частин. Додаток сценарію, який є НМІ, і він використовується для спрощення використання програми, і RAPID програма, яка керує роботом.

Ці дві частини не є цілком окремими, оскільки вони повинні спілкуватися між собою, щоб ділитися змінними та замовленнями.

На рисунку 4.14 можна побачити пояснювальну схему зв'язку між цілою програмою.

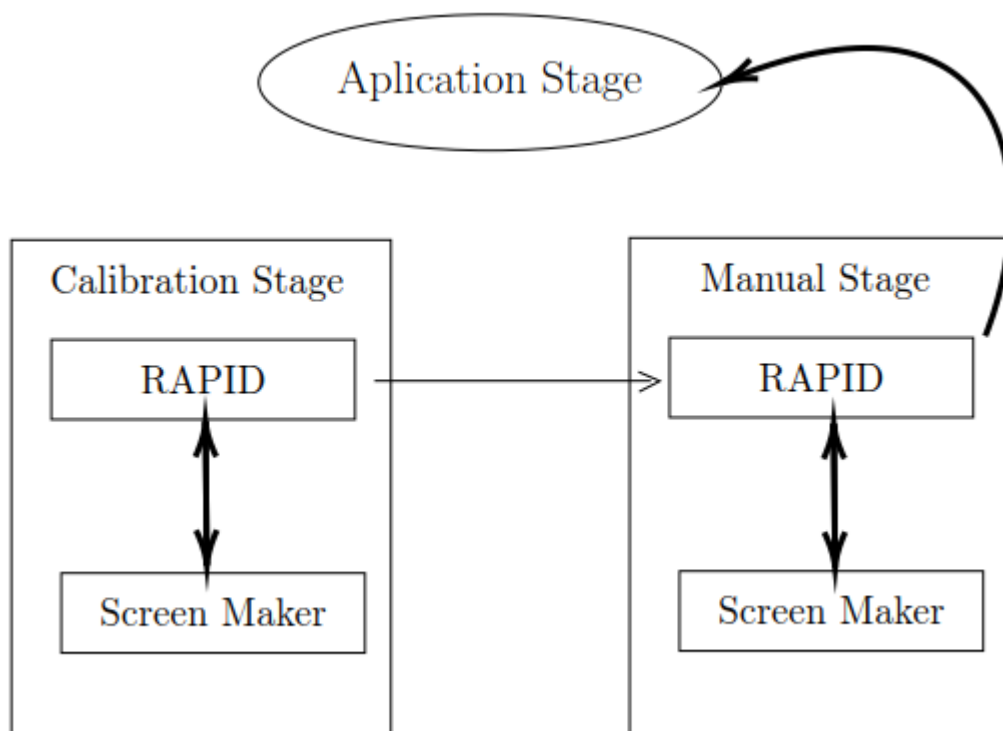


Рис. 4.14 Зв'язок між усіма частинами програми

Зв'язок між програмами RAPID на етапі калібрування та етапом ручного тестування та зв'язок між програмою RAPID на етапі ручного керування та етапом застосування є дуже прямим, оскільки вони в основному поділяють змінні.

Спілкування між режисером екрану та RAPID є дещо складнішим, проте є дещо систематичним. У цьому розділі буде наведено більш синтетичне пояснення того, як виконуються деякі з цих комунікацій, та відображення різних спільних змінних.

Одним з найбільш часто використовуваних механізмів у цій програмі є процедури захоплення. Вони використовуються, оскільки деякі процедури, присутні в програмі, повинні виконуватися, коли користувач натискає кнопку.

Вже проаналізовано різні способи переривання програми. Немає сенсу переривати процедури із повідомлення про помилку або циклічно.

Можна було б або перервати процедури із сигналу, або зі стійкої змінної. З точки зору користувача, було б значно простіше використовувати постійні змінні замість сигналів, оскільки перша передбачає створення всіх сигналів вручну на кожній із станцій. За допомогою методу змінних інформація може зберігатися в програмі зміни інструменту.

Спосіб використання цих процедур захоплення:

- Користувач натискає кнопку в програмі створення екрану.
- Додаток змінює змінну на true у програмі RAPID
- Ці зміни ініціюють процедуру пастки.
- Після завершення цієї процедури захоплення значення змінюється на false. Ця поведінка може бути узагальнена за допомогою графічного елемента, як показано на рисунку 4.15.



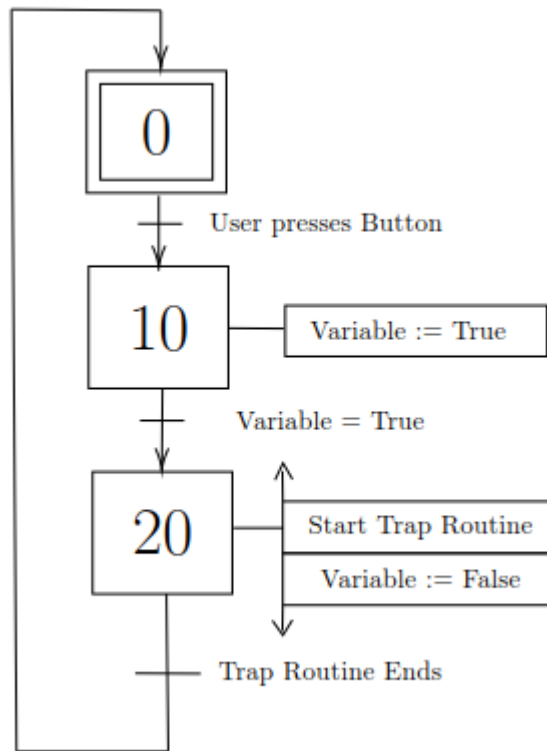


Рис. 4.15 Пастка циклу

Спільні змінні, підпрограми та кнопки можна побачити в таблиці 5. У наступному розділі функція кожної процедури буде детально пояснена.

Таблиця 5: Розподіл пасток

Trap	Variable	Button
TC_calibrate	TC_I_Calibrate	New Tool
TC_Pick	TC_I_Pick	Pick Tool
TC_Place	TC_I_Place	Place Tool
TC_Home_Trap	TC_I_HomeTrap	Define Home
TC_Changespeed	TC_I_Changespeed	Change Speed

Ще одним дуже використовуваним елементом у цій програмі є комбіновані поля, ці елементи використовуються для вибору значення з масиву параметрів. Для цього в програмі RAPID створюється масив, що визначає значення у списку сполучень всередині сценарію, які користувач може вибрати. Пояснити цю поведінку можна на рисунку 4.16.

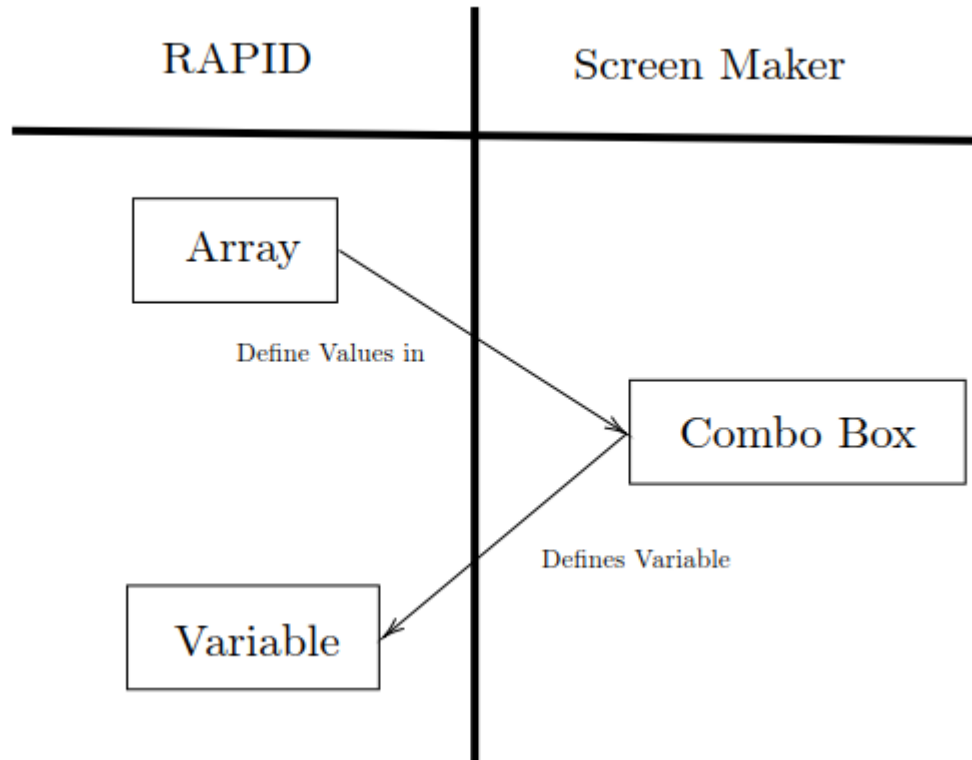


Рис. 4.16 Структура комбінування коробок

Значення, яке користувач вибирає всередині цього комбінованого вікна, визначає стійку змінну всередині програми RAPID, яку потім можна вільно використовувати в інших частинах програми.

Таблиця 6: Змінні поля зі списком

Array	Combo Box	Variable
TC_Slot	Tool Number	TCnumber
TC_AvailebelSpeed	Change Speed	TC_spd1

Було запропоновано початкове рішення для НМІ, щоб дозволити користувачеві швидко відкалібрувати систему зміни інструменту; цей НМІ можна побачити на рисунку 4.17.

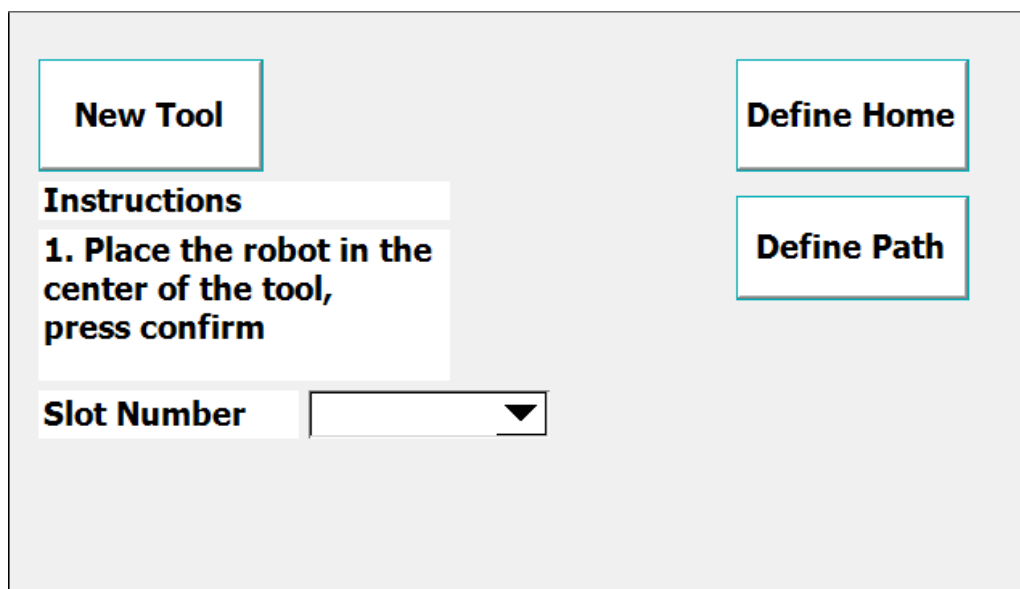


Рис. 4.17 Система калібрування НМІ

У представленому рішенні користувач повинен визначити число за допомогою комбінованого вікна, яке буде пов'язане з інструментом, який він претендує на калібрування. Потім користувач відводить робота до місця розташування інструменту та натискає підтвердження, це перерве швидку основну програму та ініціює процес побудови цілей, шляхів та робочих об'єктів, необхідних для визначення інструменту. Як тільки це буде завершено, користувач може визначити наступну ціль, використовуючи той же метод.

Кнопка «визначити дім» дозволяє користувачеві визначити нову домашню позицію. При натисканні цієї кнопки змінюється змінна всередині швидкого і починається рутинний режим.

Робот визначатиме вихідну позицію як позицію, в якій він перебуває в даний час, тому користувач повинен спочатку просунути робота до потрібного місця, гарантуючи, що кулак робота має правильну орієнтацію.

Не всі інструменти мають однакові розміри, певний інструмент може бути ширшим, а інший - більшим, це означає, що не всі шляхи для вибору або розміщення інструментів повинні бути однаковими, шлях для вибору інструмента більшого розміру повинен мати більший діапазон руху, ніж рух

щоб вибрати менший інструмент. Цю програму також слід застосовувати до різних власників, які потребують різних шляхів.

Кнопка «визначити шлях» відкриває екран, де можна змінювати розмір рухів, цей новий екран можна побачити на рисунку 4.18.

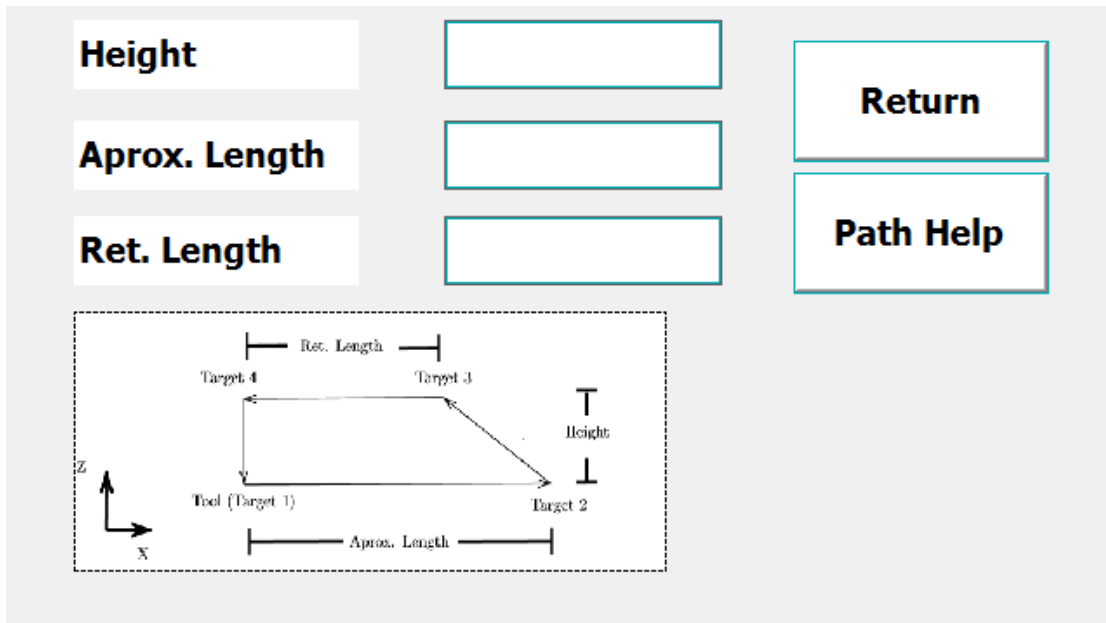


Рис. 4.18 Екран визначення шляху

Значення всередині "висота", "Прибл. Довжина "та" Ret.Length "- це значення основних розмірів для шляхів, редагування числового поля перед міткою змінить розмір пошти шляху для наступного визначеного інструменту, це не змінить розмір будь-який із раніше визначених інструментів.

Така поведінка отримується шляхом прив'язки цього числового поля до змінних всередині швидкої програми, це згодом буде використано для визначення різних цілей.

Ми бачимо на рисунку 4.19 спектр рухів, що виконуються для шляху, цей малюнок можна збільшити, натиснувши кнопку «Довідка про шлях».

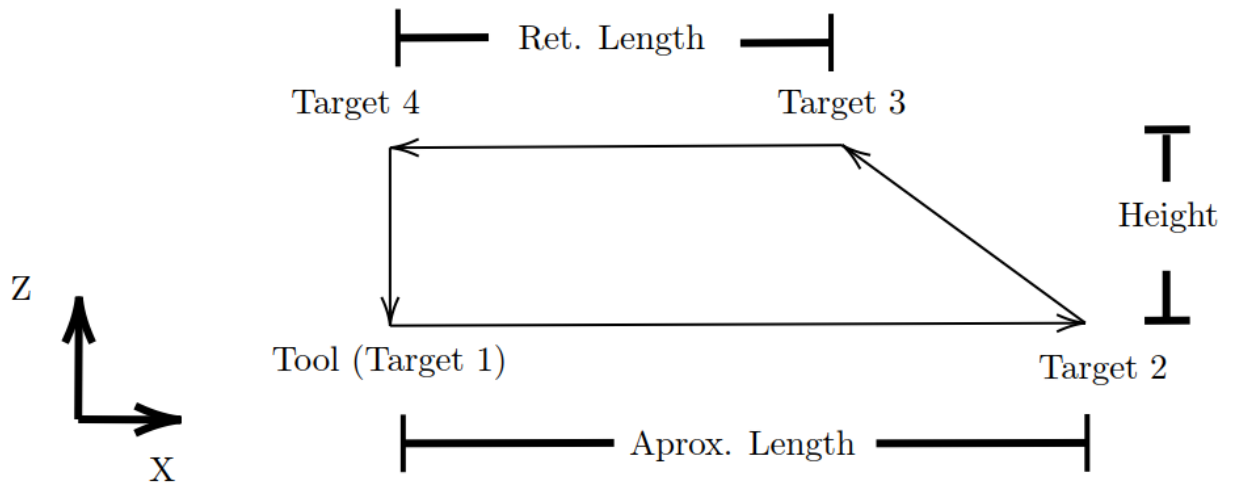


Рис. 4.19 Спектр рухів

Тепер необхідно проаналізувати, як була побудована програма RAPID. У першому модулі (файлі) програми підключені всі процедури захоплення, як, наприклад, створюється комбінована змінна, кнопка, пастка.

Процедури захоплення розміщені в різних модулях проекту, для їх підключення спочатку необхідно створити змінну `intnum`, яка активується змінною, виставленою в розділі "структура програми", і з'єднати її з процедурою захоплення, яка повинна бути пов'язана з цю змінна. На рисунку 4.20 можна побачити код, який з'єднує різні процедури.

```

PROC TC_Traps()

!Call Calibration system
CONNECT TC_signal1 WITH TC_Calibrate;
IPERS TC_I_Calibrate, TC_signal1;

!Call Pick Tool
CONNECT TC_signal2 WITH TC_Pick;
IPERS TC_I_Pick, TC_signal2;

!Call Place Tool
CONNECT TC_signal3 WITH TC_Place;
IPERS TC_I_Place, TC_signal3;

!Call Define Home
CONNECT TC_signal4 WITH TC_Home_Trap;
IPERS TC_I_Home_Trap, TC_signal4;

!Call Change Speed
CONNECT TC_signal5 WITH TC_Changespeed;
IPERS TC_I_Changespeed, TC_signal5;

ENDPROC

```

Рис. 4.20 Підпрограми пастки

Отже, беручи для прикладу першу пастку, сигнал “TC1” зв’язується з пасткою “TC Calibrate”, і коли ця змінна змінюється на 1, пастка активується. "TC I Calibrate" - це змінна, відповідальна за зміну значення "TC signal1" на 1.

Усі пастки, необхідні для етапу калібрування, зберігаються в модулі, який називається «калібрування», і тепер вони будуть проаналізовані окремо.

Нова кнопка інструменту пов'язана з процедурою калібрування ТС, яка розділена на 2 процедури:

- Процедура створення робочих об'єктів, пов'язаних із цим інструментом;
- Процедура формування цілей, необхідних для вибору та розміщення цього інструменту.

Найкращим та найавтоматичнішим способом визначення всіх цілей, необхідних для шляху, є спочатку визначення робочого об'єкта для кожного з інструментів, а потім визначення всіх цілей для цього інструменту щодо створеного робочого об'єкта. Отже, спочатку викликається процедура створення робочих об'єктів.

Як було сказано раніше, робочий об'єкт представлений двома кадрами, що є найважливішим користувальницьким фреймом, саме цей фрейм потрібно змінити, щоб згодом визначити всі необхідні цілі. Користувацький фрейм визначається стосовно фіксованого посилального, який є універсальним, цим фреймом може бути, наприклад, світова система координат.

Було визначено робочий об'єкт на верхньому краю стійки; усі робочі об'єкти, що використовуються в шляхах, повинні бути створені стосовно цього посилання, це було позначено як "Workobject 1".

Визначення універсального робочого об'єкта полегшує перекалібрування реальної системи, оскільки всі шляхи та цілі будуть охарактеризовані щодо цієї, тому, якщо в реальній системі є проблеми через погану калібрування, не потрібно перекалібрувати всі цілі та робочі об'єкти, необхідно лише відкалібрувати цей єдиний робочий об'єкт.

Після того, як підпрограма для генерації робочих об'єктів, як було викликано, RAPID реєструє орієнтацію та положення робота в цей поточний момент і асоціює його з робочим об'єктом, що знаходиться в масиві. Позиція в цьому масиві визначається «номером ТС», ця змінна прив'язана до комбінованого вікна, яке було раніше створено в додатку сценариста, процедуру можна побачити на рисунку 4.21.

```
Proc TC_add_work_obj()  
  
    robotarget := CRobT(\Tool:=macho \WObj:=Workobject_1);  
  
    wobjarray{TCnumber}.uframe.trans := robotarget.trans;  
  
    wobjarray{TCnumber}.uframe.rot := robotarget.rot;  
  
Endproc
```

Рис. 4.21 Створення програми робочого об'єкта

У мові програмування RAPID кожен робочий об'єкт повинен бути попередньо оголошений та охарактеризований для будь-якого використання,

такий тип даних не дозволяє створювати порожній масив із невизначеним розміром. Це означає, що кожен робочий об'єкт повинен бути чітко записаний у програмі. Цей факт обмежує кількість інструментів, які можуть бути реалізовані на станції, якщо заявлено 3 робочих об'єкти, що може бути лише 3 інструменти, без безпосередньої зміни швидкої програми.

Для вирішення цієї ситуації слід оголосити велику кількість робочих об'єктів, які дозволять використовувати більш широкий спектр інструментів. На цій станції було вирішено розглянути 16 робочих об'єктів. Робочі об'єкти були збережені всередині масиву, позначеного як "TC wobjarray".

Після створення всіх робочих об'єктів необхідно визначити цілі, які будуть необхідні для шляхів. Процедура, відповідальна за створення цілей, викликається відразу після змагання «TC add wor obj».

Для генерації всіх цілей необхідно враховувати власника, який буде використовуватися, оскільки це обумовлює рухи, які слід робити. Для початкового припущення слід враховувати вертикальний тримач, однак його може змінити користувач.

Аналізуючи попередній розділ, можна визначити 4 різні мішені, перша ціль відповідає внутрішній частині інструменту, де встановлений зв'язок між чоловічим та жіночим інструментом, що змінює інструмент, друга ціль відповідає лінійному положенню поза зазором, який направляє інструмент до машинок для стрижки, ціль номер 4 знаходиться вище інструменту, ці цілі видно на рисунку 4.19.

Процедура генерації всіх цілей викликається відразу після створення робочих об'єктів. На даний момент фланець чоловічого інструмента для заміни інструменту все ще знаходиться в центрі жіночого інструмента для зміни інструменту, де його слід вибрати, аналізуючи рисунку 4.22, можна зробити висновок, що це місце може бути записане як ціль 1.



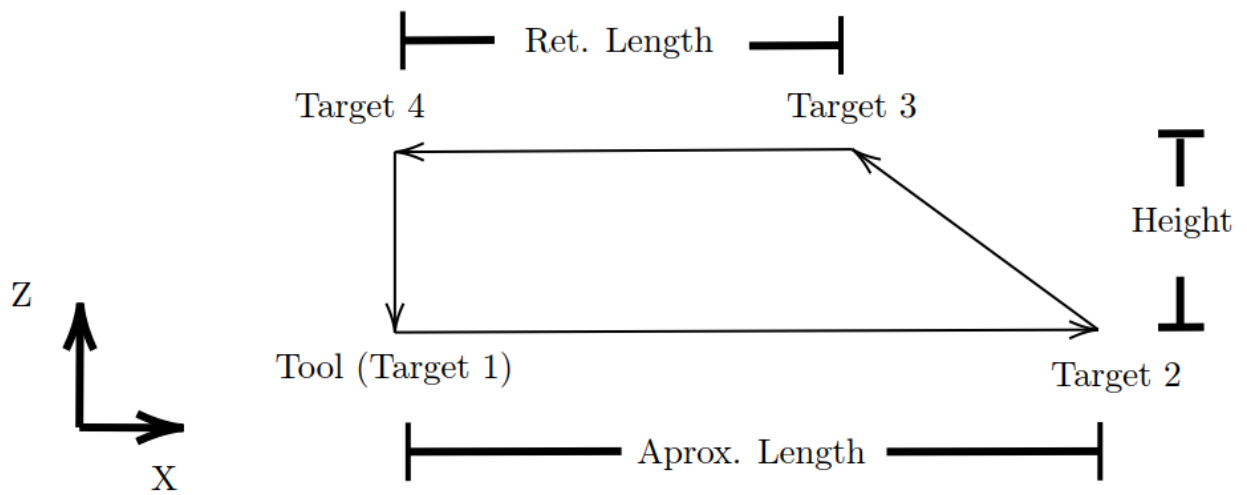


Рис. 4.22 Спектр рухів

У всіх реалізованих цілях кулак робота спрямований вниз, що є значною перевагою в програмуванні робота, оскільки всі цілі зміщені одна від одної, це справедливо для всіх розвинених власників, однак, можливо, діє для всіх власників. Враховуючи це, необхідно лише визначити відстань, яку потрібно реалізувати від кожної цілі, наприклад, якщо користувач хоче, щоб ціль 2 знаходилася на відстані 300 мм від цілі 1, все, що потрібно зробити, це створити нову ціль за допомогою ця додаткова відстань.

Для створення цих цілей використовується функція зсуву в межах швидкого. Ця функція створює нову ціль на певній відстані від раніше визначеної. У таблиці 6 ми можемо побачити базові зміщення, реалізовані в цілях, а на рисунку 4.23 можна побачити реалізовану підпрограму.

```

PROC TC_Generate_Targets()

    targets{TCnumber,1}.trans := wobjarray{TCnumber}.uframe.trans; !peça local
    targets{TCnumber,1}.rot := wobjarray{TCnumber}.uframe.rot;

    targets{TCnumber,3} := offs(targets{TCnumber,1}, height, 0, proxlenght);
    targets{TCnumber,4} := offs(targets{TCnumber,1}, height, 0, 0);
    targets{TCnumber,2} := offs(targets{TCnumber,1}, 0, 0, +leflenght);

    FOR i from 1 to 4 DO

        reachebel:= IsReachable(targets{TCnumber,i},Macho, Workobject_1);

    ENDFOR

ENDPROC

```

Рис. 4.23 Створення базових точок

Таблиця 7: Рекомендовані налаштування

0.5			
target	x	y	z
1	0	0	0
2	-61	0	+107
3	-61	0	0
4	0	0	307

Це лише рекомендовані налаштування, і вони можуть працювати не для кожного інструменту, однак користувач може визначити власні відстані всередині числових полів, зображених на малюнку 34. Ці числові поля прив'язані до змінних "висота", "довжина проксі" та "ліва довжина" , і відповідають за визначення зміщення.

Усі згенеровані цілі записуються всередині порожньої матриці, у цьому випадку шляхи мають 4 цілі, тому нам потрібна матриця з 16 векторами з 4 цілей, кожен вектор містить ціль для свого робочого об'єкта, це означає, що він має цілі для однієї інструменти, тому вектор один має цілі для інструмента перший, другий вектор має цілі для другого інструменту тощо.

Також було додано функцію в рамках процедури, яка генерує цілі, щоб перевірити, чи всі цілі знаходяться в межах робочого діапазону, і ця перевірка в процедурі калібрування є важливою, оскільки вона запобігає помилкам на етапі виконання. Цю функцію можна побачити на рисунку 4.24.

```
FUNC bool IsReachable(robtarget pReach, PERS tooldata ToolReach, PERS wobjdata WobjReach)
! Check if specified robtarget can be reach with given tool and wobj.
!
! Output:
! Return TRUE if given robtarget is reachable with given tool and wobj
! otherwise return FALSE
!
! Parameters:
! pReach      - robtarget to be checked, if robot can reach this robtarget
! ToolReach   - tooldata to be used for possible movement
! WobjReach   - wobjdata to be used for possible movement

VAR bool bReachable;
VAR jointtarget jntReach;
bReachable := TRUE;
jntReach := CalcJointT(pReach, ToolReach\Wobj:=WobjReach);
RETURN bReachable;
ERROR

IF ERRNO = ERR_ROBLIMIT THEN
    bReachable := FALSE;
    TRYNEXT;
ENDIF
ENDFUNC
```

Рис. 4.24 Створення доступної функції

Кнопка "Визначити домашню" визначає вихідну позицію програми, є місце, куди робот повинен піти після або перед вибором інструменту. Це місце визначається за допомогою цілі, і для його калібрування робот повинен бути розміщений у вихідному положенні, яке бажано, щоб розташування зберігалось в цілі TC Home, цю процедуру можна побачити на рисунку 4.25.

```
TRAP TC_Home_Trap

robotarget := CRobT(\Tool:=macho \WObj:=Workobject_1);

TC_Home.trans := robotarget.trans;

TC_Home.rot := robotarget.rot;

ENDTRAP
```

Рис. 4.25 Домашня позиція

Після того, як усі цілі були сформовані, користувач тепер може перейти до наступної частини цього проекту, яка складається з етапу використання системи інструментальних інструментів, це вибір та розміщення інструментів.

### 4.3 Визначення експлуатаційних характеристик

Наступний етап цієї програми використовується для тестування процедур вибору та розміщення інструментів.

Було запропоновано початкове рішення для НМІ, яке можна побачити на рисунку 4.26. У цьому рішенні можна побачити комбіноване поле з написом «Номер інструменту», де всі визначені інструменти ідентифіковані та можуть бути обрані, це комбіноване поле безпосередньо прив'язаний до змінної всередині швидкої програми, яка визначатиме, який інструмент буде обрано.

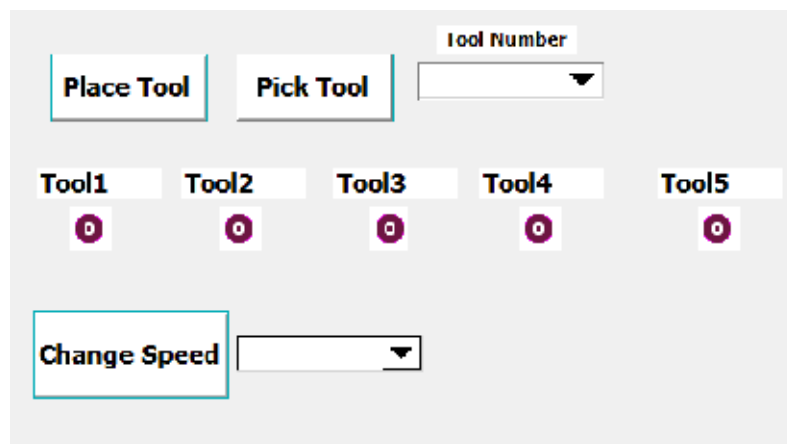


Рис. 4.26 Етап ручного тестування НМІ

Користувач повинен протестувати процедури вибору та процедури розміщення, для цього в НМІ є 2 кнопки, "інструмент вибору", який використовується для тестування режиму вибору, і "інструменти розміщення", які використовуються для тестування місця рутини інструменту. Ці кнопки запускають пастки, визначені в розділі "структура програми".

Аналізуючи рисунок 4.26, можна побачити 5 світлодіодів, значення цих світлодіодів пов'язане з інтелектуальними компонентами, що мають світловідбиваючі датчики, і призначено визначити, чи є у тримачі інструмент, позначений номером на етикетці.

Кнопка "змінити швидкість" дозволяє користувачеві визначити швидкість, з якою робот буде виконувати свої завдання, це прив'язано до масиву з різними доступними швидкостями, і це можна побачити на рисунку 4.27. Існує також опція "тест" швидкість "- це найнижча з можливих швидкостей, яку можна застосувати в роботі, вона використовується для перевірки, чи в будь-якій частині роботи інструмент або робот потрапляє на який-небудь із статичних елементів. Користувач вибирає цю швидкість, а потім запускає програму для вибору або розміщення певного інструменту; рух досить повільний, щоб користувач міг оцінити, чи зіштовхується інструмент у будь-який момент.

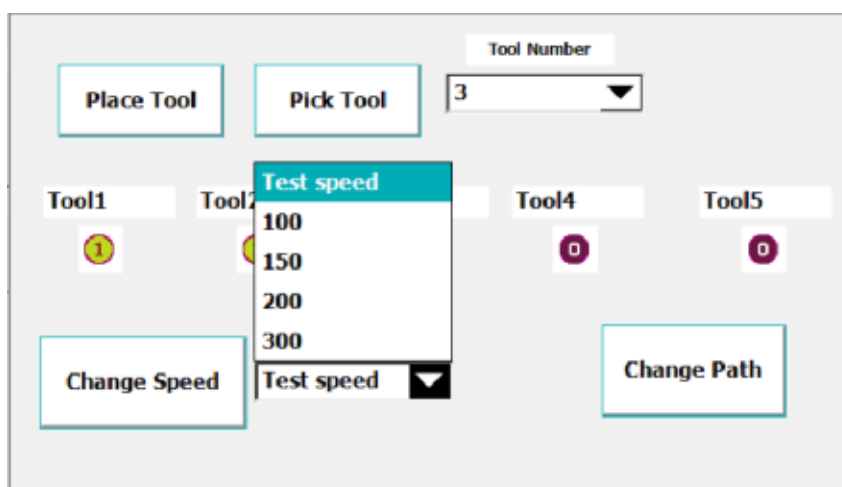


Рис. 4.27 Доступні швидкості

Процедура з назвою "TC Pick" відповідає за вибір інструменту, а програма "TC Place" відповідає за розміщення інструментів і запускається кнопкою, зазначеною в таблиці 5. Так само, як кожен робочий об'єкт повинен бути оголошеним як функціонуючим, тому кожна інструкція "переміщення", а отже, і кожен шлях, створює велику проблему при спробі ескалації рішення, декларуванні, наприклад, 200 шляхів та його окремому записуванні є неефективним та складним.

Як вже було сказано до того, як підпрограми захоплення використовують внутрішні змінні, які запускають підпрограму щоразу, коли її значення змінюється, однак кнопки екранізатора можуть змінювати значення лише на true або false, це означає, що значення повинно бути змінено назад до його початкове значення після завершення процедури.

```
TRAP TC_Pick

Tc_Pick_Proc TCnumber;

ISleep TC_signal2;
TC_I_Pick:=False;
IWatch TC_signal2;

ENDTRAP
```

Рис. 4.28 Вибір підпрограми

Зверніть увагу, що функції "ISleep" та "IWatch" не дозволяють спрацьовувати процедурі захоплення, коли процедури повертаються до початкового значення. Ці функції видно на рисунку 4.28.

Отже, на початку процедури цілі всередині інструкції переміщення будуть замінені цілями вектора, визначеними полем зі списком. Це дозволяє існувати лише один шлях, а цілі всередині цього шляху змінюються залежно від поля зі списком, наявного в додатку сценариста, що дозволяє отримати більш широкую програму з меншими обчислювальними потребами. Це видно на рисунку 4.29.

```

PROC Tc_Pick_Proc(num Toolnumber)

IF pickable=true THEN

pickable:=false;

target1:=targets{Toolnumber,1};
target2:=targets{Toolnumber,2};
target3:=targets{Toolnumber,3};
target4:=targets{Toolnumber,4};
ConfJ \On;
MoveJ TC_Home,spd2,fine,Macho\WObj:=Workobject_1;
MoveJ target3,spd2,fine,Macho\WObj:=Workobject_1;
MoveJ target4,spd2,fine,Macho\WObj:=Workobject_1;
MoveJ target1,spd2,fine,Macho\WObj:=Workobject_1;

MoveL target2,spd2,fine,Macho\WObj:=Workobject_1;
MoveJ TC_Home,spd2,fine,Macho\WObj:=Workobject_1;

ELSE
    ErrWrite "Tool in robot", "The robot is already holding a tool";
ENDIF

ENDPROC

```

Рис. 4.29 Процедура вибору інструменту

Більшість вказівок "переміщення" виконуються відповідно до спільного типу руху, це дозволяє збільшити гнучкість положення, робот може рухатися вільніше, не потребуючи забезпечення лінійного шляху.

Рух у напрямку до мішені 2, який полягає у взятті інструменту з тримача, є лінійним через наявність лінійної напрямної тримача, що використовується у вертикальному тримачі.

Вивчаючи малюнок 50, можна побачити, що існує змінна з назвою pickable, якщо ця змінна хибна, процедура вибору інструменту не запускається. Це гарантує, що робот не може вибрати інструмент, коли його вже вибрали, це може призвести до несправності роботи.

Якщо користувач все ще натискає кнопку, щоб вибрати інструмент, коли робот уже тримає інструмент, підвіска flex відобразить повідомлення про

помилку, інформуючи користувача про те, що інструмент вже існує у робота, ця помилка може бути видно на рисунку 4.30.

Ця змінна стає хибною, коли робот виконує інструкцію вибору, і стає істинною, дозволяючи вибирати новий інструмент, коли робот виконує інструкцію місця.

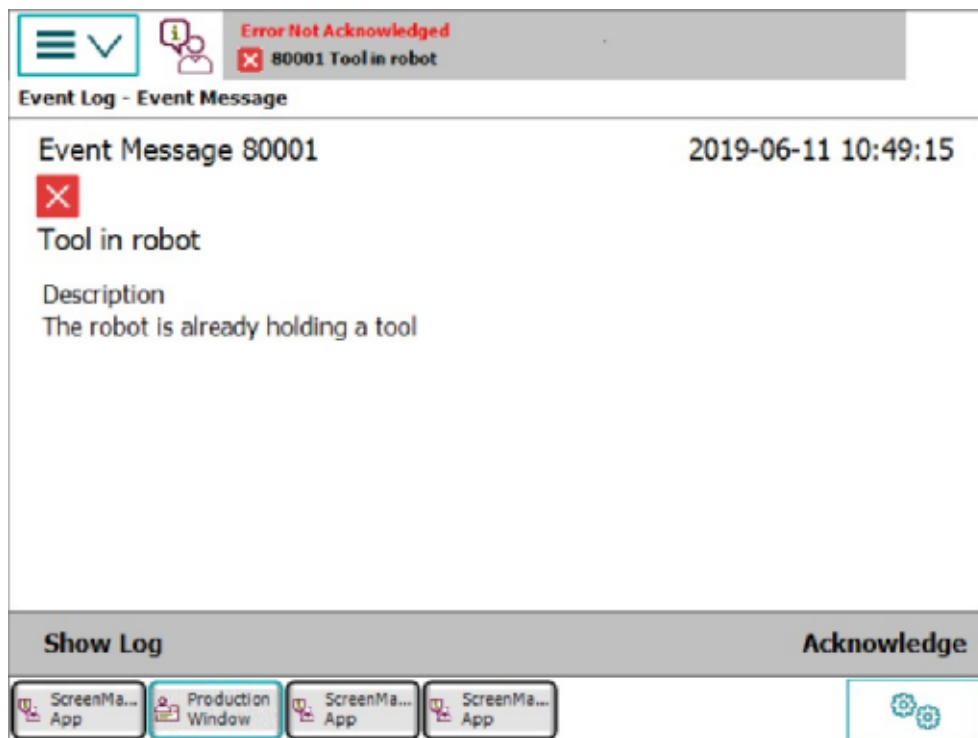


Рис. 4.30 Помилка інструменту в роботі

Також є заслугове на увагу функція з назвою «confJ», це функція, властива RAPID, вона дозволяє автоматично визначати спільну конфігурацію робота (якщо значення увімкнено) чи ні (якщо значення вимкнено).

Для цього додатка значення увімкнене, оскільки робот завжди повинен визначати ціль, що є менш важливою конфігурацією, з якою він досягає, це дозволяє більш плавно працювати, оскільки користувач ніколи не отримуватиме повідомлення про помилку, пов'язане з недійсною конфігурацією, після того, як буде виконано калібрування, однак, він має недолік щодо рухів робота, оскільки іноді це може бути незручним і не найефективнішим.



Процедуру захоплення, відповідальну за розміщення інструментів, можна побачити на рисунку 4.31, вона дещо схожа на інструкцію вибору, оскільки вони мають однакові цілі та типи рухів, однак для цієї процедури програма не замінить раніше створені цілі, це пов'язано з тим, що робот повинен завжди розміщувати інструмент в одному і тому ж місці, тому цілі, на які буде спрямований робот, щоб розмістити інструмент, залишатимуться однаковими незалежно від подальшої взаємодії користувача з полем зі списком.

```
PROC Tc_Place_Proc()  
  
    IF pickable=FALSE THEN  
  
        pickable:=true;  
  
        ConfJ \0n;  
        MoveJ target2,spd2,fine,Macho\WObj:=Workobject_1;  
        MoveL target1,spd2,fine,Macho\WObj:=Workobject_1;  
  
        MoveJ target4,spd2,fine,Macho\WObj:=Workobject_1;  
        MoveJ target3,spd2,fine,Macho\WObj:=Workobject_1;  
        MoveJ TC_Home,spd2,fine,Macho\WObj:=Workobject_1;  
  
    ELSE  
        ErrWrite "No tool in robot", "The robot is not holding any tool";  
  
    ENDIF  
ENDPROC
```

Рис. 4.31 Підпрограма базової точки

Якщо натомість від робота потрібно було розмістити інструмент у визначеному користувачем місці, цілі потрібно було б замінити, наприклад, для цілей усередині вектора, визначеного новим полем зі списком.

В обох підпрограмах може бути реалізована функція з назвою "PULSEDO", коли ця функція називається цифровим виходом, імпульсною, це являє собою сигнал, який надсилається від робота, який може мати різні функції. Цей вихід представляє сигнал, який повинен бути надісланий інструменту, коли він має можливість розмістити або вибрати інструмент, в

цьому моделюванні це може бути представлено за допомогою розумних компонентів, Attacher (для вибору) та знімача (для розміщення).

Цей тип компонентів може бути пов'язаний лише з дочірньою частиною, це означає, що в будь-який момент неможливо змусити робота вибрати будь-який інструмент, ми не можемо навчити робота вибирати довільний інструмент, він може вибрати лише визначені інструменти в розумних компонентах.

Для цілей моделювання та розгляду 3-х інструментів потрібно було б визначити 6 інтелектуальних компонентів, прикріплювач та знімач для кожного з інструментів.

Як тільки всі інтелектуальні компоненти будуть створені, інструменти потрібно буде визначити та зберегти у визначених слотах, наприклад, слотах 1 2 та 3. Швидко програму тоді потрібно буде змінити вручну, щоб робот знав, що при виконанні Посилання на ці слоти має імппульсувати сигнали, які активували б відповідні інтелектуальні компоненти. Код, який буде виконувати ці завдання, видно на рисунку 4.32

```
IF TCnumber=1 THEN
    PulseDO PegaC0;
ENDIF

IF TCnumber=2 THEN
    PulseDO PegaB0;
ENDIF

IF TCnumber=3 THEN
    PulseDO Pega0;
ENDIF
```

Рис. 4.32 Моделювання приєднання та від'єднання

Як вже було сказано, це лише гіпотетичний сценарій, якщо буде реалізований інший набір інструментів, всі розумні компоненти потребують заміни.

Справжній робот, однак, не потребуватиме такої великої чіткості, оскільки це посилає реальний сигнал на інструмент, і в цьому випадку інструмент є чоловічим інструментом, що змінює інструмент, який може вибрати будь-який інструмент, який буде використовуватися для багатовиробнича лінійка.

Програма все одно вимагатиме надсилання сигналу на інструмент, однак, цей сигнал завжди буде однаковим і даватиме порядок випередження для пневматичного циліндра всередині чоловічого інструмента для зміни інструменту.

Швидкість зміни - це кнопка, що використовується для зміни швидкості робота, цей елемент змінює змінну "spd2" усередині інструкцій переміщення, що відповідає за визначення швидкості в цій інструкції.

Швидкість, яка буде визначена, зберігається в масиві з написом "Швидкості ТС", який повинен бути постійним масивом даних про швидкість, однак дані про швидкість не можуть бути пов'язані безпосередньо за допомогою комбінованого вікна всередині екранного виробника.

Для вирішення цієї проблеми масив був складений із рядків, причому кожна з рядків мала визначене ім'я, пов'язане з відповідною швидкістю, тому швидкість v100 була б пов'язана зі рядком "100". Друга рядкова змінна була створена і пов'язана зі значенням у комбінованому вікні редактора екрану, тому це значення змінюватиметься відповідно до значення всередині комбінованого поля, яке визначає користувач.

Після того, як і масив, і змінна створені, можна створити просту програму, яка пов'язує дані швидкості зі значенням, яке має бути реалізовано, і яке було визначено у списку.

Цю програму слід викликати, коли користувач натискає кнопку зміни швидкості, тому існує пастка з назвою "Tc changes speed". Ці процедури можна побачити на рисунках 4.33 та 4.34.

#### TRAP Changespeed

```
IF spd1 = speed{1} THEN
    spd2 := v10;
ENDIF

IF spd1 = speed{2} THEN
    spd2 :=v100;
ENDIF

IF spd1 = speed{3} THEN
    spd2 :=v150;
ENDIF

IF spd1 = speed{4} THEN
    spd2 :=v200;
ENDIF

IF spd1 = speed{5} THEN
    spd2 :=v300;
ENDIF

ENDTRAP
```

Рис. 4.33 Зміна швидкості

```
PERS string speed{5} := ["Test speed", "100", "150", "200", "300"];
PERS String spd1;
```

Рис. 4.34 Значення всередині масиву

Цей розділ є основним поясненням того, як користувач може завантажувати, впроваджувати та використовувати цей додаток на своїй станції. Зверніть увагу, що існує кілька обмежень щодо того, де можна використовувати цю програму, навіть незважаючи на те, що користувач може її адаптувати для кращого задоволення своїх потреб:

Цю програму можна використовувати лише у роботах ABB Robots, які є єдиним типом роботів, сумісних із використовуваною мовою програмування.

Його можна використовувати лише з певним інструментом для зміни інструменту без зміни калібрувальних даних інструменту. Однак це можна змінити в модулі каліброваних даних.

Перше, що повинен зробити користувач, це завантажити програму, яка доступна на веб-сайті, створеному для цієї єдиної мети (<https://abbtoolchanger.wordpress.com/>). Веб-сайт знаходиться на дуже ранній стадії, однак він виконує свої цілі. Головну сторінку видно на рисунку 4.35. Після завантаження програми користувач повинен витягти файли із заархівованого файлу на свій комп'ютер.

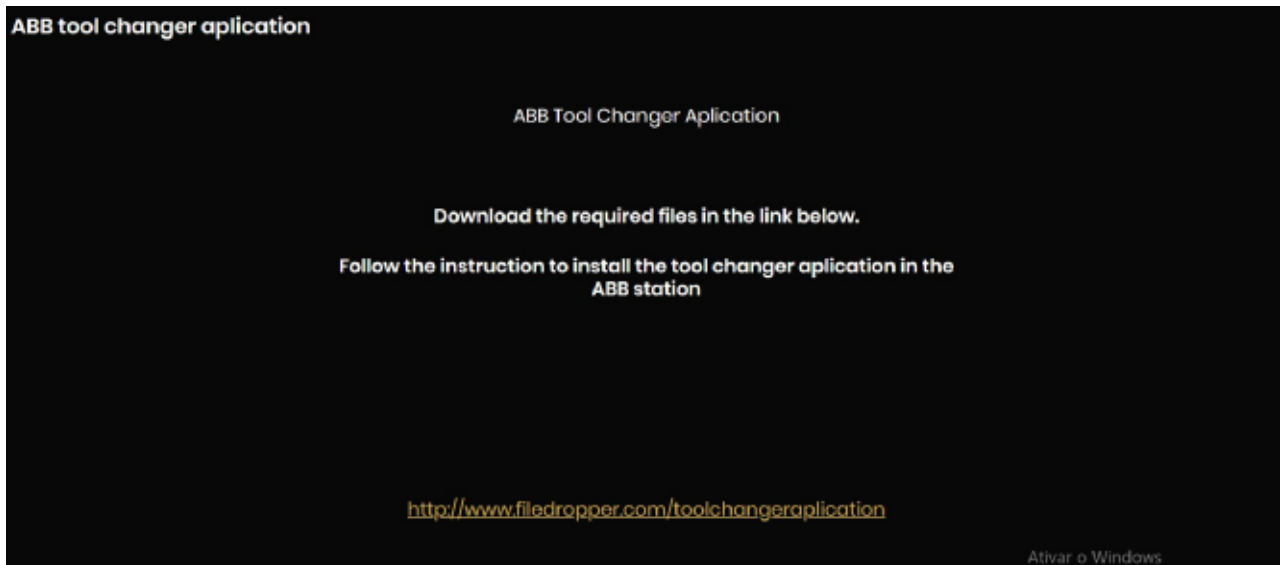


Рис. 4.35 Головна сторінка веб-сайту

У папці, в якій є програма (що можна побачити на рисунку 4.36), є 3 інші папки, в одній з них є весь ШВИДКИЙ код, необхідний для запуску цієї програми. Для реалізації цього коду в програмі robotstudio користувач повинен перейти на вкладку «швидкий» і завантажити всі модулі на відповідний контролер.

Nome	Data de modificaç...	Tipo	Tamanho
RAPID	22/07/2019 15:54	Pasta de ficheiros	
SM_Calibration_Stage	22/07/2019 15:18	Pasta de ficheiros	
SM_ManualTesting_Stage	22/07/2019 15:19	Pasta de ficheiros	
Instructions(README)	22/07/2019 15:15	Documento de tex...	0 KB

Рис. 4.36 Папка, що містить файли замінника інструментів

У цій програмі є 2 інші папки, вони містять як додатки екранізатора, так і можуть бути завантажені безпосередньо на роботстудіостанцію. Для цього користувач переходить на вкладку екранізатора, вибирає завантажене, вибирає папку, відповідну програмі сценариста, а потім відкриває файл .smk.

Щоб викликати підпрограми, які вибирають та розміщують інструменти в програмі користувача, спочатку користувач повинен активувати процедури перехоплення, викликавши процедуру «ActivateTraps». Це активує всі процедури захоплення. Після цього користувач може використовувати обидві програми сценарію для калібрування кожного інструменту без подальшої роботи.

Після завершення цієї процедури додаток знаходиться на станції, однак, користувач повинен спочатку відкалібрувати «TC workobject1» до відповідної користувальницької стійки інструментів.

Користувач тепер також може використовувати інструкцію вибору та розміщення, просто написавши у своєму коді "Tc pick proc (num)", де "num" представляє номер інструменту, який він хоче вибрати. Щоб розмістити інструмент, він повинен написати "TC place".

Існує ще одна функція, розроблена для більш швидкого застосування процедур, вона називається "TC Auto Pick", вона використовується для вибору інструменту незалежно від поточного інструменту, який утримується. Якщо робот тримає інструмент, який не є правильним, виклик цієї процедури автоматично змусить робота помістити поточний інструмент і вибрати правильний. Цю функцію можна побачити на рисунку 4.37.

```
PROC TC_Auto_pick(num Toolnumber)
    IF pickable=TRUE THEN
        Tc_Pick_proc Toolnumber;
    ELSE
        Tc_Place_Proc;
        Tc_Pick_Proc Toolnumber;
    Endif
Endproc
```

Рис. 4.37 Функція автовибору

## 5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

### 5.1 Визначення виробничої лінії

Останньою частиною цієї роботи було побудова робоча лінія, яка б імітувала та перевіряла різні елементи, розроблені протягом роботи.

Для перевірки корисності цієї програми було запропоновано термінальну частину виробничої лінії, де робот АВВ сортував різні продукти. Для відокремлення цих частин роботу потрібно було б використовувати різні інструменти. На рисунку 5.1 видно репрезентативну фігуру товарної лінійки.

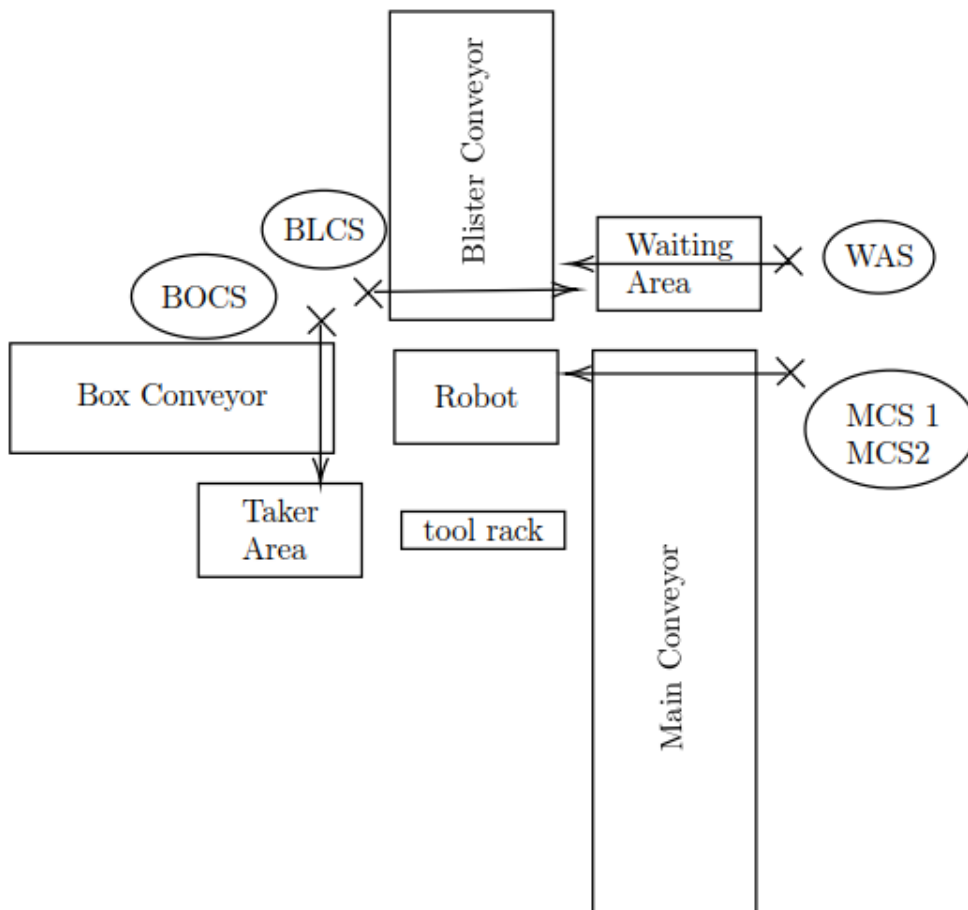


Рис. 5.1. Схема промислової лінії

Вважалося, що це два різні типи продуктів, першим був блістер, який був проаналізований у попередній главі, цей блістер слід вибрати за допомогою



інструменту, розробленого для цього завдання, а саме телескопічного. Другим продуктом була проста плоска коробка, яку потрібно було підібрати за допомогою всмоктувального захоплювача. Цей продукт потрапляв би до робочої зони робота через конвеєр.

Як тільки виріб дістанеться до робота, його можна буде ідентифікувати за допомогою датчиків, щоб вирішити, який інструмент слід використовувати. Якщо робот не тримає правильний інструмент, він помістив би інструмент, який він зараз тримав, і вибрав інструмент, необхідний для сортування товару, якщо робот не тримав жодного інструменту, він просто вибрав інструмент а потім відсортувати товар, і якби робот тримав правильний інструмент, він просто вибрав би товар. Цю поведінку можна підсумувати за допомогою графіків, представлених на рисунках 5.2 та 5.3.

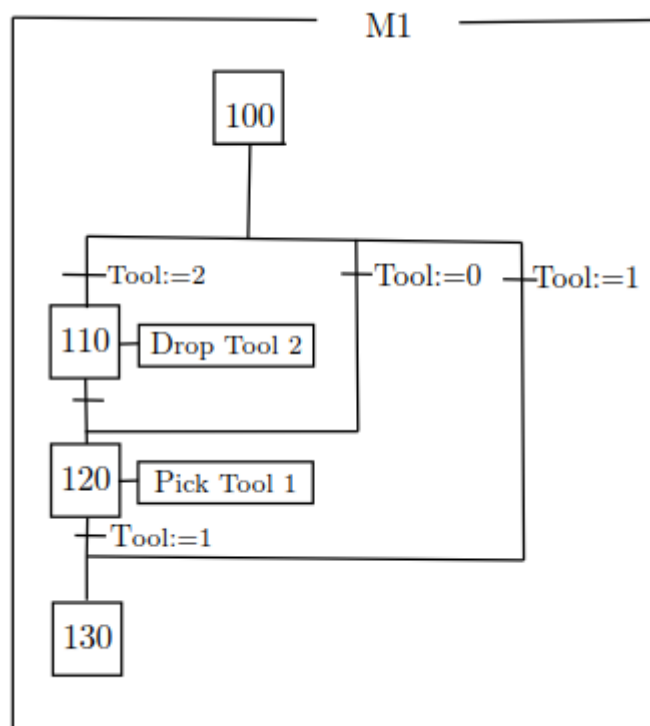


Рис. 5.2. Макрос M1

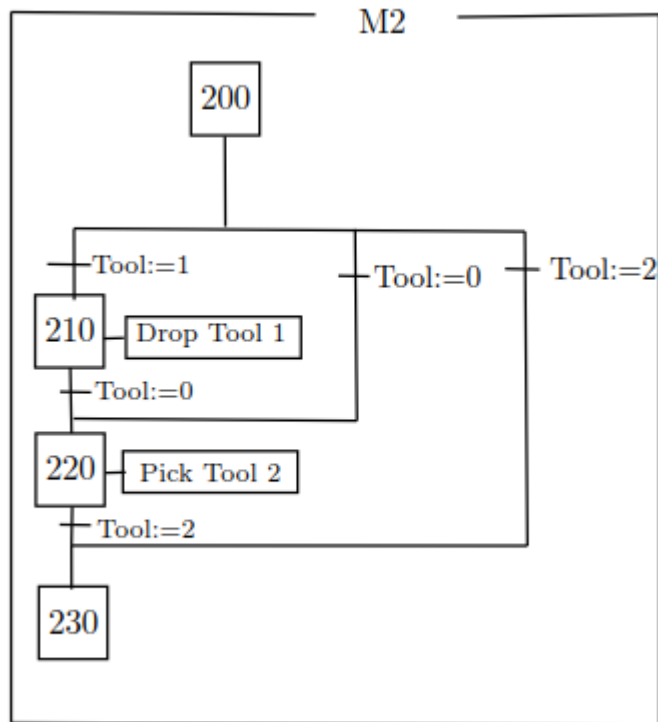


Рис. 5.3. Макрос M2

Після того, як робот підібрав правильний продукт, він помістив його в колону, яка вивезе товар на іншу лінію, залежно від типу продукту, робот міг би помістити товар в один із двох конвеєрів - один для блістера та один для коробки. Якщо з якихось причин у початковій колоні вже був товар, робот поміщав вибраний товар у зону очікування і продовжував нормальну роботу, поки лінія не буде очищена. Як тільки лінія буде очищена, і робот не буде використовуватися, товар у зоні очікування буде відсортований у правій лінії. Якщо потрібно було б відсортувати новий товар, і використовувалася кореспондентська лінія, а зона очікування була заповнена, товар розміщувався б у зоні, куди працівник приїхав би забрати його. Цю функціональність можна узагальнити у графічному графіку на рисунку 5.4.

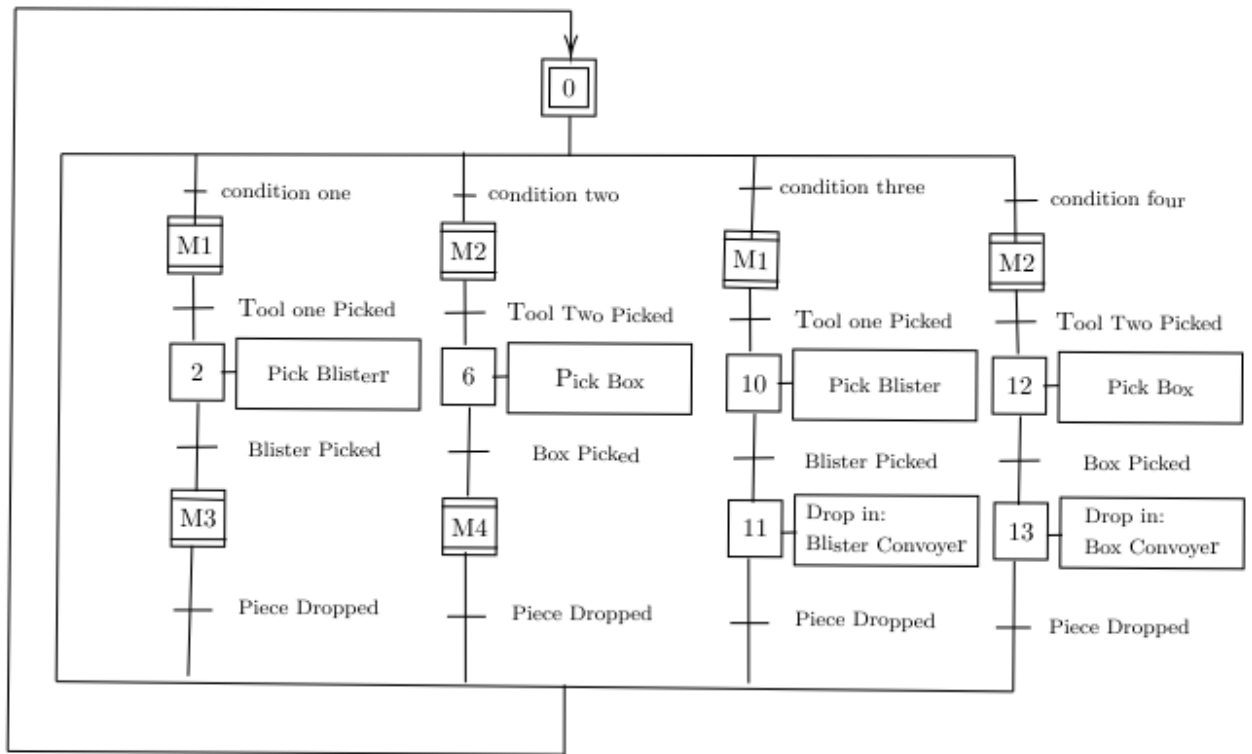


Рис. 5.4. Головный макрос

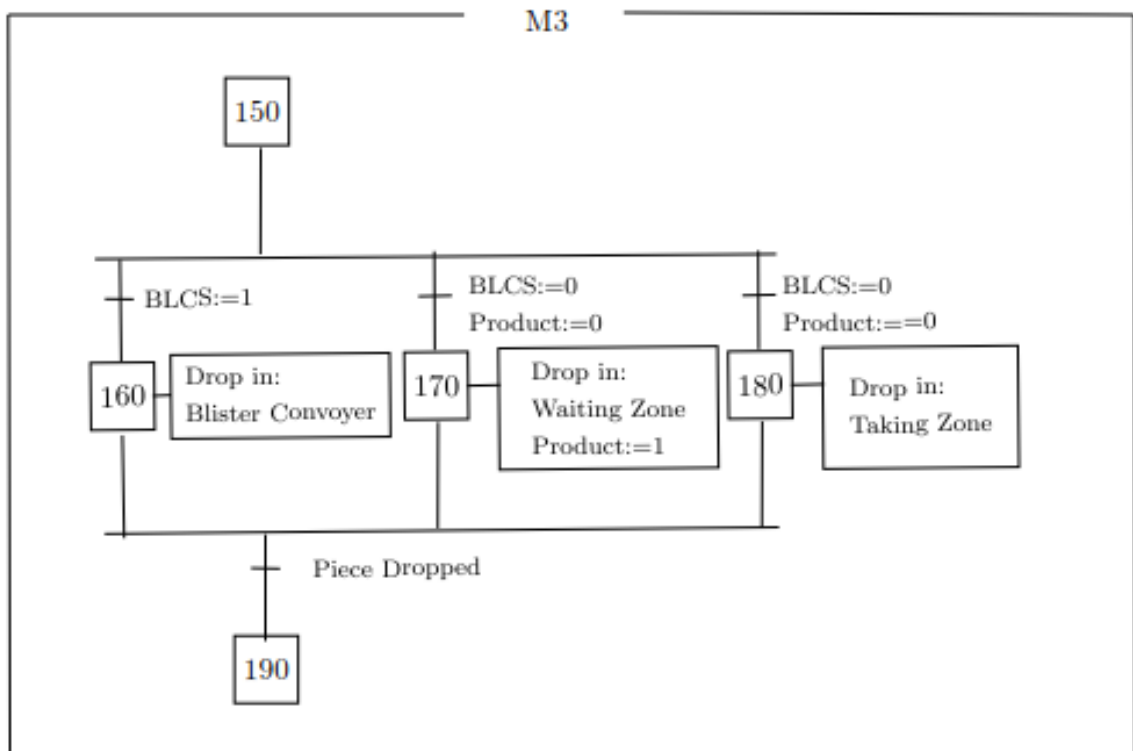


Рис. 5.5. Макрос M3

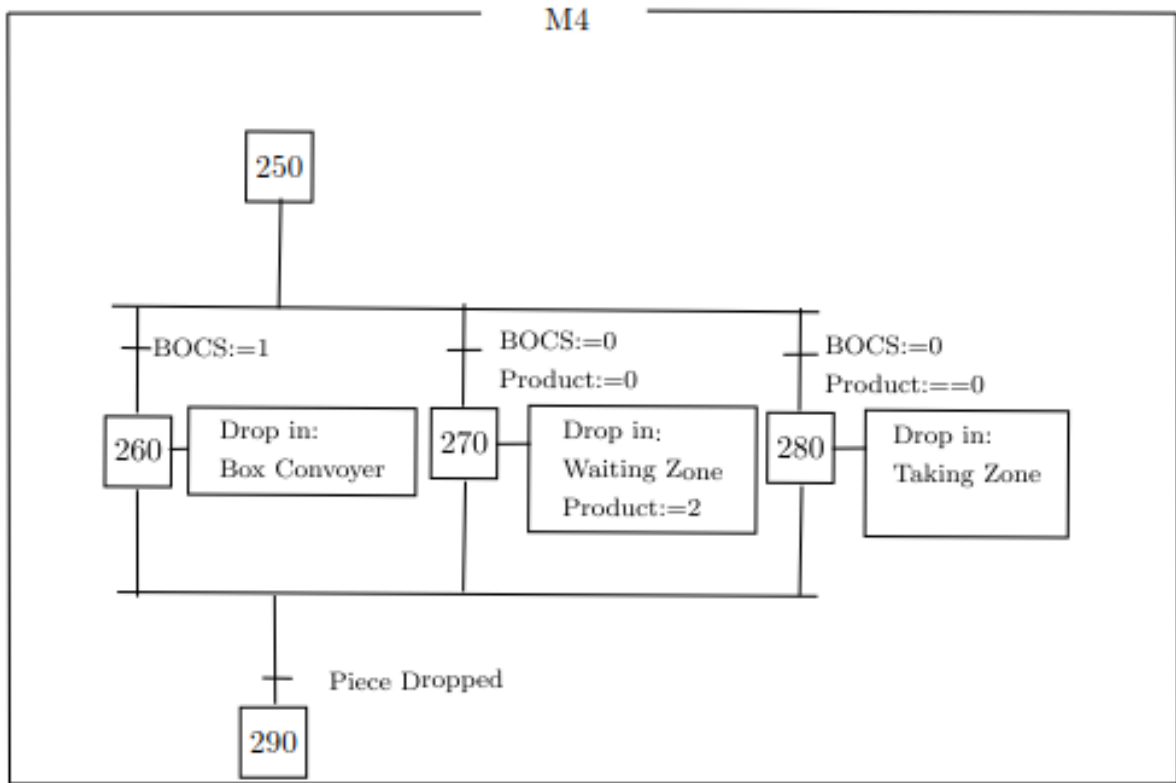


Рис. 5.6. Макрос M4

Де умова перша  $MCS1: = 1$ ,  $MCS2: = 1$ , умова друга  $MCS1: = 1$ ,  $MCS2: = 0$ , умова3  $MCS: = 0$ ,  $MCS2: = 0$ , продукт: = 1, умова три  $MCS : = 0$ ,  $MCS2: = 0$ , добуток: = 2.

Щоб лінія мала правильну поведінку, потрібно було використовувати різні виконавчі механізми, датчики та ділянки, які можна побачити та ідентифікувати на рисунку 5.1.

Для ідентифікації товару було використано 2 різні світловідбиваючі датчики в кінці головного конвеєра, вони розміщені в одній площині, але на різній висоті, при цьому основний конвеєрний датчик 1 ( $MCS1$ ) знаходиться нижче основного конвеєрного датчика 2 ( $MCS2$ ). Якщо активовано обидва датчика, що означає, що їх значення буде 1, продукт буде блистером, якщо активується лише датчик  $MCS1$ , продукт буде коробкою, якщо жоден датчик не активований, тоді в цій області не було продукту.

На початку блистерного конвеєра також є світловідбивний датчик, позначений ініціалами «BLCS» (датчик блистерного конвеєра), щоб визначити,

чи є виріб у місці, куди робот повинен скинути блістер. На коробчатому конвеєрі є подібний датчик, який має ту саму функціональність, але для коробчатого продукту.

Нарешті, в зоні очікування є світловідбиваючий датчик, який визначає, чи є там товар чи ні, цей датчик ідентифікується ініціалами “WAS” (Датчик зони очікування).

Архітектура лінії була змодельована в robotstudio, на рисунку 5.7 можна побачити тривимірне зображення лінії.

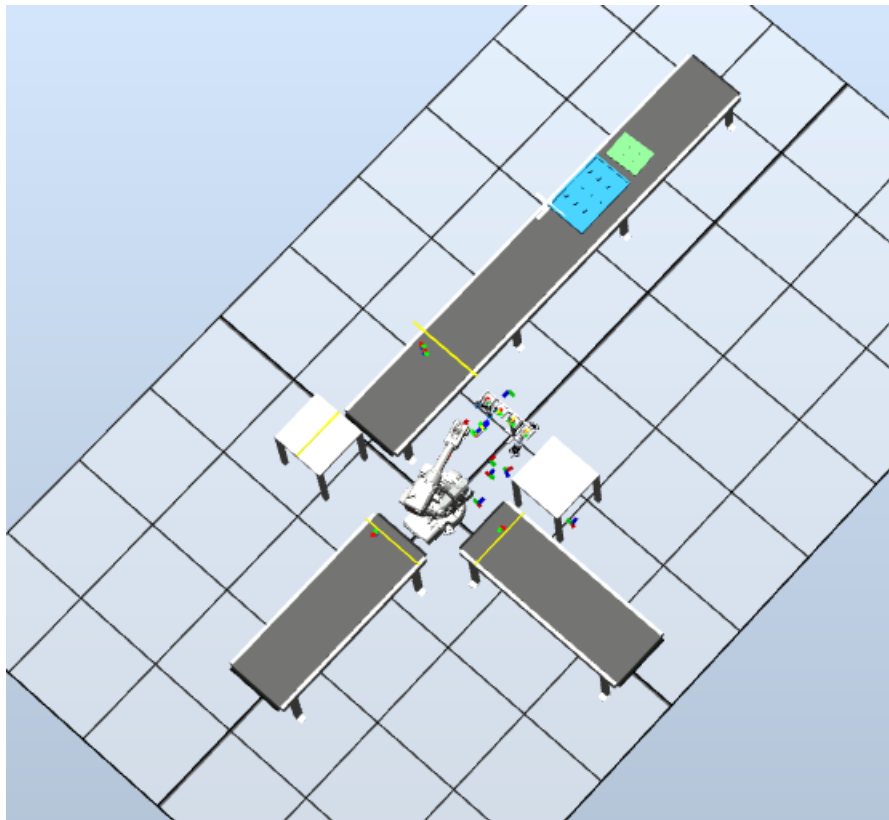


Рис. 5.7. Робоча станція

Всі датчики можна побачити в таблиці 9.

Таблиця 9: Датчики

Sensor	Name
WAS	Waiting Area Sensor
MCS1	Main Conveyor Sensor 1
MCS1	Main Conveyor Sensor 2
BLCS	Blister Conveyor Sensor
BOCS	Box Conveyor Sensor

Поведінка, необхідна для роботи лінії, була проаналізована в попередньому розділі, додані деякі елементи, включаючи конвеєри та світловідбиваючі датчики. Конвеєри були імпортовані з бібліотеки в robotstudio і змодельовані за допомогою розумних компонентів. Основний конвеєр був за замовчуванням активований і деактивований, коли робот знаходився в зоні вибору робота. Коробка та блістерний конвеєр завжди працювали.

Світловідбиваючі датчики також були змодельовані за допомогою розумних компонентів.

Стійка для інструментів була побудована та імпортована за допомогою Solidworks, вона має лише 2 різні інструменти, подвійний телескопічний захоплювач, розміщений у другому положенні, що відповідає положенню, ідеальному для вибору пухирів, та присоску, розроблену Robotiq.

Додаток для впровадження системи зміни інструментів було встановлено з використанням процедур, визначених у підрозділі «Впровадження інструменту для зміни інструментів». Щоб застосувати поведінку, описану в графіках, та проаналізувавши процедури, визначені у главі 6, спочатку потрібно було навчити робота різних цілей, це було зроблено вручну за допомогою функції пробіжки робота.

Було визначено 5 різних цілей, перші дві цілі відповідають розташуванню та орієнтації, яку повинен відвідати робот, щоб вибрати блістер або коробку. Третьою та четвертою мішенями було розташування всередині коробчатого транспортера та блістерного транспортера, куди робот повинен помістити виріб. Четверте відповідає розташуванню, куди робот повинен скинути товар у зоні очікування, а остання ціль відповідає розташуванню, куди робот повинен скинути товар у зоні приймача.

Це цілі, які є зовнішніми для додатка інструмента для заміни інструментів, після чого робот був переміщений до місця розташування інструментів і за допомогою програми етапу калібрування екранізатора ці інструменти були визначені. Після того, як інструменти були ідентифіковані, вони були протестовані та проведені регулювання, щоб гарантувати, що інструменти можуть бути безпечно вийняті з тримача.

Використовуючи графічну роботу в попередньому розділі, можна безпосередньо реалізувати код у RobotStudio та протестувати, щоб побачити, наскільки добре він працює.

## **6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **6.1 Значення охорони праці в забезпеченні здорових умов праці**

Під охороною праці розуміється система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

Охорона праці - прикладна наука правового, санітарно-гігієнічного і технічного напрямку, що виявляє і вивчає виробничі небезпеки, розробляє методи їх попередження і послаблення з метою усунення виробничого травматизму, професійних захворювань робочих, попередження аварій, пожеж і вибухів, забезпечує оздоровлення умов праці і захист населених пунктів від шкідливих і небезпечних впливів виробництва.

За останні роки всі сфери промисловості автоматизувались, що привело до зменшення нещасних випадків на виробництві, але в той самий час виникло ряд інших шкідливих факторів пов'язаних з використанням ЕОМ і інших обчислювальних засобів.

Найбільш повні дані про вплив комп'ютера на людину можна отримати, зібравши і проаналізувавши дані за період, як мінімум, до 60 років, оскільки така середня тривалість життя людини. В Харківському інституті професійних захворювань і гігієни праці є лабораторія, яка уже на протязі 12 років поглиблено займається цими питаннями.

### **6.2 Охорона праці як система заходів щодо гармонізації використання комп'ютерних технологій**

Науково-технічний прогрес призводить до корінної зміни характеру та засобів трудової діяльності. Він створює для людини велику кількість благ:



зменшує тяжкість праці (фізичне навантаження), робить її інтелектуальною, цікавою, різноманітною, розвиває творчі здібності людини, сприяє удосконаленню її професійних навичок тощо.

Проте сучасна техніка є потенційним джерелом високої небезпеки для життя та здоров'я працівника, оточуючих його людей, а також навколишнього середовища. Особливо це стосується сучасних технологій, що активно використовують комп'ютери. Мільйони користувачів відеодисплейних терміналів (ВДТ) персональних комп'ютерів працюють практично у всіх галузях народного господарства.

Праця цих користувачів дуже різноманітна. Це працівники обчислювальних центрів, що обслуговують автоматизовані системи управління підприємствами, касири, працівники довідкових служб, оператори енергетичних, хімічних, газових, нафтових та інших підприємств, працівники поліграфічної промисловості, службовці редакцій журналів, газет, книжкових видань, працівники сфери освіти, перекладачі, особи, які працюють у агентствах новин, та багато інших категорій працівників. Всіх їх об'єднує використання у своїй роботі відеодисплейних терміналів персональних електронно-обчислювальних машин та розумовий характер праці.

Проте активне впровадження у практику персональних комп'ютерів має двоякий характер. З одного боку, підвищується результативність праці, а з другого — з'являються фактори, які несприятливо впливають на здоров'я працюючої людини. У зв'язку з цим набуває актуальності вивчення фізіологічних, психологічних, соціальних та виробничих наслідків використання ВДТ ПЕОМ, розробка та активне застосування заходів, що нормалізують працю та зберігають здоров'я користувачів.

Збереження здоров'я користувачів ВДТ, підтримання ефективності та надійності їх праці на належному рівні є одним з аспектів застосування дисципліни — охорона праці. Ця важлива прикладна наука вивчає небезпечні

та шкідливі виробничі фактори, визначає ступінь їх впливу на організм працюючих і розробляє організаційні та технічні заходи щодо усунення або у всякому разі зменшення їх несприятливого впливу на працюючих.

Разом з тим, у межах охорони праці вирішуються питання створення технічних засобів захисту від дії шкідливих факторів, розробляються заходи щодо попередження нещасних випадків, професійного травматизму, профілактики професійних та професійно зумовлених захворювань.

Охорона праці — системо законодавчих актів, соціально-економічних, організаційно-технічних, гігієнічних і лікуально-профілактичних заходів та засобів, що забезпечують безпеку, збереження здоров'я та працездатність людини у процесі праці.

Все різноманіття нормативних документів, що включають поняття охорона праці, передбачає створення таких умов праці, за яких виключено або значно ослаблено вплив на працюючих шкідливих та небезпечних факторів трудового середовища.

Під шкідливим виробничим фактором розуміємо такий фактор виробничого середовища, вплив якого на працюючого завдає шкоди його здоров'ю та працездатності.

### **6.3 Аналіз потенційних небезпек та шкідливостей виробничого середовища**

Прискорене впровадження ЕОМ практично у всі галузі діяльності веде до появи великої кількості робочих місць з візуальними дисплейними терміналами (ВДТ), що є основним засобом спілкування з ЕОМ. Вони поширюються як на виробництві у різних системах контролю та управління, так і в різних адміністративно-господарських приміщеннях, де розташовуються обчислювальні центри організацій та інститутів. За даними всесвітньої організації охорони здоров'я, професійна діяльність з ВДТ може в окремих випадках призводити до порушень з боку зорового аналізатора,

кістково-м'язових (вимушена поза) та порушень, пов'язаних із стресовими ситуаціями та нервово-емоційними навантаженнями при роботі, захворювань шкіри та ін.

Зараз в нашій країні є комплекс розроблених організаційних заходів і технічних засобів захисту, накопичений передовий досвід роботи великої кількості обчислювальних центрів який показує, що є можливість досягнути значно більших успіхів в справі знешкодження дії шкідливих та небезпечних виробничих факторів на персонал. Але стан умов праці та її безпеки при роботі з ЕОМ ще не задовільняє сучасним вимогам. Працівники ще стикаються з дією на них таких фізично небезпечних та шкідливих виробничих факторів, як дія шкідливих випромінювань від монітора та комп'ютера, підвищений рівень шуму, підвищена температура середовища, відсутність або недостатня освітленість робочої зони, електричний струм, статична електрика та ін. В період роботи з ВДТ на електронно-променевих трубках на організм користувача впливає цілий ряд факторів фізичної природи, але всі вони знаходяться в межах і значно нижче за нормовані величини відповідно до діючих зараз нормативних документів (таблиця 7.1).

**Таблиця 6.1 – Вид електромагнітних випромінювань ВДТ**

<b>Види випромінювань</b>	<b>Діапазон</b>	<b>Фактичні (середні) дані вимірів</b>	<b>Нормовані значення</b>
Рентгенівське випромінювання	понад 1.2 Кев	9-10-12 мкр/год	75.0 мкр/год
Ультрафіолетове випромінювання	220-280 нм 280-320 нм	0 0-0.02	0.1 Вт/м <sup>2</sup>
Видимий діапазон	320-400 нм 400-700 нм	0.1-0.2 2.5-4.0	10.0 Вт/м <sup>2</sup>
Яскравість		75-80 кд/м <sup>2</sup>	Не менше 35 кд/м <sup>2</sup>
α-випромінювання	700 нм-1 мм	0.05-4.0	100.0 Вт/м <sup>2</sup>
Електростатичне поле	0 Гц	15 кВ/м	20-60 кВ/м

Велика кількість працюючих з ЕОМ зв'язані з дією на них таких факторів, як розумове перевантаження, перевантаження слухових та зорових аналізаторів, монотонність праці, емоційні перевантаження. Вплив вказаних факторів приводить до зниження працездатності, що викликається втому. Поява та розвиток втоми пов'язана з змінами, які виникають під час роботи в центральній нервовій системі, з тормозними процесами в корі головного мозку.

Світлотехнічна специфіка робочих місць з ВДТ викликана такими унікальними особливостями:

1. Світлотехнічна різноманітність об'єктів зорової роботи користувачів ЕОМ, що працюють з ВДТ, пов'язана з наявністю трьох об'єктів (екран, клавіатура, документація), розташованих у різних зонах спостереження, що вимагає багаторазового переведення лінії зору від одного до іншого. Робоча документація частіше за все розміщена на столі у горизонтальній площині на відстані оптимальної зони видимості (приблизно 350 мм), об'єкти розрізнення мають негативний контраст, тобто об'єкти на світловому фоні. Об'єкти на клавіатурі визначаються більшим розміром і розташовані у похилій площині. Яскраві знаки на темному фоні майже вертикально орієнтованого екрану дисплея вимагають незвично горизонтальної орієнтації лінії зору. Таким чином умови роботи з ВДТ ускладнюються необхідністю постійної переадаптації від яскравих об'єктів з позитивним контрастом на темні-з негативним.

2. Робота з пульсуючим самосвітним об'єктом, який постійно знаходиться у центрі поля зору, що не відповідає нормативним вимогам щодо обмеження пульсації та засліпленості. Наявність пульсацій яскравості знаків виникає дискомфорт і втому, загальну і зорову.

3. На робочому місці несприятливо розподілена яскравість у полі зору, оскільки освітлені поверхні периферії поля зору можуть виявитись світлішими, ніж центр поля зору- темний, обмежено освітлений, а іноді заповнений

знаками екран ВДТ. Такий розподіл яскравості у полі зору сприяє порушенню основних зорових функцій.

4. Засліплююча дія світильників, які освітлюють приміщення на робочому місці з ВДТ більша, ніж інших, що призводить до зменшення кута дії різних засліплюючих джерел і, відповідно, до зростання освітленості.

5. Наявність дзеркального відбиваючої і неплоскої зовнішньої поверхні не дає можливості повністю усунути з поля зору користувача всі відбиті відблиски.

В приміщеннях найчастіше використовується бокове природне освітлення. Як наслідок слабкої освітленості робочого приміщення, створюється різкий контраст між освітленістю моніторів та освітленістю навколишніх предметів, що дуже шкідливо для зору оператора. В тих випадках коли одного природнього освітлення недостатньо, встановлюється сумісне освітлення. При цьому додаткове штучне освітлення використовується не тільки в темноті, але й в світлий час доби.

Штучне освітлення по характеру виконуваних завдань ділиться на робоче, аварійне, евакуаційне.

Раціональне кольорове оформлення приміщення направлене на покращення санітарно-гігієнічних умов праці, підвищення його продуктивності та безпеки. Оформлення приміщень діє на нервову систему людини, її настрій та в кінцевому рахунку на продуктивність праці. Основні виробничі приміщення доречно фарбувати в відповідності з кольором технічних засобів. Освітленість приміщення і обладнання повинно бути м'яким, без відблисків.

Зниження шуму, що створюється на робочому місці внутрішніми джерелами, а також шуму, який проникає ззовні, є дуже важливим завданням. Зниження шуму в джерелі можна забезпечити використанням пружних прокладок між основою машини, приладу і опорою поверхні. В якості прокладок використовується гума, войлок, пробка, різної конструкції

амортизаторів. Під настільні апарати, які є джерелами шуму, можна підкладати м'які коврики з синтетичних матеріалів, а під ножки столу, на яких вони встановлені,- прокладки з м'якої гуми, войлока, товщиною 6-8 мм. Кріплення прокладок можливе шляхом приклеювання їх до опорних частин.

Можливе також використання звукопоглинаючих кожухів, які не заважають технологічному процесу. Не менш важливим для зниження шуму в процесі експлуатації є питання правильного і своєчасного регулювання, змащення і заміни механічних вузлів обладнання, яке шумить.

Зниження рівня шуму, що надходить в виробниче приміщення ззовні, може бути досягнуто збільшенням звукоізоляції огорожуючих конструкцій, притисненням притворів вікон, дверей.

Таким чином для зниження шуму, що створюється на робочих місцях внутрішніми джерелами, а також шуму, що надходить ззовні:

- ослабити шум самих джерел (застосування екранів, звукоізолюючих кожухів);
- знизити ефект сумарної дії відбитих звукових хвиль (звукопоглинаючі поверхні конструкцій);
- використовувати архітектурно-планувальні та технологічні вирішення ізоляцій джерел шуму;
- використовувати раціональне розміщення обладнання.

Електричні установки, до яких відносяться практично всі складові ЕОМ, носять для людини велику потенційну небезпеку, так як в процесі експлуатації або проведення профілактичних робіт людина може доторкнутися до частин, які знаходяться під напругою. Специфічна небезпека електроустановок: струмоведучі провідники, корпуси стійок ЕОМ та іншого обладнання, які опинилися під напругою в результаті пошкодження (пробою) ізоляції, не подають будь-яких сигналів, які попереджують людину про безпеку. Реакція людини на електричний струм виникає тільки при протіканні останнього через тіло людини.

Для захисту персоналу від ураження електричним струмом широко використовуються заземлювачі.

#### **6.4 Розрахунок освітленості робочого місця при розробці криптографічних систем**

Правильне освітлення виробничих приміщень сприяє підвищенню комфортності праці, збереженню здоров'я, зниженню імовірності нещасного випадку.

Розрахунок системи висвітлення зводиться до вибору виду освітлення, визначенню типу і числа світильників.

Будемо використовувати метод розрахунку по світловому потоку.

Вибір параметрів освітлення робочого місця залежить від характеру виконуваної роботи. Об'єкт розрізнення визначається як найменший розмір предмета або його частини, яку необхідно розрізнити.

В залежності від розмірів об'єкта розрізнення і відстані предмета від очей працюючого, всі роботи поділяються на вісім розрядів. Наша робота – високої точності, яка відповідає третьому розряду. Найменший лінійний розмір об'єкта розрізнення цього розряду – 0.3-0.5 мм.

В приміщенні передбачається організація штучного освітлення комбінованого типу, яке включає місцеве і загальне освітлення.

В якості джерела світла використовуються люмінесцентні лампи типу ЛБ (лампи білі), включені у світильники АОД.

Останні встановлюються на висоті 3.5 м від підлоги.

Лампи включаються в мережу з напругою 220 В, їхня потужність 40 Вт.

Нормована міні освітленість:

$$E_{\min} = (F_{\text{л}} \cdot n \cdot \eta \cdot z) / (S \cdot k) \quad (6.1)$$

$F_{\text{л}}$  – світловий потік 1-ї лампи, лм;

$n$  – число ламп у приміщенні;

$\eta$  – коефіцієнт використання світлового потоку, тобто частка світлового потоку всіх ламп, які попадають на освітлену поверхню;

$z$  – коефіцієнт нерівномірності висвітлення;

$S = A \cdot B$  – площа поля освітленого приміщення;

$k$  – коефіцієнт запасу, який враховує зниження освітленості в процесі експлуатації.

Для обраного типу ламп:

$F_{\text{л}} = 2120$  лм;  $S = 7 \cdot 5 = 35$  м<sup>2</sup>;  $\eta = 0.5$ ;  $z = 0.9$ ;  $k = 1.5$

Нормована  $E_{\text{мін}}$  для третього розряду точності - 500 лк.

З формули (6.1) визначаємо число ламп:

$n = (E_{\text{мін}} \cdot S \cdot k) / (z \cdot \eta \cdot F_{\text{л}}) = (500 \cdot 35 \cdot 1.5) / (0.9 \cdot 0.5 \cdot 2120) = 27.5 = 28$

Так як в кожному світильнику розташовано по 2 лампи, всього необхідно 14 світильників.

## **6.5 Електромагнітний імпульс ядерного вибуху і захист від нього радіоелектронних засобів**

На початку 90-х років у США стала зароджуватися концепція, відповідно до якої збройні сили країни повинні мати не тільки ядерні і звичайні озброєння, але і спеціальні засоби, що забезпечують ефективну участь у локальних конфліктах без нанесення супротивнику зайвих втрат у живій силі і матеріальних цінностях.

До цієї спеціальної зброї американські військові фахівці в першу чергу відносять:



- засоби створення електромагнітного імпульсу (ЕМІ);
- генератори інфразвуку;
- хімічні склади і біологічні рецептури, здатні змінювати структуру базових матеріалів основних елементів бойової техніки;
- речовини, що виводять з ладу змащення і гумові вироби, викликають загустення пального;
- лазери.

В даний час основні роботи з розвитку технологій зброї не смертельної дії (ЗНСД) проводяться в керуванні перспективних досліджень міністерства оборони, Ліверморській і Лос-Аламоській лабораторіях міністерства енергетики, центрі розробок озброєння міністерства армії і т.д.

Найбільш близькі до прийняття на озброєння різні типи лазерів для осліплення особового складу, хімічні засоби для його знерухомлення, генератори ЕМІ, що негативно впливають на роботу електронної техніки.

Генератори ЕМІ (супер ЕМІ), як показують теоретичні роботи і проведені за рубежом експерименти, можна ефективно використовувати для виводу з ладу електронної й електротехнічної апаратури, для стирання інформації в банках даних і псування ЕОМ.

За допомогою ЗНСД на основі генераторів ЕМІ можливий вивід з ладу ЕОМ, ключових радіо й електротехнічних засобів, систем електронного запалювання й інших автомобільних агрегатів, чи підірвавши інактивація мінних полів. Вплив цієї зброї досить вибірково і політично цілком прийнятний, однак потрібна точна доставка його в райони поразення.

Незважаючи на визнання військово-політичним керівництвом США і НАТО неможливості перемоги в ядерній війні, різні аспекти вражаючого дії ядерної зброї продовжують широко обговорюватися. Так, в одному з розглянутих іноземними фахівцями сценаріїв початкового періоду ядерної війни особливе місце приділяється потенційної можливості висновку з ладу радіоелектронної техніки в результаті впливу на неї ЕМІ.

Вважається, що підірвавши на висоті близько 400 км тільки одних боєприпасів потужністю більш 10 Мт приведе до такого порушення функціонування радіоелектронних засобів у великому районі, при якому час їхнього відновлення перевищить припустимі терміни для вживання відповідних заходів.

По розрахунках американських експертів, оптимальною точкою підриву ядерних боєприпасів для поразки ЕМІ радіоелектронних засобів майже на всій території США була би точка в космосі з епіцентром у районі географічного центра країни, що знаходиться в штаті Небраска.

Теоретичні дослідження і результати фізичних експериментів показують, що ЕМІ ядерного вибуху може привести не тільки до виходу з ладу напівпровідникових електронних пристроїв, але і до руйнування металевих провідників кабелів наземних споруд. Крім того, можлива поразка апаратури, що знаходяться на низьких орбітах.

Для генерації ЕМІ ядерні боєприпаси можуть підриватися в космічному просторі, що не приводить до виникнення ударної хвилі і випаданню радіоактивних опадів. Тому в закордонній пресі виголошуються наступні думки про "неядерний характер" такого бойового застосування ядерної зброї і про те, що удар з використанням ЕМІ не обов'язково приведе до загальної ядерної війни.

Небезпека цих заяв очевидна, тому що одночасно деякі закордонні фахівці не виключають можливість масової поразки за допомогою ЕМІ і живої сили. У всякому разі цілком очевидно, що наводимі під впливом ЕМІ в металевих елементах техніки струми і напруги будуть смертельно небезпечні для особового складу.

## **6.6 Забезпечення нормальних умов праці**

### **6.6.1 Вибір приміщення**

При виборі приміщення для робочих місць необхідно врахувати, що вони можуть давати відблиски на екранах дисплеїв і викликати значну освітленість у сидячих перед ними, особливо літом та в сонячні дні.

В машинних залах робочі місця операторів, які працюють з дисплеями, розміщують подалі від вікон і таким чином, щоб віконні пройоми виходили збоку. Якщо екран дисплея повернутий до віконного пройому, необхідні спеціальні екрануючі пристрої. Вікна рекомендується оснащувати світлорозсіюючими шторами, регулюючими жалюзями або сонцезахисною сіткою з металізованим покриттям. Площа застакнення не повинна перевищувати 25 % від площі стіни з вікнами. Для мінімізації засвічування від сонячних променів екранів ВДТ вікна можуть бути орієнтовані на північ (північний захід, північний схід).

Необхідно забезпечити відповідне оформлення інтер'єра, бо давати відблиски на екранах і сліпити працюючих можуть не тільки вікна, але й інші поверхні великої яскравості, в тому числі стеля, стіни, поверхні столів, шаф. Тому все повинно мати невисокі коефіцієнти віддзеркалювання: робочого столу, корпусу та клавіатури- 0.2-0.5; стелі- 0.6-0.7; стін- 0.2-0.5; підлоги- 0.1-0.2; шаф та стелажів- 0.25-0.35. Всі оздоблювальні матеріали приміщення повинні бути матового кольору.

### **6.6.2 Забезпечення нормальних санітарно- гігієнічних умов на робочому місці**

Приміщення, їх розміри (площа, об'єм) повинні в першу чергу відповідати кількості працюючих і розміщеному в них комплекту технічних засобів. В них передбачаються відповідні параметри температури, освітлення, чистоти повітря, забезпечують ізоляцію, захист від виробничих шумів і т. п. Робочі місця з ВТД вимагають значної площі на одне робоче місце (6-7 м<sup>2</sup>), а при середній площі устаткування 0.8-1.2 м<sup>2</sup> навколо нього має залишатись

вільний простір не менше 1 м з кожного боку. Для забезпечення нормальних умов праці санітарні норми СН245-71 встановлюються на одного працівника, об'єм виробничого приміщення не менше 15 м<sup>2</sup>, а площа приміщення огороженого глухими перегородками не менше 4.5 м<sup>2</sup>. В дисплейних класах температура повітря повинна становити 19-21 °С, відносна вологість 55-65 %, швидкість руху повітря не більше 0.1 м/с, рівні шуму та еквівалентні рівні звуку в приміщеннях не повинні перевищувати 50дБ.

Для експлуатації ЕОМ необхідно передбачити наступні приміщення:

- машинний зал;
- приміщення для розміщення сервісного і периферійного обладнання;
- приміщення для зберігання запасних деталей, інструментів приладів;
- приміщення для розміщення вентиляторів;
- приміщення для персоналу;
- приміщення для прийому- видачі інформації.

Ці приміщення розміщують в безпосередній близькості одне від одного. Їх обладнують загальнообмінною вентиляцією та штучним освітленням. До приміщень машинного залу і зберігання магнітних носіїв інформації ставляться особливі вимоги. Площа машинного залу повинна відповідати площі необхідної по заводським технічним умовам даного типу ЕОМ.

Висота залу над технічною підлогою до підвісної стелі повинна бути 3-5 м. Відстань між підвісною та основною стелями при цьому повинна бути 0,5-0,8 м. Висоту припідлогового простору приймають рівною 0,2-0,6 м.

При роботі з ЕОМ, як правило, застосовують бічне природне освітлення. Робочі кімнати і кабінети повинні мати природне освітлення. В решті приміщень допускається штучне освітлення. В таблиці 6.2 приведені рівні освітленості в приміщеннях з ВДТ при використанні різних типів дисплеїв.

В тих випадках, коли одного штучного освітлення не достатньо, встановлюється сумісне освітлення. При цьому додаткове штучне освітлення використовується як в темноті, так і в світлий час доби.

Раціональне планування приміщення, розміщення устаткування є важливим фактором, який дозволяє понизити шум при існуючому устаткуванні. При плануванні машинний зал та приміщення для сервісної апаратури необхідно розташувати якнайдалі від устаткування, яке дуже шумить або вібрує.

**Таблиця 6.2 - Рівні освітленості в приміщеннях з ВДТ**

Характеристики дисплеїв зорової роботи		Нормована освітленість (лк) у площині столу, клавіатури (Ег), та екрану (Ев)			
Вид дисплея	Група напруженості зорової роботи	Загальне		Комбіноване	
		Ег, лк	Ев, лк	Ег, лк	Ев, лк
Одноколірний	 	300	150-100	400	150-100
		400	200-150	500	300-150
Багатоколірний	Будь-яка	-	-	200	100-75

Зниження рівня шуму, який проникає в виробниче приміщення ззовні може бути досягнуте збільшенням звукоізоляції огорожуючих конструкцій [23].

Для профілактики порушень та підтримання працездатності необхідно витримувати регламентовані перерви для відпочинку. У період роботи за дисплеєм у режимі праці та відпочинку необхідно передбачити через кожні 40-45 хв. три- або п'ятихвилинні перерви для відпочинку.

### **6.6.3 Розрахунок освітлення машинного залу**

Найбільш оптимальними для машинного залу є люмінісцентні лампи ЛБ (білого світла) і ЛТБ (тепло-білого світла) потужністю 20, 40 та 80 Вт.

Для виключення засвітки екранів дисплеїв прямими світловими потоками світильники загального призначення розміщують збоку від робочого

місця, паралельно лінії зору оператора і стінці з вікнами. Таке розміщення світильників дозволяє проводити їх послідовне включення в залежності від величини дійсної освітленості і виключає подразнення очей полосами світла і тіні, які виникають при поперечному розміщенні світильників.

Для освітлення машинного залу розмірами  $A=9$  м,  $B=6$  м і висотою  $H=3$  м передбачені настельні світильники типу УСП 3 з двома люмінесцентними лампами типу ЛБ-40. Коефіцієнт відображення світлового потоку від стелі, стін і підлоги відповідно  $\rho_{ст}=70\%$ ,  $\rho_{с}=50\%$ ,  $\rho_{м}=10\%$ . Необхідне число світильників визначається наступним чином.

Для машинних залів рівень робочої поверхні над підлогою складає 0.8 м.

Тоді

$$h = H - 0.8 = 2.2 \text{ м.} \quad (6.1)$$

У світильників УСП 35 умовна віддаль  $\xi = 1,4$

$$\frac{L}{h} = \xi = 1.4, \quad (6.2)$$

де  $L$ - відстань між рядами світильників,

$$L = \xi * h = 1.4 * 2.2 \approx 3 \text{ м.} \quad (6.3)$$

Розмістимо світильники вздовж довгої сторони приміщення. Відстань між стиками і крайніми рядами приймаємо рівною

$$l \approx (0.3 \dots 0.5) * L. \quad (6.4)$$

При ширині машинного залу  $B=6$  м маємо число рядів світильників

$$n = \frac{B}{L} = 2. \quad (6.5)$$

Для машинних залів встановлена норма освітленості  $E_n=400$  лк. З врахуванням  $\rho_{ст}$ ,  $\rho_{с}$ ,  $\rho_{н}$  при індексі приміщення з довідкових даних знаходимо коефіцієнт використання випромінюваного світильниками потоку, який приходить на розрахункову величину,  $\eta=0.45$ .

$$j = \frac{A * B}{(h * (A + B))} = \frac{54}{(2.2 * (9 + 6))} \approx 1.64 \quad (6.6)$$

Номінальний світловий потік лампи ЛБ-40  $\Phi_{л}=3120$  лм, тоді світловий потік, який випромінюється світильником складе

$$\Phi_{св}=2 * \Phi_{л}=2 * 3120=6240 \text{ лм.} \quad (6.7)$$

Необхідну кількість світильників знаходимо за наступною формулою

$$N = \frac{E_n * k_z * S * z}{n * \Phi_{св} * \eta * \gamma}, \quad (6.8)$$

де  $E_n$ - нормована мінімальна освітленість,  $E_n=400$  лк;

$k_z$ - коефіцієнт запасу, який враховує запилення світильників і знос джерел світла в процесі експлуатації,  $k_z=1,4\dots 1,5$ ;

$S$  - площа приміщення, м;

$z$  - коефіцієнт нерівномірності освітлення  $z=1,1\dots 1,2$ ;

$n$  - число рядів світильників;

$\eta$  - коефіцієнт затінення, який вводиться для приміщень з фіксованим положенням працюючих, а також при наявності крупногабаритних предметів,  $\gamma=0,8\dots 0,9$ .

$$N = \frac{(400 * 1.5 * 54 * 1.2)}{(2 * 6240 * 0.45 * 0.9)} = 7.692 \approx 8 \text{ ламп.}$$

Отже, необхідно 8 світильників.

## ВИСНОВКИ

У цій роботі мала під метою розробку ефективного автоматичного пристрою для зміни інструментів, який можна було б використовувати з роботами АВВ. Ця мета була розділена на різні частини для створення гнучкої та надійної системи. Для перевірки системи була змодельована проста виробнича лінія.

Можна зробити висновок, що були запропоновані різні системи тримачів для інструменту, що дозволяє використовувати більш широкий спектр інструментів на виробничій лінії та накопичуючи різні вимоги до різних ліній. Також було запропоновано інше можливе положення для інструментів, які мають бути розміщені одночасно, а також широкий вибір можливостей, що забезпечують більшу відповідність потребам користувача.

Також було розроблено додаток для полегшення програмування процедур вибору та розміщення інструментів, сюди входить людинно-машинний інтерфейс, що спрощує процес створення шляху вибору або розміщення інструментів у потрібному положенні. Крім того, розроблений додаток не обмежується задачами, запропонованими в першому розділі, що дозволяє користувачеві розробляти та використовувати власні розробки, які краще задовольняють його потреби, і використовувати додаток для полегшення програмування необхідних процедур.

Був проаналізований процес побудови пристрою для використання з цією системою заміни інструменту, а також різні кроки, необхідні для розробки іншого інструменту для використання на виробничій лінії.

Нарешті, додаток було протестовано, і можна було підтвердити значне спрощення в частині роботи з програмування, оскільки користувачеві не потрібно знайомитись з мовою програмування АВВ для використання створеного людинно-машинного інтерфейсу, і створені процедури можна реалізувати з великою легкістю.



## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гавриш А. П., Ямпольский Л. С., Карлов А. Г. Промышленные роботы: Конструирование, управление, эксплуатация. Учебное пособие. Вища школа, 1985.
2. Schilling R. et al. Fundamentals of robotics. 2013.
3. Белецкий В. Двухногая ходьба: модельные задачи динамики и управления. Москва Наука, 1984.
4. Я Аустен К. Ш., АМ Формальский. Виртуальный четырёхногий робот: конструкция, управление, моделирование, эксперименты // Фундаментальная и прикладная математика. 2005. Vol. 8. P. 1–28.
5. Vukobratovic M. Robot-environment dynamic interaction survey and future trends // Journal of Computer and Systems Sciences International. 2010. Vol. 49. P. 329–342.
6. Павловский В. О разработках шагающих машин. Препринт ИПМ 101, Москва, 2013. Vol. 101. P. 31. URL: [http://www.keldysh.ru/papers/2013/prep2013\\_101.pdf](http://www.keldysh.ru/papers/2013/prep2013_101.pdf).
7. ДМ Гориневский А. Ш., А М Формальский. Управление манипуляционными системами на основе информации об усилиях. Физматлит, 1994. P. 384.
8. Вукобратович М. К. Н., Стокич Д. Неадаптивное и адаптивно управление манипуляционными роботами. Мир, 1989.
9. Robinette P., Wagner A. R., Howard A. M. Modeling Human-Robot Trust in Emergencies // 2014 AAAI Spring Symposium Series. 2014.
10. Zhang T., Wei Q., Ma H. Position/Force Control for a Single Leg of a Quadruped Robot in an Operation Space. // International Journal of Advanced Robotic Systems. 2013. Vol. 10.

11. Тертычный-Даури В. Динамика робототехнических систем. Санкт-Петербург, 2012.
12. Orientation Modeling of Bernoulli Gripper Device with Off-Centered Masses of the Manipulating Object / V. Savkiv, R. Mykhailyshyn, O. Fendo, M. Mykhailyshyn // *Procedia Engineering*. – 2017. – № 187. – P. 264 – 271. – DOI: 10.1016/j.proeng.2017.04.374.
13. Justification of Design and Parameters of Bernoulli-Vacuum Gripping Device / V. Savkiv, R. Mykhailyshyn, F. Duchon, O. Fendo // *International Journal of Advanced Robotic Systems*. – 2017. – DOI: 1729881417741740.
14. Energy efficiency analysis of the manipulation process by the industrial objects with the use of Bernoulli gripping devices / V. Savkiv, R. Mykhailyshyn, F. Duchon, M. Mikhalishin // *Journal of Electrical Engineering*. – 2017. – № 68 (6). – P. 496 – 502. – DOI: 10.1515/jee-2017-0087.
15. Experimental Research of the Manipulation Process by the Objects Using Bernoulli Gripping Devices / R. Mykhailyshyn, V. Savkiv, M. Mikhalishin, F. Duchon // *In Young Scientists Forum on Applied Physics and Engineering, International IEEE Conference*. – 2017. – P. 8 – 11. – DOI: 10.1109/YSF.2017.8126583.
16. Modeling of Bernoulli gripping device orientation when manipulating objects along the arc / V. Savkiv, R. Mykhailyshyn, F. Duchon, M. Mikhalishin // *International Journal of Advanced Robotic Systems*. – 2018. – DOI: 1729881418762670.
17. Investigation of the energy consumption on performance of handling operations taking into account parameters of the grasping system / R. Mykhailyshyn, V. Savkiv, F. Duchon, V. Koloskov, I. Diahovchenko // *2018 IEEE 3rd International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS) – IEEE, 2018*. – P. 295 – 300. – DOI: 10.1109/ieps.2018.8559586.
18. Analysis of frontal resistance force influence during manipulation of dimensional objects / R. Mykhailyshyn, V. Savkiv, F. Duchon, V. Koloskov, I.

- Diahovchenko // 2018 IEEE 3rd International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS) – IEEE, 2018. – P. 301 – 305. – DOI: 10.1109/ieps.2018.8559527.
19. Substantiation of Bernoulli Grippers Parameters at Non-Contact Transportation of Objects with a Displaced Center of Mass / R. Mykhailyshyn, V. Savkiv, F. Duchon, P. Maruschak, O. Prentkovskis // 22nd International Scientific Conference Transport Means 2018. – Klaipeda, 2018. – P. 1370 – 1375.
  20. Gasdynamic analysis of the Bernoulli grippers interaction with the surface of flat objects with displacement of the center of mass / V. Savkiv, R. Mykhailyshyn, F. Duchon // Vacuum. – 2019. – № 159, P. 524 – 533. – DOI: 10.1016/j.vacuum.2018.11.005.
  21. Protection of Digital Power Meters Under the Influence of Strong Magnetic Fields / R. Mykhailyshyn, V. Savkiv, I. Diahovchenko, R. Olsen, D. Danylchenko // 2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering UKRCON-2019 – IEEE, 2019. – P. 314 – 320. – DOI: 10.1109/UKRCON.2019.8879985.
  22. Research of Energy Efficiency of Manipulation of Dimensional Objects With the Use of Pneumatic Gripping Devices / R. Mykhailyshyn, V. Savkiv, I. Diahovchenko, F. Duchon, R. Trembach // 2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering UKRCON-2019 – IEEE, 2019. – P. 527 – 532. – DOI: 10.1109/UKRCON.2019.8879957.
  23. Diahovchenko, I., Lebedynskiy, I., Mykhailyshyn, R., & Savkiv, V. (2019, September). Methods to Improve the Accuracy of Power Meters through the Application of Nanomaterials and Calibration Techniques. In 2019 IEEE 9th International Conference Nanomaterials: Applications & Properties (NAP) (pp. 02NEE17-1). IEEE. doi: 10.1109/NAP47236.2019.216994.
  24. Rogowsky coil applications for power measurement under non-sinusoidal field conditions / I. Diahovchenko, R. Mykhailyshyn, D. Danylchenko, S.

- Shevchenko // Energetika. – 2019. – 65(1), P. 14 – 20. – DOI: 10.6001/energetika.v65i1.3972.
25. Control of a small quadrotor for swarm operation / A. Trizuljak, F. Duchoň, J. Rodina, A. Babinec, M. Dekan, R. Mykhailyshyn // Journal of Electrical Engineering. – 70(1). – 2019. – P. 3-15. – DOI: 10.2478/jee-2019-0001.
  26. Optimization of design parameters of Bernoulli gripper with an annular nozzle / V. Savkiv, R. Mykhailyshyn, P. Maruschak, L. Chovanec, E. Prada, I. Virgala, O. Prentkovskis // Transport Means - Proceedings of the International Conference. – 2019. – P. 423-428.
  27. The analysis of influence of a nozzle form of the Bernoulli gripping devices on its energy efficiency / V. Savkiv, R. Mykhailyshyn, P. Maruschak, F. Duchon, L. Chovanec // Proceedings of ICCPT 2019, May 28-29, 2019. – Tern. : TNTU, Scientific Publishing House “SciView”, 2019. – P. 66–74. – DOI: 10.5281/zenodo.3387275.
  28. Usage of Light-Emitting-Diode Lamps in Decorative Lighting / R. Mykhailyshyn, I. Belyakova, V. Medvid, V. Piscio, O. Shkodzinsky, M. Markovych // IEEE 20th International Conference on Computational Problems of Electrical Engineering (CPEE). – IEEE, 2019. – DOI: 10.1109/CPEE47179.2019.8949154.
  29. Justification of Influence of the Form of Nozzle and Active Surface of Bernoulli Gripping Devices on Its Operational Characteristics / V. Savkiv, R. Mykhailyshyn, P. Maruschak, F. Duchon // TRANSBALTICA XI: Transportation Science and Technology. Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure. – Springer, 2020. — P. 263–272. – DOI: 10.1007/978-3-030-38666-5\_28.
  30. Analysis of Operational Characteristics of Pneumatic Device of Industrial Robot for Gripping and Control of Parameters of Objects of Manipulation / V. Savkiv, R. Mykhailyshyn, P. Maruschak, F. Duchon, O. Prentkovskis, I. Diahovchenko // TRANSBALTICA XI: Transportation Science and

- Technology. Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure. – Springer, 2020. — P. 504–510. – DOI: 10.1007/978-3-030-38666-5\_53.
31. Progress and Challenges in Smart Grids: Distributed Generation, Smart Metering, Energy Storage and Smart Loads / Diahovchenko, I., Kolcun, M., Čonka, Z., Savkiv, V., Mykhailyshyn, R. // Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Electrical Engineering, – 2020. – P. 1-15.
  32. Михайлишин Р.І. Обґрунтування параметрів та орієнтації струминного захоплювача маніпулятора для автоматизації вантажно-розвантажувальних операцій: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.05.05 “Піднімально-транспортні машини” / Р.І. Михайлишин. – Тернопіль, 2018. – 21 с.
  33. Михайлишин Р. І. Optimization of bernoulli gripping device’s orientation under the process of manipulations along direct trajectory / Р.І. Михайлишин, Я. І. Проць, В.Б. Савків // Вісник ТНТУ. – Тернопіль, 2016. – Том 81. – № 1. – С. 107 – 117.
  34. Михайлишин Р. І. Аналіз методів планування траєкторій маніпуляторів / Р.І. Михайлишин, В.Б. Савків // Збірник наукових праць «Перспективні технології та прилади» Луцький НТУ. – Луцьк, 2016. – №8 (1). – С. 61 – 69.
  35. Justification of the object of manipulation parameters influence on the optimal orientation and lifting characteristics of Bernoulli gripping device / В.Б. Савків, Р.І. Михайлишин, Ф. Духон, М.С. Михайлишин // Вісник Херсонського національного технічного університету. – Херсон, 2017. – № 2 (61). – С. 98 – 104.
  36. «Ознайомлення з основними функціями програмного середовища RobotStudio» : методичні вказівки до лабораторної роботи № 1 з курсу “Гнучкі комп'ютеризовані системи та робототехніка” для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології»

- / укл. Р.І. Михайлишин, В.Б. Савків. – Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2019. – 45 с.
37. «Визначення базових точок та траєкторії промислового робота» : методичні вказівки до лабораторної роботи № 2 з курсу “Гнучкі комп'ютеризовані системи та робототехніка” для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / укл. : Р. І. Михайлишин, В. Б. Савків. – Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2019. – 17 с.
  38. Методичні вказівки до лабораторної роботи № 3 «Імпорт тривимірних моделей та створення захоплювального пристрою в програмному середовищі RobotStudio» з курсу “Гнучкі комп'ютеризовані системи та робототехніка” для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / укл. : Р. І. Михайлишин, В. Б. Савків. – Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2019. – 24 с.
  39. «Робота з віртуальним пультом управління FlexPendant в програмному середовищі RobotStudio» методичні вказівки до лабораторної роботи № 4 з курсу “Гнучкі комп'ютеризовані системи та робототехніка” для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / укл. : Р. І. Михайлишин, В. Б. Савків. – Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2019. – 23 с.
  40. «Операції над об'єктами та контроль зіткнень в програмному середовищі RobotStudio» методичні вказівки до лабораторної роботи № 5 з курсу “Гнучкі комп'ютеризовані системи та робототехніка” для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / укл. : Р.І. Михайлишин, В.Б. Савків. – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2019. – 34 с.
  41. «Розробка механізму конвеєра та програмування операцій MultiMove в програмному середовищі RobotStudio» методичні вказівки до лабораторної роботи № 6 з курсу “Гнучкі комп'ютеризовані системи та

- робототехніка” для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології» / укл. : Р. І. Михайлишин, В. Б. Савків. – Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2019. – 39 с.
42. «Створення роботизованої станції в програмному середовищі RobotStudio» методичні вказівки до лабораторної роботи № 7 з курсу “Гнучкі комп’ютеризовані системи та робототехніка” для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології» / укл. : Р. І. Михайлишин, В. Б. Савків. – Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2019. – 19 с.
43. «Розробка роботизованої лінії для автоматизації вантажно-розвантажувальних операцій в програмному середовищі RobotStudio» методичні вказівки до лабораторної роботи № 8 з курсу “Гнучкі комп’ютеризовані системи та робототехніка” для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології» / укл. : Р. І. Михайлишин, В. Б. Савків. – Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2019. – 24 с.
44. I. E. Commission, “White paper - factory of the future,” 2015. [Online]. Available: <https://www.iec.ch/whitepaper/futurefactory/>
45. Yaskawa, “Yaskawa robot software,” Yaskawa Electric Corporation, Tech. Rep., 2014. [Online]. Available: <https://www.yaskawa.eu.com/fileadmin/Products/Software/Flyer/YaskawaRobotSoftware E 06.2014.pdf>
46. Fanuc, “Fanuc robotics ipendant,” Fanuc Robotics, Tech. Rep., 2007. [Online]. Available: <http://www.fanucrobotics.com.mx/Productos/Controladores/data sheet/iPendant.pdf>
47. F. May, “How to create fanuc hmi panels using the panel wizard,” 2015. [Online]. Available: <https://www.dmcinfo.com/latest-thinking/blog/id/9123/how-to-create-fanuc-hmi-panels-using-the-panel-wizard>

48. ABB, "Application manual screenmaker," ABB Robotics, Tech. Rep., 2009, document ID:3HAC035956-001.
49. A. Owen-Hill, "The 5 minute guide to use any end effector with robodk," 2018. [Online]. Available: <https://robodk.com/blog/robot-end-effector-guide/>
50. A. Owen-Hill., "How to use tool changers with robodk," 2019. [Online]. Available: <https://robodk.com/blog/tool-changers-with-robodk/>
51. U. Robots, "Ati qc-11 automatic tool changer." [Online]. Available: <https://www.universal-robots.com/plus/accessories/ati-qc-11-automatic-tool-changer/>
52. RSP, "Rsp products." [Online]. Available: <https://www.robotsystemproducts.com/en/products/tool-changers>
53. PAL systems, "Pal rsi and pal rtc sample prep and injection," PAL systems, Tech. Rep., 2014.
54. AGI, "Robotic tool changer," 2016. [Online]. Available: <http://www.agi-automation.com/product-category/robotic-tool-changer/>
55. Zimmer Group, "Tool changers installation size wwr50," Zimmer Group, Tech. Rep., 2015.
56. Schunk, "Sws," 2019. [Online]. Available: <https://schunk.com/de/en/gripping-systems/series/sws/>
57. O. Safety and H. Administration, OSHA Technical Manual.
58. ABB, "Product specification irb 2600," 2019, document ID:3HAC035959-001.
59. D. Taslakova, "Positioning accuracy and repeatability of a class of technological robots," PROBLEMS OF ENGINEERING CYBERNETICS AND ROBOTICS, pp. 99–105, 1997.
60. P. Abreu, "Manual de utilizaç~ao robotstudio," FEUP, 2018.
61. [Robotiq, "2f-85 2f-140 for e-series universal robots," Universal Robots, Tech. Rep., 2019.
62. M. J. F. G'andara, "Aluminium: The metal of choice," Materials and technology, pp. 261–265, 2012.