

Міністерство освіти і науки України
Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем

ПАНЬЧУК Ярослав Володимирович

АВТОМАТИЗОВАНИЙ СТЕНД ПЕРЕВІРКИ КОНТУРНОЇ ТОЧНОСТІ
ПЕРЕМІЩЕНЬ РОБОТА. /AUTOMATED TEST STAND FOR CHECKING THE
CONTOUR ACCURACY OF ROBOT MOVEMENTS

спеціальність: 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка
освітньо-професійна програма – Технології інтернету речей

Випускна кваліфікаційна робота
здобувача першого (бакалаврського) рівня освіти

Виконав: студент групи МТІРз–41
Я. В. Паньчук

Науковий керівник:
к.т.н., доцент А. І. Сегін

Випускну кваліфікаційну роботу
допущено до захисту:
" ____ " _____ 2025 р.

Завідувач кафедри СКС
_____ А. І. Сегін

Тернопіль 2025

Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем
Першого (бакалаврського) рівня освіти
Спеціальність: 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка
Освітньо-професійна програма – Технології інтернету речей

ЗАТВЕРДЖУЮ:

зав. кафедри СКС

_____ А. І. Сегін
" ____ ". _____ 2024р.

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Паньчуку Я.В.

(прізвище, ім'я по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи

Автоматизований стенд перевірки контурної точності переміщень робота.
/Automated test stand for checking the contour accuracy of robot movements
керівник роботи к.т.н., доцент Сегін А. І.

затверджено наказом по університету від « 28 » листопада 2024 р. № 938

2. Строк подання студентом закінченої кваліфікаційної роботи

30 травня 2025р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:

- 1.Конструкція промислового робота.
2. Вимоги до точності визначення контурної точності переміщень робота
3. Вимоги до програмного забезпечення визначення контурної точності переміщень робота.

4. Основні питання, які потрібно розробити

1. Здійснити аналіз конструкції промислового робота серії ПР 150.
2. Дослідити методи визначення точності контурного позиціонування промислового робота та похибок, які при цьому виникають.
3. Розробити структуру стенду та описати принцип проведення вимірювань точності контурних переміщень промислового робота.
4. Обґрунтувати підбір датчиків.
5. Розробити та описати програмне забезпечення автоматизованого стенду перевірки контурної точності переміщень робота

5. Перелік графічного матеріалу у роботі

1. Конструкція робота ПР 150.
2. Геометрична модель маніпуляційної системи робота.
3. Схема визначення точність позиціонування робота.
4. Схема процесу навчання робота.
5. Конструкція монтажного блоку.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Сегін А. І.		
2	Сегін А. І.		
3	Сегін А. І.		

7. Дата видачі завдання 03 грудня 2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назви етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Загальний опис типів технологічних робіт та аналіз методів їх позиціонування в просторі	01.12.2024р. – 15.01.2025р.	виконано
2	Проектування стенду контролю точності контурних переміщень	16.02. 2025р.– 15.03.2025р.	виконано
3	Опис програмного забезпечення автоматизованого стенду перевірки контурної точності переміщень робота	16.03.2025р. – 30.04.2025р.	виконано
4	Остаточне оформлення та подача кваліфікаційної роботи на перевірку щодо плагіату	1.05.2025р. – 20.05.2025	виконано

Студент

(підпис)

Паньчук Я.В.

Керівник роботи

(підпис)

к.т.н., доц. Сегін А. І.

АНОТАЦІЯ

Паньчук Я. В. Автоматизований стенд перевірки контурної точності переміщень робота. – Рукопис.

Дослідження на здобуття першого (бакалаврського) рівня освіти за спеціальністю 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка Освітньо-професійна програма – Технології інтернету речей – Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, 2025 р.

У кваліфікаційній роботі розроблено проект автоматизованого стенду для перевірки контурної точності переміщення промислового робота та відповідне програмне забезпечення, що сприяє зниженню виробничих витрат, підвищенню якості продукції та розширенню функціональних можливостей робототехнічних систем.

ANNOTATION

Panchuk Ya. V. Automated stand for checking the contour accuracy of robot movements. – Manuscript.

Research for obtaining the first (bachelor's) level of education in the specialty 152 – Metrology and Information and Measuring Equipment Educational and Professional Program – Internet of Things Technologies – Western Ukrainian National University, Ternopil, 2025.

In the qualification work, a project of an automated stand for checking the contour accuracy of industrial robot movements and the corresponding software were developed, which contributes to reducing production costs, improving product quality and expanding the functionality of robotic systems.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ЗАГАЛЬНИЙ ОПИС ТИПІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РОБОТІВ ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЇХ ПОЗИЦІЮВАННЯ В ПРОСТОРИ.....	10
1.1 Опис призначення та конструкції промислового робота серії ПР 150.....	10
1.2 Конструкція промислового робота ПР 150.....	12
1.3 Визначення точності контурного позиціонування промислового робота.....	16
1.4 Аналіз методів визначення контурної точності переміщення промислового робота-маніпулятора.....	18
2 ПРОЕКТУВАННЯ СТЕНДУ КОНТРОЛЮ ТОЧНОСТІ КОНТУРНИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ.....	
24	
2.1 Основні технічні характеристики стенду контролю точності контурних переміщень.....	24
2.2 Опис принципу проведення вимірювань точності контурних переміщень промислового робота.....	25
2.3 Обґрунтування вибору датчиків.....	27
2.4 Аналого-цифровий перетворювач NVL38.....	30
3 ОПИС ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО СТЕНДУ ПЕРЕВІРКИ КОНТУРНОЇ ТОЧНОСТІ ПЕРЕМІЩЕНЬ РОБОТА.....	
33	
3.1 Опис функцій меню користувача	33
3.2. Порядок проведення вимірювань.....	35
3.3 Опис екранного інтерфейсу системи керування	36

					ДП.МТІР.11006263.00.00.000 ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	Автоматизований стенд перевірки контурної точності переміщень робота					
Розроб.	Пальчук Я. В.							Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.	Сегін А. І.							5	62	
Консульт.	Сегін А.І.							ЗУНУ.ФКІТ.МТІРз-41		
Н. Контр.	Заставний О.М.									
Затверд.	Сегін А. І.									

3.4	Опис мови програмування керуванням ПР 150.....	44
	ВИСНОВКИ.....	48
	ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	49
	ДОДАТОК А. АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ	52

					<i>ДП.МТІР.11006263.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		6

ВСТУП

Актуальність теми. У сучасному світі спостерігаються стабільні тенденції запровадження автоматизованих систем управління, зокрема промислових роботів, що значною мірою впливає на підвищення ефективності виробництва та якості продукції. Роботизовані комплекси широко впроваджуються в машинобудуванні, електроніці, авіаційній, автомобільній промисловості та в багатьох інших галузях, де високі вимоги до точності виконання операцій є критичними. Зростання рівня автоматизації потребує забезпечення стабільної та передбачуваної роботи таких систем, особливо у випадках, коли йдеться про відтворення складних просторових траєкторій.

Одним із ключових показників якості функціонування промислового робота є контурна точність переміщення, тобто здатність робота відтворювати задану траєкторію з мінімальними відхиленнями. Висока контурна точність необхідна при виконанні роботом таких завдань, як зварювання, обробка деталей, нанесення покриттів, складання виробів тощо. Навіть незначні відхилення в положенні робочого органу можуть призвести до браку продукції, порушення технологічного процесу або необхідності повторного налаштування обладнання, що спричиняє додаткові витрати.

Сучасні методи контролю точності переміщень нерідко є складними в реалізації або потребують участі оператора, що знижує об'єктивність результатів і продуктивність контролю. У зв'язку з цим виникає потреба у створенні автоматизованих стендів, які дозволяють швидко, надійно та без участі людини вимірювати контурну точність переміщень. Особливо важливо, щоб такі системи не тільки реєстрували відхилення, а й забезпечували точну верифікацію руху в тривимірному просторі з використанням високоточних датчиків та цифрової обробки сигналів.

Крім того, впровадження подібних стендів має вагоме значення з точки

					ДП.МТІР.11006263.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

зору сервісного обслуговування робототехнічного обладнання, сертифікації та перевірки його відповідності міжнародним стандартам. Це також сприяє підвищенню рівня автоматизації в процесах технічного контролю, покращенню експлуатаційної надійності робіт та загальному вдосконаленню виробничої інфраструктури.

Таким чином, розробка автоматизованого стенду для перевірки контурної точності є надзвичайно актуальним завданням, що має велике значення для сучасної промисловості, сприяє зниженню виробничих витрат, підвищенню якості продукції та розширенню функціональних можливостей робототехнічних систем

Метою кваліфікаційної роботи є розробка автоматизованого стенду для перевірки контурної точності переміщень промислового робота, що забезпечує об'єктивне, точне та зручне у використанні вимірювання просторових відхилень робочого органу робота від заданої траєкторії.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання.

1. Здійснити аналіз конструкції промислового робота серії ПР 150.
2. Дослідити методи визначення точності контурного позиціонування промислового робота та похибок, які при цьому виникають.
3. Розробити структуру стенду та описати принцип проведення вимірювань точності контурних переміщень промислового робота.
4. Обґрунтувати підбір датчиків.
5. Розробити та описати програмне забезпечення автоматизованого стенду перевірки контурної точності переміщень робота.

Об'єктом дослідження є процес переміщення робочого органу промислового робота у просторі під час виконання контурних операцій.

Предметом дослідження є методи та засоби контролю контурної точності переміщень робота, зокрема технічна реалізація автоматизованого вимірювального стенду.

					ДП.МТІР.11006263.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Методи дослідження У роботі здійснюється теоретичний аналіз літературних джерел, моделювання процесів, та застосовуються методи проєктування апаратної частини стенду, розробки алгоритмів обробки вимірювальної інформації, а також експериментальні методи для оцінки точності та ефективності запропонованого рішення.

Практичне значення одержаних результатів полягає в можливості використання розробленого стенду для регулярного контролю та калібрування промислових роботів на підприємствах. Реалізація такого засобу дозволить зменшити похибки при виконанні робочих операцій, підвищити якість продукції, зменшити простой через некоректну роботу обладнання, а також забезпечити відповідність робототехнічних систем міжнародним стандартам точності.

					ДП.МТІР.11006263.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1 ЗАГАЛЬНИЙ ОПИС ТИПІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РОБОТІВ ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЇХ ПОЗИЦЮВАННЯ В ПРОСТОРІ.

1.1 Опис призначення та конструкції промислового робота серії ПР 150

Промисловий робот ПР 150 (рисунок 1.1) побудований на базі шарнірної кінематики і має шістьма ступенів рухливості, що робить його здатним для виконання завдань як при контурному русі, так і при русі з точки в точку. Основні види робіт, які він може здійснювати: точкове зварювання; переміщення об'єктів; збірка чи монтаж; механічна обробка; дугове зварювання; розрізання лазером.



Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд промислового робота ПР 150

Роботизований маніпулятор ПР 150 має підлоговий та настільний варіант монтажу, а також модифікації з різними довжинами конструктивних

					ДП.МТІР.11006263.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

елементів маніпулятора. При цьому розраховані значення корисного та додаткового навантаження зберігаються при різних довжинах маніпулятора.

Всі основні частини головних вузлів, що рухаються, виконані з легкого ливарного сплаву. Цей конструкторський задум був оптимізований за допомогою автоматизованого проектування та моделювання методом кінцевих елементів з урахуванням рентабельності легкої конструкції та високої жорсткості під час кручення та вигину.

Як результат, робота досягнута висока власна частота, що характеризується хорошими динамічними характеристиками і високим опором до вібрацій.

Ланки та приводи фактично позбавлені люфту; всі рухомі частини захищені. Осі рухаються безщітковими сервоприводами змінного струму модульної конструкції, які не вимагають технічного обслуговування і захищені від перевантажень. Основні осі не потребують мастила практично на весь період експлуатації, заміна олії знадобиться не раніше, ніж через 20000 годин роботи.

Усі частини робота виконані у простому та функціональному виконанні; їх число було скорочено до мінімальної кількості і вони легко доступні для огляду та техобслуговування. Робот також може бути переміщений як складовий елемент, при цьому не потрібно внесення змін до програми, що управляє. Можливі надземні рухи.

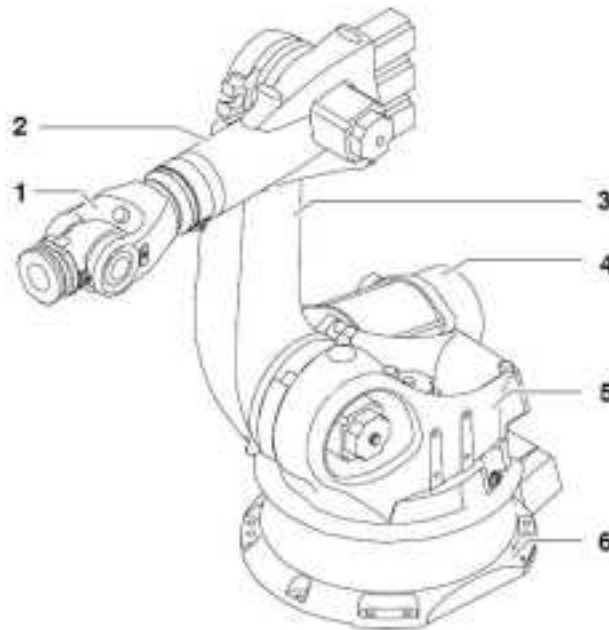
Ці та численні інші особливості конструкції роблять робота швидким, надійним та простим у технічному обслуговуванні. Він займає мало підлогового простору і може розташовуватися близько до оброблюваної деталі внаслідок конструктивних геометричних особливостей. Кожен робот оснащений контролером, чії керуючі органи та силова електроніка розташовані в загальній шафі. Контролер компактний, має дружній інтерфейс та легкий в обслуговуванні.

					ДП.МТІР.11006263.00.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Різноманітні кабелі між роботом і контролером включають лінії живлення та шини даних (інформаційні). Кабель підключають до робота через вбудовані роз'єми, електроживлення, даних, управління та патрубки з подачею рідини гідравлічної системи для роботи захватного пристрою робота. Ці лінії монтуються з внутрішньої сторони головної осі 1 і можуть бути прокладені до самого захватного пристрою за допомогою системного інтерфейсу, якщо потрібно.

1.2 Конструкція промислового робота ПР 150

Робот складається із закріпленої основи та розташованої на ньому поворотної колони, яка обертається навколо вертикальної осі разом з рукою, передпліччям та зап'ястям (рисунок 1.2).



1 – зап'ястя; 2 – рука; 3 – передпліччя; 4 – система, що врівноважує; 5 – колона, що обертається; 6 – основа

Рисунок 1.2 – Конструкція робота ПР 150

					ДП.МТІР.11006263.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		12

Механізм зап'ястя маніпулятора (рисунок 1.3) забезпечене фланцем для закріплення на ньому інструментів (захоплювальних пристроїв, зварювальних інструментів, фарбувальних сопел та інших).

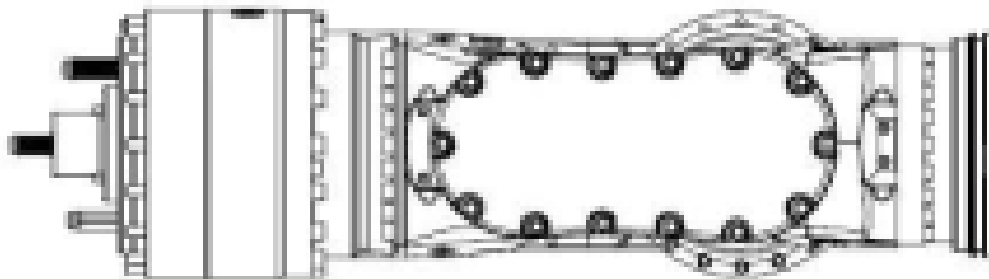


Рисунок 1.3 – Механізм зап'ястя маніпулятора

Корисне навантаження і власна вага компонентів робота компенсується великими розмірами системи, що врівноважує, розташованої поруч з віссю.

Шляхом її налаштування за допомогою спеціальних інструментів, результат може змінюватись в залежності від корисного та додаткового навантажень та місця встановлення робота.

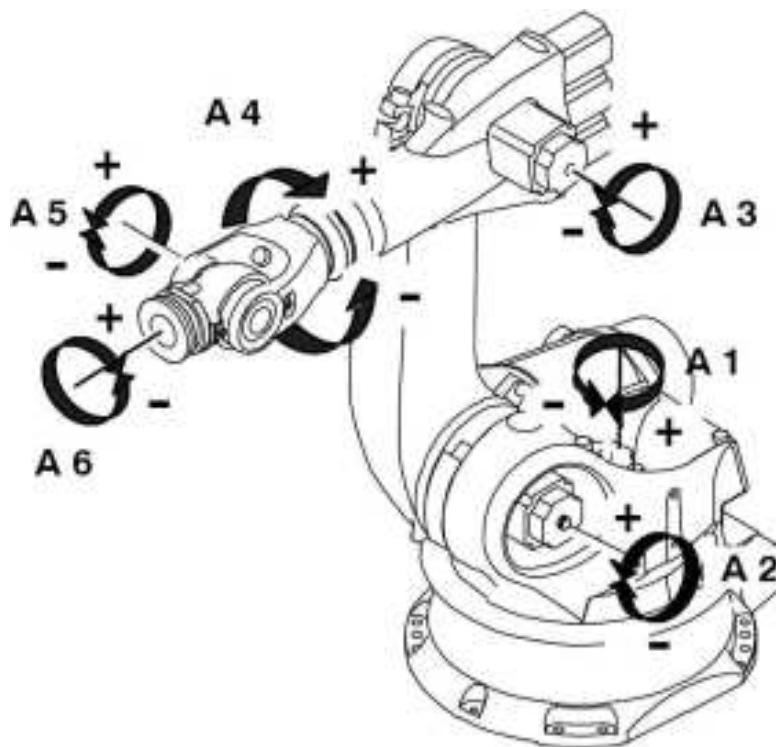
Абсолютними координатами головної осі та осі зап'ястя (рисунок 1.4) оперує циклічна сенсорна система за допомогою датчиків положення, розташованих на кожній осі.

Кожна вісь приводиться в рух керуючим транзистором малоінерційного сервоприводу змінного струму. Система гальмування та датчики положення інтегровані у вузол двигуна.

Робоча зона робота визначається можливостями пересування кожної осі робота. Робочі зони осей 1, 2, 3 та 5 (рисунок 1.5) механічно обмежені кінцевими упорами. Механічні упори для спеціального обмеження робочих зон осей 1 та 3 постачаються як опція «Обмеження робочої зони».

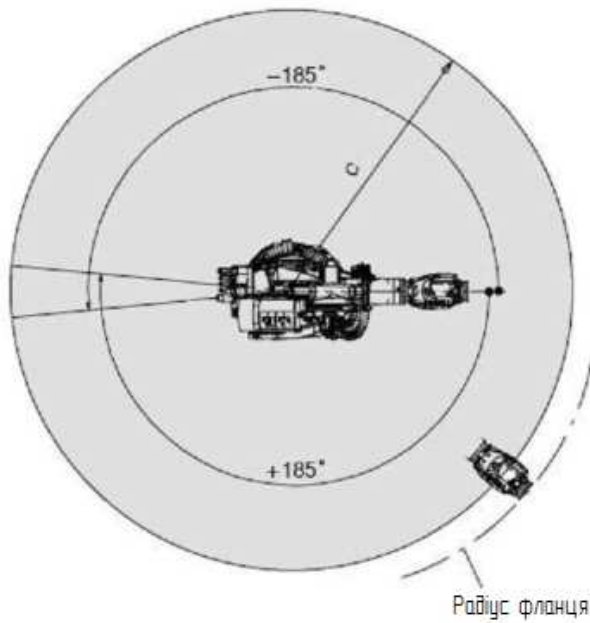
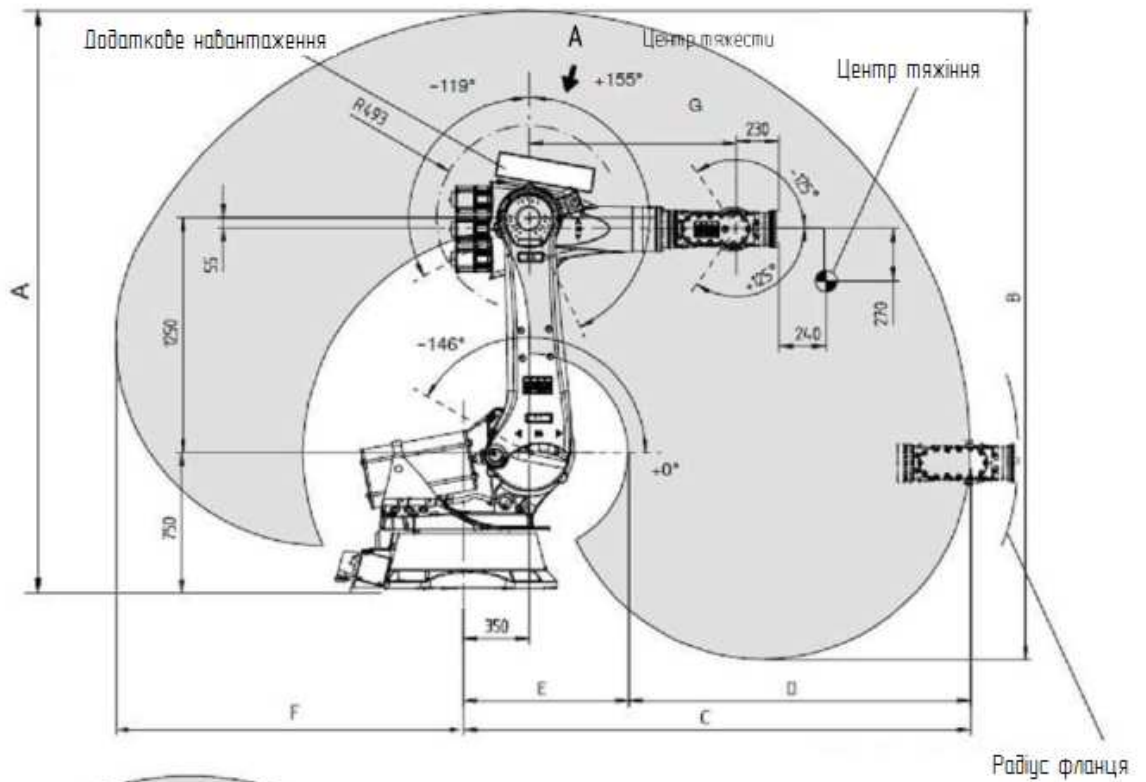
Можливий варіант виконання механізму захвату, що призначений для робіт з умовами високих механічних та теплових навантажень. Захват значною мірою герметизований (робочий орган знаходиться під тиском 0,1

бар) і виконаний з корозійностійких матеріалів. У випадках агресивного середовища, роботи чи підвищеного механічного, теплового чи іншого навантаження, впливу інших зовнішніх факторів, необхідні більш короткі інтервали між техобслуговуванням через вищу зношуваність.



Вісь	Діапазон значень	Швидкість з номінальним навантаженням		
		150 кг	130 кг	110 кг
1	$\pm 180^\circ$	110 °C	105 °C	105 °C
2	від +0 до -146°	110 °C	110 °C	110 °C
3	від +155 до -119°	100 °C	95 °C	93 °C
4	$\pm 350^\circ$	170 °C	170 °C	170 °C
5	$\pm 125^\circ$	170 °C	170 °C	170 °C
6	$\pm 350^\circ$	238 °C	238 °C	238 °C

Рисунок 1.4 – Геометрична модель маніпуляційної системи робота та його характеристики



Центр тяжіння додаткового навантаження розміщений поруч з віссю 3. Початкова точка робочої зони знаходиться на перетині осей 4 і 5

	A	B	C	D	E	F	G
ПР-150	3100	3450	2700	1875	825	1788	1100
ПР-150/130	3300	3850	2900	2050	850	1987	1300
ПР-150/11	3500	4250	3100	2150	950	2187	1500

Рисунок 1.5 – Робоча зона робота (підлогове виконання).

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

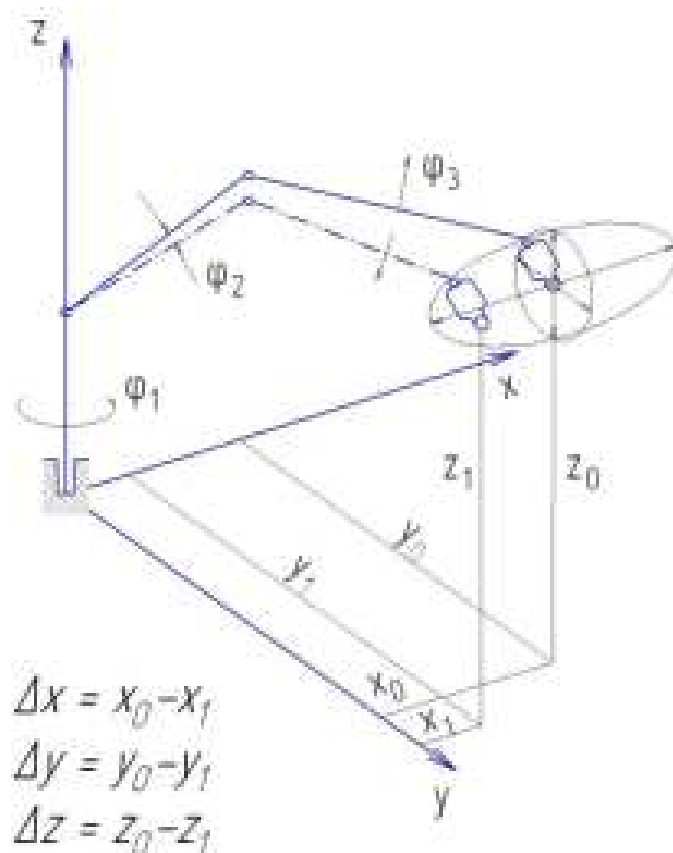
ДП.МТІР.11006263.00.00.000 ПЗ

Арк.

15

1.3 Визначення точності контурного позиціонування промислового робота

Точність контурного позиціонування робота-маніпулятора визначається значенням відхилення координат реального положення його точки позиціонування від розрахункових, заданих програмно. У відповідності до неї визначаються контрактні технологічні операції, які може виконувати промисловий робот. Для визначення похибок позиціонування складено схему, показану на рисунку 1.6.



$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ – похибки позиціонування при повороті руки робота на деякий кут φ

Рисунок 1.6 – Схема визначення точність позиціонування робота

Для кількісної оцінки точності положення робота використовується похибка, яка виражає величину відхилення між реальними та заданими

					ДП.МТІР.11006263.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		16

програмно координатами відповідних точок розташування робота.

Причинами виникнення відхилень положення робочого органу промислового робота в основному є наступні чинники:

– похибки пристроїв керування. Оскільки переміщенням робочого органу промислового робота керується відповідним пристроєм управління, то його похибки, внаслідок неточностей алгоритму, похибки округлення чи інших чинників неминуче призведуть до помилок положення самого робота у просторі;

– похибки приводів. Такі похибки виникають внаслідок неточності механічного виконання деталей приводів, через неточність зупинки механізмів приводу внаслідок інерції, тертя та інших фізичних чинників. Такі похибки можна виміряти та статистично опрацювати.

– технологічні похибки при виготовлення деталей, механізмів та модулів робота-маніпуляторів результаті чого реальні геометричні розміри елементів робота відрізняються від конструктивних значень, заданих кресленнями та технічною документацією. Такі похибки, зазвичай, відносяться до постійних складових, і їх величина визначається експериментальним методом – порівняння виміряних реальних розмірів конструкцій з проектними;

– похибки обумовлені пружністю матеріалів, з яких виготовлені кінематичні деталі робота. Ці похибки визначаються тим, що у процесі роботи механізми маніпулятора зазнають певних деформацій.

– похибки обумовлені неоднорідністю відстаней у кінематичних парах, що мають забезпечувати функціонування механізмів робота. Такі похибки неточності з'єднань є одним із найосновніших факторів, що впливають на точність позиціонування промислового робота.

Крім того, похибки позиціонування робота-маніпулятора можуть залежати від умов його експлуатації та навколишнього середовища. Їх можна класифікувати за наступним типам:

					ДП.МТІР.11006263.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		17

– похибки, обумовлені зміною характеристик змащення поверхонь тертя робота;

– похибки, спричинені послідовністю і поєднанням поступальних та обертальних переміщень деталей робота, причому їх значення величини залежить від пропорційності цих переміщення;

– похибки, які зумовлені зміною величини навантаження під час переміщення чи маніпулювання. Із збільшенням маси об'єкту, що переміщується при маніпулюванні, похибка позиціонування робочого інструменту також зростає.

1.4 Аналіз методів визначення контурної точності переміщення промислового робота-маніпулятора

Точність контурного переміщення робота-маніпулятора по заданій траєкторії визначає можливість їх застосування для виконання певних виробничих процесів, пов'язаних з переміщенням об'єктів і виконанням інших технологічних операцій, наприклад, дугового зварювання, фарбування, напилювання, порізки, свердління. Для виконання технологічних операцій промислові роботи програмуються вручну оператором. Це може здійснюватися шляхом переміщення робочого органу робота оператором вручну при вимкнених електроприводах, задаючи, таким чином, траєкторію руху, яка запам'ятовується в пам'яті керуючого пристрою. При цьому приводи ланок вимкнені, а оператор, переміщуючи робочий орган робота вручну, визначає траєкторію переміщення інструменту робота. Такий спосіб називається «навчанням» робота.. В такому випадку, контроль контурної точності полягає у вимірюванні похибок при переміщення робочого органу в автоматичному режимі відносно траєкторії заданої під час програмування методом навчання.

					ДП.МТІР.11006263.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		18

Такий спосіб програмування та забезпечення контурної точності позиціонування носить ручний характер і не є дуже точним. Тому є необхідність розробки автоматичних методів контролю контурної точності промислових роботів, які в автоматичному режимі здійснюють вимірювання координат точок позиціонування робочого органу при переміщенні в просторі та здійснюють обчислення за допомогою мікропроцесорних пристроїв.

Найбільш прогресивним є спосіб прямого автоматичного вимірювання похибок позиціонування на базі мікропроцесорної техніки різної конструкції та принципу дії.

Одним з таких пристроїв є координатометр., оснащеного датчиками лінійних переміщень, схема якого наведено на рисунку 1. 7

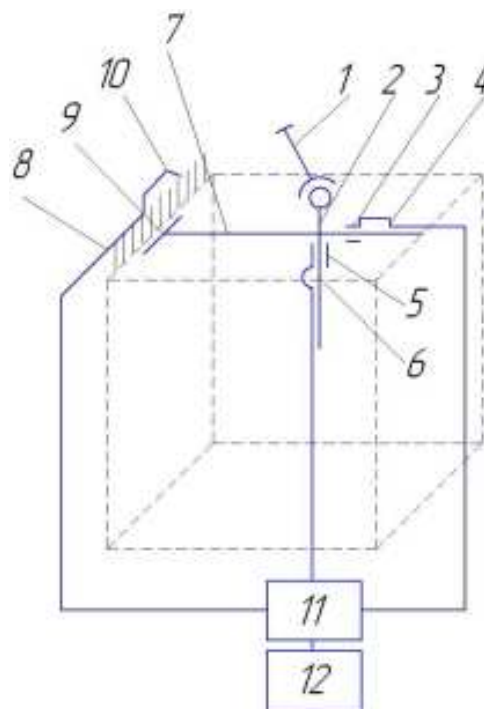


Рисунок 1.7 – Схематична будова координатометра з датчиками лінійних переміщень

Рука робота 1 є ланкою у кінематичному ланцюзі, з'єднана зі штоком 2 через кульковий шарнір. По направляючих 5 шток 2 переміщується вздовж осі Z. Напрямні 5 переміщуються по штоку 7 вздовж осі X кареткою 3. Шток

					ДП.МТІР.11006263.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		19

7 з кареткою 10 і штоком 8 переміщається по осі Y . Координатометр визначається траєкторію переміщення центру кулькового шарніра, який рухається по трьох осях і може реалізовувати переміщення робочого органу по заданій просторовій траєкторії в межах робочого простору. Координати кулькового шарніра вимірюються лінійними координатними датчиками 4, 6 і 9. Значення вимірних сигнали з датчиків передаються у блок реєстрації координат 11, робота якого керується генератором тактових імпульсів 1.

При програмуванні робота методом навчання вимірюються координати точок траєкторії, заданої оператором. При наступній автоматичній роботі вимірюються координати точок відтвореної траєкторії. Інформація про похибках позиціонування та пов'язаних з ними контурних похибках записується в блок 11 реєстрації координат і каналом зв'язку передається в комп'ютер для подальшої обробки та видачі результатів розрахунку похибок.

Недолік: залежно від типу та пристрою роботів координатометр може застосовуватися не у всьому робочому просторі, а лише в окремих його ділянках. В якості датчиків лінійних переміщень використовуються індуктосини.

Схема застосування кругових датчиків у координатометрі представлені на рисунку 1.8.

Один кінець тросика 2 з'єднаний з рукою 1 робота, інший кінець з'єднаний з натяжним барабаном 7. Тросик 2 обмотує вимірювальний барабан 9. При повороті барабана вимірювального 7 кут його повороту вимірюється круговими датчиками 8. Тросик 2 пропускається всередину нап'ямної втулки 3, яка повертається навколо двох взаємно перпендикулярних осей. Кути α і β повороту втулки вимірюються круговими датчиками 10 та 4.

При переміщенні руки робота 1 робота кругових датчиків 4, 8, 10 передаються блоку 5 реєстрації. Блок реєстрації 5 синхронізується за допомогою тактового генератора 6.

					ДП.МТІР.11006263.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

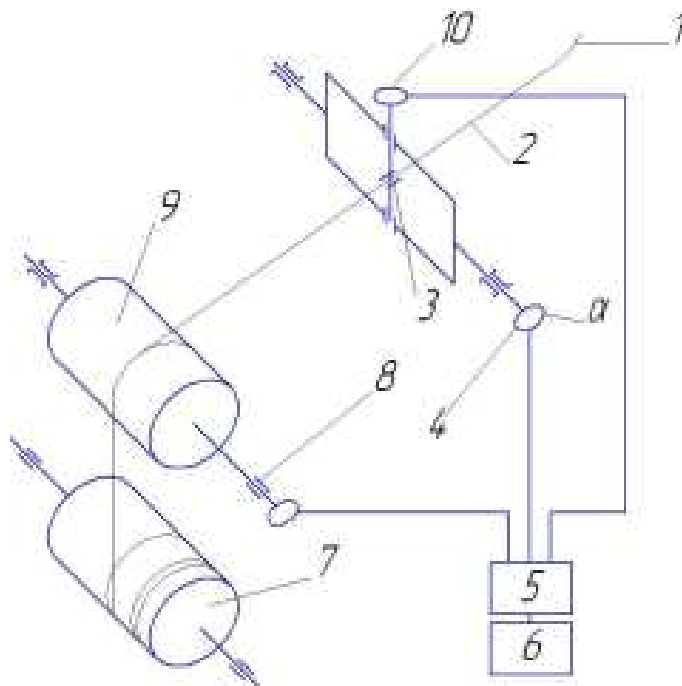


Рисунок 1.8 – Координатометр із круговими датчиками

Перевагою використання даного вимірювального пристрою є можливість його розміщення поза робочим простором досліджуваного робота. Круговими датчиками також є індуктосини.

Основним недоліком координатометрів є складність їхньої конструкції та громіздкості. Простіше реалізуються вимірювання похибок позиціонування при переміщенні за площинами траєкторій.

За одним з методів дослідження точності позиціонування робота здійснюється за допомогою шаблону з плоскою траєкторією, по якій переміщається вимірювальна головка, закріплена в захваті досліджуваного робота (рисунок 1.9). Шаблон розміщується в межах робочого простору робота. Покази вимірювальної головки у початковому положенні обнуляються. Робот програмується шляхом навчання. У процесі навчання робота наконечника вимірювальної головки проводиться вздовж шаблону, описуючи плоску траєкторію, що визначається як задана. Потім відпрацьовується автоматичний цикл обведення шаблону.

					ДП.МТІР.11006263.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		21

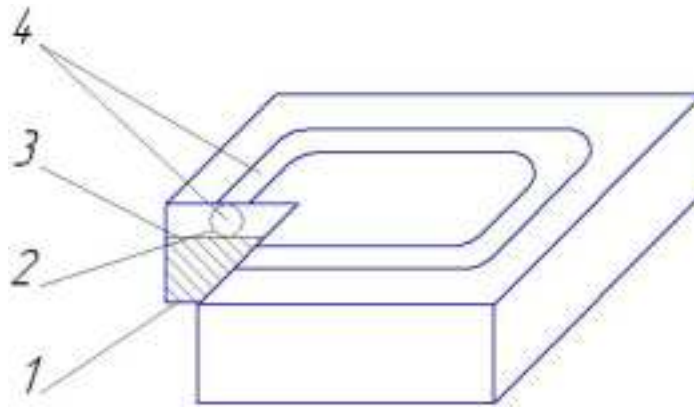


Рисунок 1.9 – Пристрій із вимірювальною головкою

При обході шаблону в автоматичному режимі оцінюються відхилення траєкторії від розрахункової.

Шаблон 1 має паз 4. Уздовж паза 4 переміщається наконечник 2 вимірювальної головки. Фіксація наконечника 2 в пазі шаблону 4 шаблону 1 забезпечується пластинами 3.

Методи прямого вимірювання призначені, переважно, для дослідження точності відтворення контрольних траєкторій. При дослідженні робочих траєкторій вимірювальні пристрої іноді не вдається розмістити в робочому просторі досліджуваного робота, в якому одночасно може знаходитися, наприклад, устаткування.

Розглянуті методи не дозволяють одночасно вимірювати траєкторії переміщень кількох точок ланок робота, що необхідно при дослідженні конфігурацій робота, які забезпечують коректне виконання технологічного процесу.

Пристрій, що реалізує опосередкований спосіб вимірювання похибок контурної точності переміщень робота, показано на рисунку 1.10.

Робот, що навчається, забезпечений датчиками 1, що вимірюють відносного положення його ланок, тобто. визначальними його поточну конфігурацію. При навчанні робота датчики фіксують інформацію про траєкторію, задану програмно. При переміщенні робота в автоматичному

режимі, ця інформація може використовуватися для корекції помилок реальної траєкторії. Сигнали з датчиків 1 синхронізовані згідно тактового генератора 2 надходять в блок обробки 3 інформації або в ЕОМ. Причому цей процес реалізується не тільки у режимі навчання, а й у автоматичному режимі. На основі цієї інформації з врахуванням відомих геометричних та кінематичних характеристик робота можна розрахувати координати точок переміщення робочого органу робота за реальною траєкторією та конфігурацію робота.

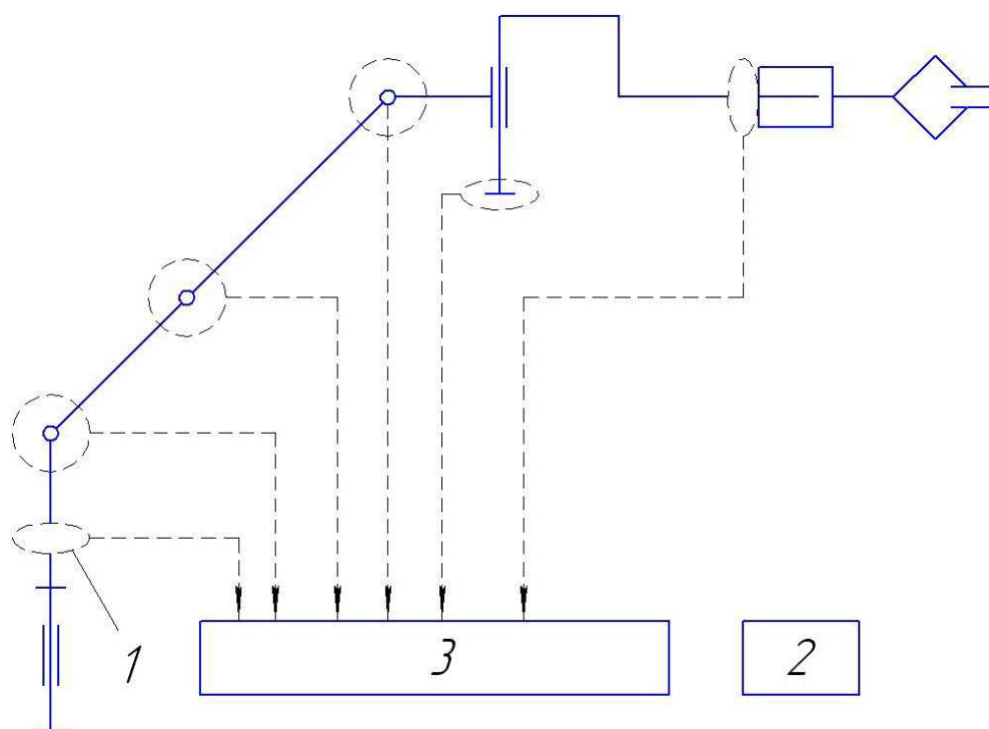


Рисунок 1.10 – Процес навчання робота..

За допомогою цього методу можна оцінити як впливають різні похибки (програмні, кінематичні, динамічні, приводів) на точність роботи промислового робота.

Недолік цього методу полягає в тому, що він не враховує вплив пружних і теплових деформацій ланок, шарнірів і з'єднань робота на точність позиціонування, а отже, і контурну точність переміщень.

2 ПРОЕКТУВАННЯ СТЕНДУ КОНТРОЛЮ ТОЧНОСТІ КОНТУРНИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ

2.1 Основні технічні характеристики стенду контролю точності контурних переміщень

Стенд контролю точності контурних переміщень проектується для вимірювання контурної точності промислових роботів.

Стенд контролю точності контурних переміщень промислового робота змонтований на технологічній основі, і містить три датчики лінійних переміщень, опорну стійку, еталон і реєструючі апаратуру у вигляді персонального комп'ютера, з встановленою платою аналого-цифрового перетворювача. Датчики лінійних переміщень орієнтовані таким чином, щоб осі їх чутливих елементів співпадали з координатними осями X, Y, Z декартової системи координат. Конструктивно датчики закріплені на опорній стійці та підключені до плати аналого-цифрового перетворювача, який передає дані комп'ютер. Робочим органом робота є кулька, переміщення якої вимірюються вищевказаними датчиками.

Розроблений стенд дозволяє вимірювати лінійні похибки величиною до 10 мм по кожній осі координат з точністю 0,03 мм. Результати вимірювання виводяться на монітор персонального комп'ютера з можливістю друку протоколу вимірювального експерименту. Споживана потужність, стенду становить 670 Вт, габаритні розміри дозволяють врахувати розміри робочої зони досліджуваного робота і складають 600x600x1700 мм.

Для вимірювання контурної точності робота необхідне наступне обладнання:

– системний блок персонального комп'ютера з підключеним до нього монітором та принтером;

					ДП.МТІР.11006263.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		24

- система управління робота із встановленим програмним забезпеченням;
- плата АЦП NVL38 виробництва фірми "Сигнал";
- блок живлення Б5-47, з встановленими величинами напруги 5В та струму 0.1 мА;
- три датчики лінійних переміщень;
- імітатор інструменту.

2.2 Опис принципу проведення вимірювань точності контурних переміщень промислового робота

Метою вимірювання контурної точності переміщення робота є перевірка здатності робота зберігати постійними задані координати кінцевої точки інструменту у просторі за зміни його орієнтації.

Для проведення випробування на фланці шостої осі робота закріплюється імітатор інструменту, на кінці імітатора знаходиться кулька, центр якої є кінцевою точкою інструменту. Для отримання дійсних результатів випробування дуже важливо мати правильно виміряні координати імітатора інструменту.

Для проведення випробування системи управління робота розроблено спеціальне програмне забезпечення. За цією програмою робот підводить інструмент у точку виміру і змінює орієнтацію імітатора в просторі, не змінюючи його координат. Зміна орієнтації відбувається навколо всіх трьох осей X, Y, Z декартової системи координат робота.

Знімання реальних декартових координат кінцевої точки імітатора інструменту здійснюється за допомогою трьох датчиків, закріплених на спеціальній стійці. Датчики приєднані до плати АЦП у персональному комп'ютері. При натисканні на датчики відбувається зміна їхньої вихідної

					ДП.МТІР.11006263.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		25

напруги, яка зчитується з плати АЦП. Знаючи максимальну вхідну напругу, що подається на датчики та хід стрижня датчиків, можна перевести зміни вихідної напруги в одиниці вимірів довжини. У точці виміру імітатор інструменту стосується кулькою всіх трьох датчиків. При зміні орієнтації інструменту можливі колювання його кінцевої точки будуть вимірювані датчиками та оброблені програмним забезпеченням комп'ютера. Після відпрацювання програми вимірювання похибок роботом буде отримано результати максимальних відхилень кінцевої точки імітатора інструменту та максимальних биття інструменту по осях X, Y, Z. Максимальні відхилення інструменту по осях не повинні перевищувати наступних величин:

- по осі X: від -1 до +1 мм,
- по осі Y від від -1 до +1 мм.,
- по осі Z від мінус 1,5 до плюс 1,5 мм.

Максимальні биття інструменту по осях не повинні перевищувати наступних величин:

- по осі X : 0,6 мм,
- по осі Y: 1,0 мм,
- по осі Z: 1,2 мм.

Якщо отримані результати не перевищують заданих меж, то робот визнається таким, що пройшов випробування контурної точності.

В результаті вимірювань отримано лінійні похибки переміщень по відповідним осям:

$$\Delta L_x = 0.03\text{мм}, \quad \Delta L_y = 0.04\text{мм}, \quad \Delta L_z = 0.05\text{мм}.$$

Систематична похибка: $\Delta_{\text{sys}} = 0,02\text{мм}$.

Відповідно, сумарна похибка буде згідно виразу:

					ДП.МТІР.11006263.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		26

$$\Delta_S = \sqrt{(\Delta L_x)^2 + (\Delta L_y)^2 + (\Delta L_z)^2 + (\Delta L_{sys})^2}$$

$$\Delta_{sS} = \sqrt{0,03^2 + 0,04^2 + 0,05^2 + 0,02^2} = \sqrt{0,0054} = 0,0735 \text{ мм.}$$

2.3 Обґрунтування вибору датчиків

Безконтактні індуктивні датчики використовуються:

- 1) при вимірі переміщення, позиції та дистанції між об'єктами;
- 2) при вимірі деформацій, відхилень та амплітуд значень;
- 3) при вимірі рівня та глибини розташування об'єктів.

Умови використання датчиків:

- робоча температура: від мінус 40 до плюс 85оС, $R \leq 500$ Ом;
- температура зберігання: від мінус 40 до плюс 100оС;
- вологість: 95%;
- робочий тиск: атмосферний.

Будова та принцип дії датчика представлена на рисунок 2.1.

Зміщення об'єкта механічно передається сердечнику, розташованому всередині датчика, через вимірювальний штифт. Також всередині стрижня розташована котушка, яка розділена на кілька сегментів і живиться змінним струмом.

Частина осердя виконана з феримагнітного матеріалу, яка називається вимірювальною координатою. Положення координати змінює повний опір сегмента котушки. Таким чином, залежно від положення координати значення отриманої напруги кожного сегмента надходить у підсилювач, який перетворює його на лінійний вихідний сигнал. Серце переміщується без контакту з корпусом датчика. Це забезпечує довгий цикл життя датчику. Немає необхідності в точному розташуванні вимірювального штифта по відношенню до корпусу датчика.

					ДП.МТІР.11006263.00.00.000 ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		



Рисунок 2.1– Індуктивний датчик Omron RS-317 серія L/10

Істотна перевага цих датчиків полягає у великій різниці між власною довжиною та вимірюваним діапазоном. Це означає, що датчики можуть бути встановлені навіть у обмеженому просторі. Датчики можуть бути використані в тих областях, де потрібна висока точність вимірювань, але традиційні засоби (потенціометри тощо) не можуть бути використані через несприятливі умови експлуатації.

Таблиця 2.1 – Технічні дані датчика Omron RS-317 серія L/10

Параметр	Значення
Діапазон вимірювань	50 мм;
Лінійність	$\leq 0,5\%$ від повного вихідного сигналу;
Точність	0,03% від повного вихідного сигналу;
Робоча температура	-40 С до +85 С, R ≤ 500 Ом;
Температуростійкість	$\leq \pm 0,015\%$;
Смуга частот	300 Гц;
Напруга	від 18 до 30 В;
Вихідний сигнал	від 4 до 20 мА;
Опір	500 Ом;

На штифті (рисунок 2.2) є різьблення М3 для скріплення з об'єктом, що замірюється. Перед монтажем з'єднання необхідно обробити сумішню від розгвинчування або забезпечити кріплення контргайкою. Після монтажу

необхідно переконатися, що штифт вільно переміщається в корпусі датчика і вісь штифта поєднана з віссю датчика.

Необхідно позиціонувати штифт датчика початкову точку (вихідний сигнал 4 мА).

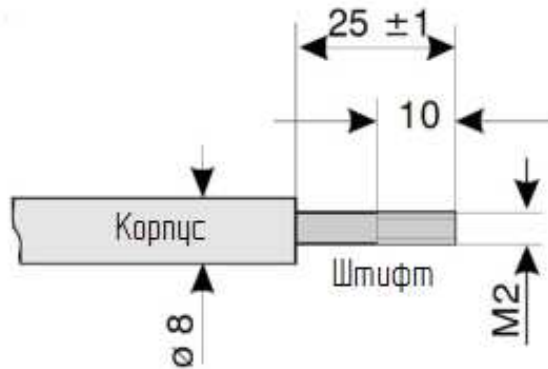


Рисунок 2.2 – Габарити датчика для центрування

Основа датчика має різьблення, за рахунок чого він кріпиться до монтажної плити.

Також, крім датчика йдуть монтажні блоки (рисунок 2.3), які виробник рекомендує використовувати при монтажі. Датчик може бути закріплений за стержень за допомогою пластмасових гвинтів, якщо місце встановлення позбавлене вібрацій та коливань. Використовувати пластмасові гвинти необхідно, щоб уникнути деформації корпусу датчика.

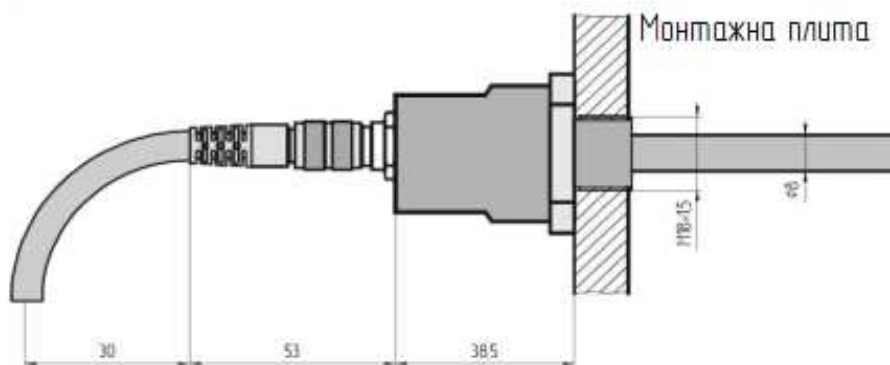


Рисунок 2.3 – Схема монтажу датчика Omron RS-317 серії L/10

					ДП.МТІР.11006263.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		29

Для монтажу було розроблено конструкцію поліамідного монтажного блоку згабаритними розмірами: 55×12×38 мм і отворами кріплення М4 (рисунок 2.4)

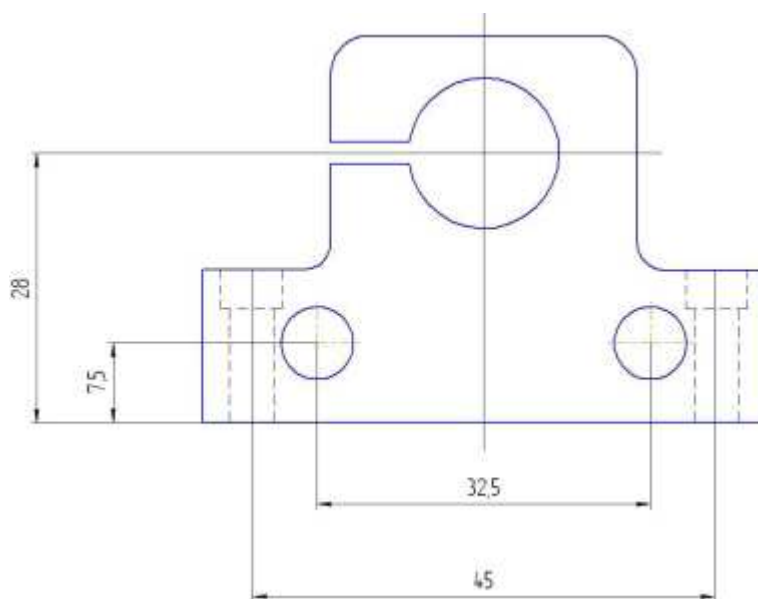


Рисунок 2.4 – Конструкція монтажного блоку.

2.4 Аналого-цифровий перетворювач NVL38

Аналого-цифровий перетворювач NVL38 призначений для роботи у складі ПК. Даний пристрій здійснює перетворення вимірюваних аналогових сигналів переміщення вимірювального елемента цифровий сигнал, ПК, що обробляється.

NVL38 виконує функції аналого-цифрового перетворення.

Аналоговий вхід NVL38:

Розрядність 12 біт

Число каналів 32

Діапазон вхідної напруги +/- 2,000 V +/- 4,000 V

(Встановлюється перемичкою)

Максимальна вхідна напруга +/- 2,0 V

					ДП.МТІР.11006263.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		30

Вхідний опір 47 КОМ

Продуктивність у складі ПЕОМ визначається швидкістю звернення до шини.вводу.

Плата АЦП пристрою NVL38 складається з наступних блоків:

- аналогового введення;
- сполучення з шиною ПК;
- аналогового комутатора.

Базою блоку аналогового введення є мікросхема AD9220 фірми "ANALOG DEVICES". Особливості роботи цієї мікросхеми полягають у архітектурі «Pipelineed». Ця архітектура передбачає генерацію АЦП результату після виконання перетворень, починаючи зі старшого розряду, з низьким дозволом. Подальше перетворення відбувається після отримання

вхідного сигналу, що являє собою різницю між оригінальним сигналом та його реконструкцією за допомогою ЦАП. Вихідна цифрова логіка накопичує всі результати перетворень та формує скоригований результат. Результати перетворень можуть бути прочитані на цифрових виходах у кожен такт тактової частоти (через кожні 170 нс). У разі можна припустити, що у вході АЦП – аналогове напруга, але в виході – цифрові коди, що змінюються кожні 170 нс. Оскільки шина введення працює повільніше за АЦП, то при будь-якому зверненні до буфера АЦП пристрою NVL38, в ньому знаходиться поточний код результату перетворення. За необхідності в команді запуску АЦП т.к. АЦП працює безперервно. Мінімальна невизначеність часу між моментом фіксації аналогової напруги на вході АЦП та моментом читання результату (залежно від комплектації ПЕОМ та програмного забезпечення) становить 0,7-1,0 мкс.

Код АЦП складає 12 розрядів. Вони розміщуються з 0 по 11-й розряд буфера пристрою. 12-й розряд означає сигнал, що АЦП вийшов межі вимірів. Якщо в цьому розряді логічна одиниця, то аналогова напруга, що запам'ятовується, перевищила допустимий рівень.

					ДП.МТІР.11006263.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		31

Блок сполучення з шиною ПЕОМ:

- узгодить шину даних ПК та внутрішню шину даних перетворювача NVL38;

- дешифрує адресні комбінації для фіксації адрес блоків перетворювача NVL38 в адресному просторі введення-виведення ПК.

Програмування пристрою NVL38 Програмно пристрій NVL38 представляється у вигляді однієї адреси регістра в адресному просторі вводу/виводу IBM PC.

Щоб вибрати необхідний канал для вимірювання, необхідно за адресою BASE (базова адреса) записати байт з необхідним номером каналу.

Програмування АЦП пристрою NVL38 включає лише одну операцію – читання результатів перетворення з буфера АЦП за адресою BASE.

Інформація від АЦП передається 2 байтами, що мають наступну структуру. Молодші 12 розрядів (11 - 0) прийнятого коду, містять результат аналого-цифрового перетворення. Одиниця молодшого розряду коду АЦП відповідає 0.98 мВ вхідної напруги. При цьому вхідні напруги та результуючі коди знаходяться в наступному співвідношенні:

FFFh - + 2000 мВ,

800h - 0,0 мВ,

000h - -2000 мВ

12-й розряд коду містить інформацію про те, що вхідна напруга перевищує допустимі норми (плюс/мінус 1,024 В.). Одиниця в цьому розряді означає, що результат перетворення недійсний.

Розряди 13,14 та 15 призначені для запису зовнішніх цифрових сигналів паралельно з результатами аналого-цифрового перетворення.

					ДП.МТІР.11006263.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		32

3 ОПИС ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО СТЕНДУ ПЕРЕВІРКИ КОНТУРНОЇ ТОЧНОСТІ ПЕРЕМІЩЕНЬ РОБОТА

3.1 Опис функцій меню користувача

Під час увімкнення ПК автоматично завантажується програма, що забезпечує проведення випробування робота на контурну точність. Після завантаження на екран монітора виводиться головне меню користувача, яке складається з наступних пунктів:

1. Запуск програми виміру;
2. Виведення результатів виміру;
3. Вихід.

Щоб вибрати потрібний пункт, потрібно з клавіатури ввести відповідну цифру, що означає номер пункту.

Пункт 1. Запуск програми вимірювання

У цьому пункті можна підготувати усі вхідні дані для програми експерименту. На екрані монітора відображається повідомлення із запрошенням ввести номер випробовуваного робота: «Введіть номер робота:».

Якщо введений номер виявився однаковим із номером раніше випробованого робота, тоді з'являється повідомлення із попередженням «Файл робота №... вже існує». Переписати його? [Y-Так\N-Ні]». При правильному введенні номера робота з'являється запрошення введення прізвища виміру оператора:

"Прізвище оператора: []". Оператор вводить дані, натискає клавішу Enter.

Після цього виводиться запрошення введення типу випробованого робота шляхом вибору його із запропонованого списку.

					ДП.МТІР.11006263.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		33

Потім на екрані показується результат контролю правильності положення імітатора інструменту початкової точці заданої траєкторії. Якщо положення правильне, то екран відображається координатна сітка з осями X, Y і Z, і процес виміру починається. Якщо положення неправильне, замір буде заборонено і відбувається повернення до головного меню.

Після закінчення експерименту дані виводяться на екран монітора.

Можливі збереження результатів у вигляді файлу та виведення результатів на принтер в ідеї графіків або протоколу вимірювань.

Пункт 2. Виведення результатів виміру

У цьому вся пункті проглядаються результати проведених вимірювальних експериментів. На екрані виводиться меню, що містить такі пункти:

1. Номер робота;
2. Список файлів;
3. Графік останнього виміру;
4. Головне меню.

Для вибору потрібно натиснути відповідну цифру на клавіатурі.

Пункт 1. Номер робота

Щоб переглянути результати вимірювань, необхідно ввести номер робота. Якщо для даного робота вимірювання не проводилися, файл з результатами вимірювань відсутня, на екран виводиться відповідне повідомлення.

Пункт 2. Список файлів

Даний пункт дозволяє переглянути всі файли з даними вимірюваних робіт, які є на жорсткому диску комп'ютера.

Пункт 3. Графік останнього виміру

Даний пункт дозволяє переглянути графічну інформацію щодо результатів вимірів похибок останнього випробуваного робота.

					ДП.МТІР.11006263.00.00.000 ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Пункт 4. Головне меню

Можливе повернення в головне меню програми після вибору цього пункту.

Пункт 5. Вихід

При виборі цього пункту відбувається вихід із програми.

3.2. Порядок проведення вимірювань

Для проведення випробування робота на контурну точність необхідно діяти так:

1. Приєднати робот, що випробовується, до системи управління.
2. Закріпити на фланці шостої осі маніпулятора імітатор інструменту.
3. Включити систему керування робота.
4. Вибрати в системі управління робота програму вимірювання.
5. Запустити програму в режимі автоматичної роботи AUT для переміщення робота в початкову точку контрольованої траєкторії.
6. Включити живлення ПК та монітора, живлення принтера та блок живлення Б5-47.
7. Вибрати у головному меню програми вимірювання пункт 1.
8. Ввести дані робота (номер, тип), і навіть дані оператора, натиснути Enter.
9. На екрані монітора виводяться результати тестування правильності положення імітатора інструменту в початковій точці траєкторії. Якщо становище неправильно, буде видано відповідне повідомлення. Щоб уникнути виходу датчиків лінійних переміщень з ладу, необхідно проводити подальші дії в наступному порядку:
 10. Закрити керуючу програму робота,
 11. У режимі ручного управління вивести робот, що випробовується, з положення початкової точки траєкторії у вихідне положення HOME.

					ДП.МТІР.11006263.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		35

12. Закрити програму проведення вимірювальних випробувань.

13. Вимкнути блок живлення Б5-47, а також живлення ПК, монітора, принтера та системи керування робота.

Якщо при повторній спробі тестування правильності положення імітатора інструменту в початковій точці траєкторії показало правильний результат, то на екран монітора виводиться відповідне повідомлення та необхідно діяти в такому порядку:

14. Натиснути клавішу Enter.

15. Продовжити випробування робота до закінчення переміщення імітатора по траєкторії до її початкової точки. Цикл виміру закінчується, робот зупиняється.

3.3 Опис екранного інтерфейсу системи керування

До засобів спілкування людини-оператора із системою управління UCS V4.0 відносяться:

- Екранний інтерфейс;
- кнопкова панель, що дублює комп'ютерну мишу (кнопкова панель 1);
- кнопкова панель ручного керування роботом (кнопкова панель 2);
- комп'ютерна клавіатура промислового чи офісного виконання, що підключається через канал PS/2;
- комп'ютерна миша чи інший дигітайзер, який може приєднуватися до каналу миші PS/2;
- переносний пульт ручного керування з автономною клавіатурою та РК-монітором.

З метою мінімізації вартості системи деякі режими роботи оператора реалізовані таким чином, що для них потрібен лише мінімальний набір засобів спілкування із системою, до якого входить екранний інтерфейс та

					ДП.МТІР.11006263.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		36

кнопоків панелі 1 і 2. За допомогою мінімального набору оператор може виконувати такі дії із системою:

- встановлювати режим AUTO (автоматичне відпрацювання програми, що управляє) або SLAVE («зовнішня автоматика» – управління від контролера верхнього рівня);
- вибирати керуючу програми з пам'яті системи та запускати її на виконання;
- зупиняти відпрацювання керуючої програми;
- переглядати списки змінних (імена та поточні значення системних змінних та змінних, декларованих у керуючій програмі);
- Переглядати повідомлення системи;
- вибирати систему координат та спостерігати за зміною положення робота в цій системі координат;
- переглядати стан цифрових входів та виходів системи;
- переглядати у вікні осцилоскопа зміну контрольованих параметрів (без можливості зміни списку контрольованих параметрів та їх режиму) відображення);
- переміщати робот у ручному режимі (для виведення в початкову точку програми та усунення наслідків збоїв керуючої програми).

Перелік функцій, доступних за допомогою мінімального набору засобів спілкування із системою, відповідає режиму ОПЕРАТОР.

Для обслуговування системи в режимі ПРОГРАМІСТ до мінімального набору потрібний переносний пульт ручного керування. У режимі ПРОГРАМІСТ додатково до функцій, доступних у режимі ОПЕРАТОР, можна виконувати такі дії:

- встановлювати режими TEST1 та TEST2;
- Переглядати тексти керуючих програм у вікні редактора;

					ДП.МТІР.11006263.00.00.000 ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- створювати керуючі програми за допомогою інтерактивного меню (без використання алфавітно-цифрової клавіатури), імена програм (підпрограм) та змінних призначаються системою автоматично;

- надавати координатам програмних точок конкретні значення методом навчання робота, перенавчати програмні точки в існуючих керуючих програмах;

- при роботі в режимах TEST1 або TEST2 – встановлювати значення цифрових входів та виходів - здійснювати вибір та напівавтоматичний замір інструменту, а також вибір та параметрування схватів.

Для роботи з системою в режимах ЕКСПЕРТ та РОЗРОБНИК необхідна комп'ютерна алфавітно-цифрова клавіатура. Клавіатура може бути підключена до системи у будь-який момент, але ініціалізується лише у режимах

ЕКСПЕРТ та РОЗРОБНИК. У режимах ОПЕРАТОР та ПРОГРАМІСТ клавіатура не працює.

Комп'ютерна миша може підключатися до системи будь-якої миті підвищення зручності роботи з системою.

Керування екранним інтерфейсом

Екранний інтерфейс (рисунок 3.1) працює під операційною системою WINDOWS та є багатовіконним інтерфейсом з елементами, стандартними для сімейства операційних систем WINDOWS.

Для керування екранним інтерфейсом необхідна комп'ютерна миша або засіб, що її замінює. В якості заміни миші мінімальний набір засобів спілкування з системою входить кнопкова панель 1 (рисунок 3.2).

Кнопкова панель складається із шести клавіш:

- клавіші ВЛІВО, ВПРАВО, ВНИЗ, ВВЕРХ – клавіші, що викликають переміщення курсору миші по екрану у зазначених напрямках;

- клавіша ПІДТВЕРДЖЕННЯ – клавіша, аналогічна лівій клавіші двокнопкової комп'ютерної миші, крім того, в деяких режимах діалогу з

					ДП.МТІР.11006263.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		38

системою виконує функції кнопки ENTER клавіатури;

- клавіша ВІДМОВИ – клавіша, аналогічна правій клавіші двокнопкової комп'ютерної миші, крім того, в деяких режимах діалогу з системою виконує функції кнопки ESC клавіатури.



Рисунок 3.1 – Экранний інтерфейс при відображенні всіх вікон

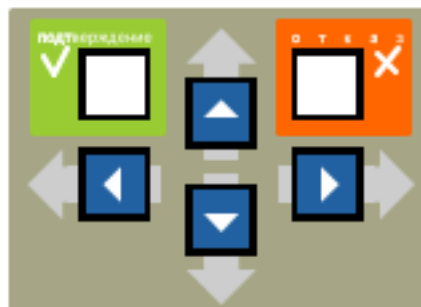


Рисунок 3.2 – Кнопкова панель 1

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

Структура екранного інтерфейсу Основне вікно екранного інтерфейсу займає екран монітора.

Відображення екранних елементів, притаманних операційній системі WINDOWS, пригнічується. Основне вікно можна закрити або згорнути лише за допомогою клавіатури (тобто не можна закрити або згорнути в режимах ОПЕРАТОР та ПРОГРАМІСТ). Стандартне меню керування вікном, характерне для програм WINDOWS, що з'являється при наїзді екранного курсору на верхню смугу під назвою вікна та натискання правої клавіші миші, пригнічується. Екранний інтерфейс оптимізований для відображення з роздільною здатністю 640x480 пікселів.

В основному вікні екранного інтерфейсу можуть розташовуватися 8 функціональних вікон (рисунок 3.3):

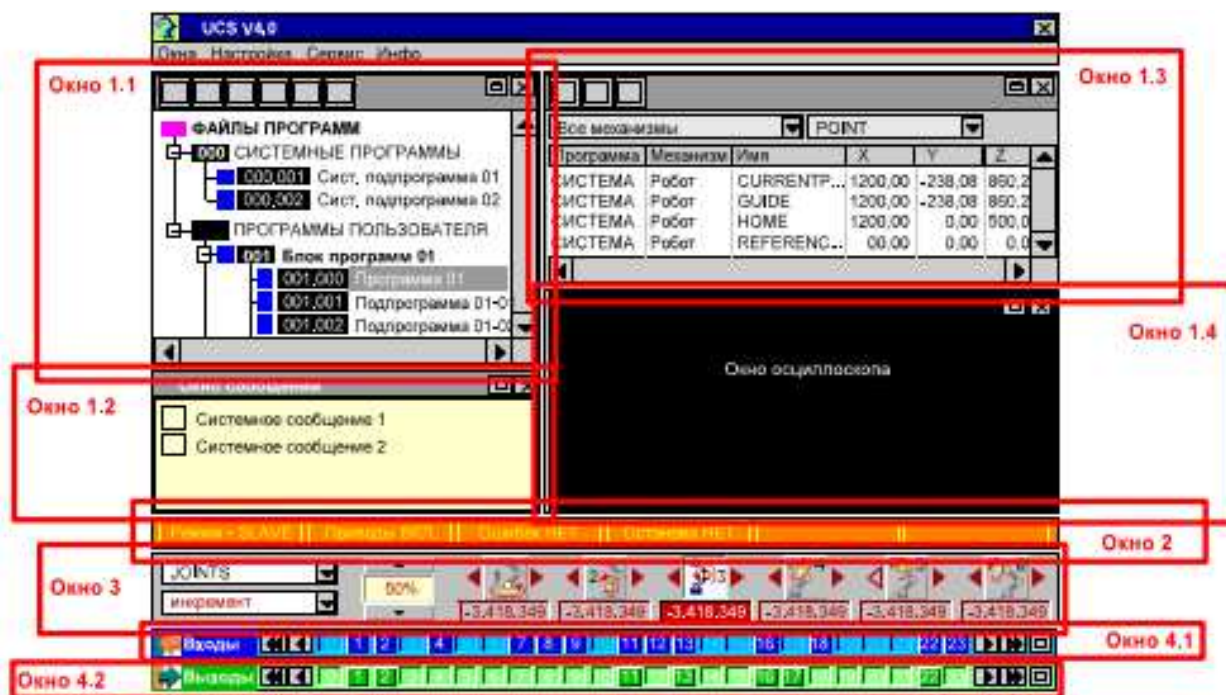


Рисунок 3.3 – Структура вікон екранного інтерфейсу.

- вікно 1.1 ПРОГРАМИ/РЕДАКТОР – (залежно від режиму роботи інтерфейсу) вікно структурованого списку керуючих програм та підпрограм

або вікно редактора керуючої програми;

- вікно 1.2 ПОВІДОМЛЕННЯ - вікно повідомлень, в яке виводяться системні повідомлення та повідомлення, що надходять від поточної керуючої програми;

- вікно 1.3 ЗМІННІ – вікно списків змінних;

- вікно 1.4 ОСЦИЛОСКОП – вікно осцилоскопа;

- вікно 2 СТАТУС – вікно відображення стану системи;

- вікно 3 КООРДИНАТИ – вікно відображення поточних значень координат робочого органу робота та встановлення швидкості руху у ручному режимі;

- вікно 4.1 ВХІД – вікно відображення стану та управління цифровими входами;

- вікно 4.2 ВИХОДИ – вікно відображення стану та керування цифровими входами.

Керування відображенням вікон здійснюється через меню ВІКНА основного вікна екранного інтерфейсу та за допомогою активних полів (екранних «кнопок») згортання/розгортання та закриття вікна, які розташовані в частині вікон.

Відносно розташування вікон постійно, вікна не можна переміщати екраном і міняти місцями (рисунок 3.4).

Вікна 1.1, 1.2, 1.3 та 1.4 утворюють групу 1. Розміри вікон можна змінювати за допомогою екранного курсору. При цьому вікна групи 1 є пов'язаними за принципом, аналогічним принципом, застосованим у програмі Outlook Express.

При переміщенні кордону між парою вікон 1.1, 1.2 та парою вікон 1.3, 1.4 відповідним чином змінюється ширина всіх вікон групи 1. Переміщення кордону між вікнами 1.1 і 1.2 відповідним чином змінює висоту цих вікон і не торкається розмірів вікон 1. Переміщення меж між вікнами 1.3 і 1.4 відповідним чином змінює висоту цих вікон і не зачіпає розміри вікон 1.1 і

					ДП.МТІР.11006263.00.00.000 ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1.2. "Натискання" на екранну кнопку розгортання вікна в одному з вікон групи 1 призводить до того, що це вікно займає все місце, виділене групі 1. При цьому на місці екранної кнопки розгортання вікна з'являється кнопка згортання вікна, натискання якої призводить до відновлення вихідних розмірів вікон. При натисканні на кнопку закриття вікна воно зникає з екрана, яке місце займає вікно 1-ї групи, розташоване над або під ним.

При наданні системних повідомлень вікно 1.2 автоматично розгортається. Залежно від важливості повідомлення вікно або залишається розгорнутим до його згортання користувачем, або автоматично згортається через деякий час (наприклад, через 5 секунд).

Вікна 2, 3, 4.1, 4.2 можна відкрити або закрити лише за допомогою меню ВІКНА основного вікна. Розміри вікон 2 та 3, а також згорнутих вікон 4.1 та 4.2 змінити не можна. Лінії прокручування відсутні. Перегляд вмісту вікон 4.1 та 4.2 можна натисканням клавіші прокручування вмісту вікна. При відкритті (закритті) одного з вікон 2, 3, 4.1, 4.2 розміри (загальна висота) вікон групи 1 зменшуються (збільшуються). При цьому пропорції поділу вікон 1 групи зберігаються, тобто, пропорційно змінюються розміри всіх вікон 1 групи.

Вікна 4.1 і 4.2 можна розгорнути натисканням на відповідну кнопку розгортання вікна для збільшення кількості входів/виходів, що одночасно відображаються. При цьому розгорнуте вікно займає місце вікон 1-ї групи, які зникають із екрана. Місце кнопки розгортання вікна у розгорнутому вікні 4.1 або 4.2 займає кнопка згортання вікна. При натисканні на неї вікна 1 групи повертаються на екран, а згорнуте вікно займає своє місце в нижній частині екран. Якщо одночасно розгорнуті обидва вікна 4.1 і 4.2, то вони розташовуються на місці вікон 1 групи один під одним, вікно 4.1 завжди знаходиться зверху.

					ДП.МТІР.11006263.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		42

Переміщення межі між розгорнутими вікнами 4.1 і 4.2 призводить до відповідної зміни їхньої висоти. Лінії прокручування у вікнах 4.1 та 4.2 не виникають

Функції вікон та органи управління ними

Головне меню

У головне меню основного вікна екранного інтерфейсу входять такі підменю:

- ВІКНА;
- НАЛАШТУВАННЯ;
- СЕРВІС;
- ІНФО (інформація).

У підменю ВІКНА містяться назви всіх восьми вікон:

ВІКНА → ПРОГРАМИ / РЕДАКТОР

→ ПОВІДОМЛЕННЯ

→ ЗМІННІ

→ ОСЦИЛОСКОП

→ СТАТУС

→ КООРДИНАТИ

→ ВХОДИ

→ ВИХОДИ

→ КОНФІГУРАЦІЯ

→ Зберегти конфігурацію

→ Відновити конфігурацію

→ Стандартна конфігурація

Спеціальними символами (галочками) відображається, відкрито чи закрито відповідне вікно зараз. Натисканням відповідного рядка можна відкрити або закрити вікно.

					ДП.МТІР.11006263.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		43

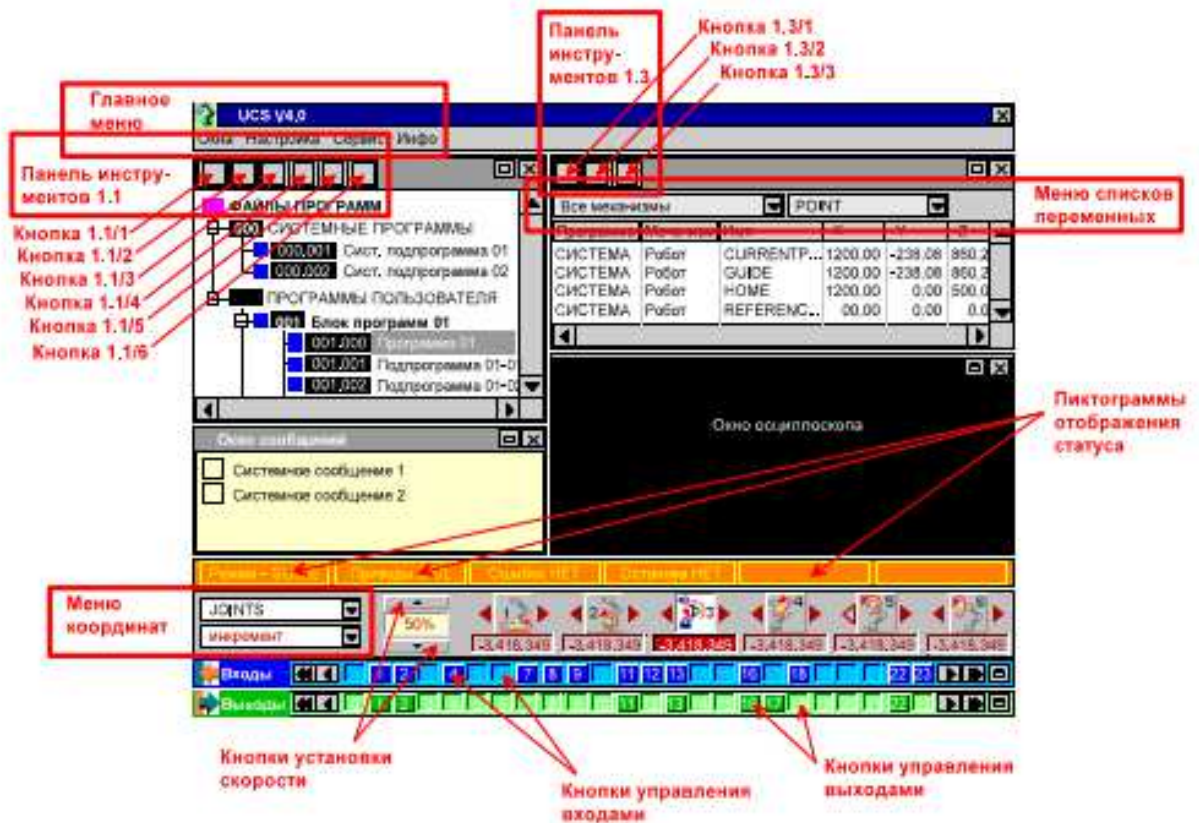


Рисунок 3.4 – Органи керування екранним інтерфейсом

Пропорції вікон, а також склад вікон, що відображаються на екрані, називається конфігурацією, збережена останньою. Якщо конфігурація вікон була змінена, а потім був задіяний пункт меню **ВІДНОВИТИ КОНФІГУРАЦІЮ**, то буде встановлена конфігурація, збережена останньою.

конфігурації користувач натисне на пункт меню **ЗБЕРІГТИ КОНФІГУРАЦІЮ**, то поточна конфігурація буде записана у системі за замовчуванням.

Підменю **НАЛАШТУВАННЯ** містить такі пункти:

- НАЛАШТУВАННЯ РЕЖИМУ** → **ОПЕРАТОР**
 → **ПРОГРАМІСТ**
 → **ЕКСПЕРТ**
 → **РОЗРОБНИК**

UCS Adjuster

У підменю РЕЖИМ можна встановлювати один із чотирьох можливих режимів обслуговування системи.

ОПЕРАТОР. Перехід у режим ПРОГРАМІСТ можливий, якщо до системи підключено переносний пульт ручного керування.

Перехід у режими ЕКСПЕРТ та РОЗРОБНИК можливі при підключенні алфавітно-цифрової клавіатури, наявність якої перевіряється під час переходу.

Після ініціалізації системою клавіатури від користувача потрібно ввести пароль, що відкриває доступ до вибраного режиму, для чого на екрані поверх всіх вікон виводиться вікно діалогу.

РОЗРОБНИК, не підключаючи переносний пульт ручного керування. Для цього він повинен у вікні діалогу встановити прапорець «Не ініціалізувати пульт».

Якщо встановлено режим ЕКСПЕРТ або РОЗРОБНИК, користувач може скористатися для налаштування системи (для зміни машинних даних) спеціальною програмою UCS Adjuster, яка запускається через відповідний пункт меню Вікно програми UCS Adjuster відкривається поверх головного вікна екранного інтерфейсу. налаштування. Повний набір функцій доступний лише у режимі РОЗРОБНИК.

Підменю СЕРВІС головного меню зарезервовано для додаткових функцій.

Підменю ІНФО містить такі пункти:

ІНФО → РТК
→ UCS

Через пункт меню РТК можна в окремому вікні, що відкривається поверх інших, отримати інформацію (в текстовому вигляді) про конфігурацію РТК, номер робота і т.д.

					ДП.МТІР.11006263.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		45

Через пункт меню UCS можна в окремому вікні, що відкривається поверх інших, отримати інформацію (в текстовому вигляді) про серійний номер і поточну версію програмного забезпечення системи управління, а також розробників системи.

3.4 Опис мови програмування керуванням ПР 150

Усі команди мови поділяються на дві групи. До першої групи відносяться команди <Механізм>.GO, <Механізм> GOAHEAD, END, CYCLE и RETURN.

Блок команд другої групи, що стоїть між двома командами першої групи (між двома скелетними командами), виконується одночасно з першою скелетною командою Наприклад, після запуску руху за допомогою команди.

<Механізм>.GO відразу ж (тобто одночасно з рухом механізму, який ще не закінчився) починається виконання наступної команди, за нею – наступної та т.д., доки не зустрінеться чергова «скелетна» команда, наприклад, нова команда <Механізм>.GO. (таблиця 3.1)

Таблиця 3.1 – Код <Механізм>.GO та його пояснення

Код	Коментар
<pre> .. GO LINE TO POINT1; GO LINE TO POINT2; O_10 = 1; IF I_20 == 0 : O_11 = 1; ENDIF; GO LINE TO POINT3; .. </pre>	<p>Перша команда GO запускає рух робітника органа основного механізму РТК по прямій поточної точки до точки POINT1. Відразу після того, як робочий орган зупинився у точці POINT1, і командою GO було запущено рух робочого органу до точки POINT2, виконується фрагмент програми до наступної команди GO. Цифровий вихід під номером 10 встановлюється в одиницю, перевіряється рівність цифрового входу під номером 20 нулю і якщо умова виконується, встановлюється в одиницю вихід</p>

	<p>під номером 11.</p> <p>У зв'язку з тим, що виконання однієї команди триває, як правило, не більше одного системного такту, все команди, які стоять між командами GO, виконуються фактично в точці POINT1, а не в точці POINT2 як сталося б за строго послідовного виконання команд.</p> <p>Після виконання команди IF настає очікування, яке триває до повного завершення запущеного прямолінійного руху на точку POINT2. Робочий орган приходить у точку POINT2 і зупиняється, після чого запускається його рух у точку POINT3.</p>
<p>Команди, що викликають паузи у виконанні програми, можуть відстрочити запуск руху механізму, але не впливають на вже запущений рух.</p>	
<pre> .. GO LINE TO POINT1; O_10 = 1; WAIT I_20 == 0; O_11 = 1; GO LINE TO POINT2; ... </pre>	<p>Відразу після того, як командою GO було запущено рух робочого органу основного механізму в точку POINT1, починається виконання фрагмента програми до наступної команди GO: цифровий вихід під номером 10 встановлюється в одиницю, після чого перевіряється рівність цифрового входу за номером 20 нулю. Якщо умова не виконується, то виконання наступної команди O_11 = 1 відкладається, що, однак, не впливає на рух робітника органу до точки POINT1. Поруч із рухом кожному системному такті перевіряється виконання умови.</p> <p>Якщо умова виконалася, вихід під номером 11 негайно встановлюється в одиницю. Після цього настає очікування, яке триває до завершення запущеного руху. Відразу після того, як робочий орган прийде до точки POINT1 і зупиниться, запускається його рух у точку POINT2.</p> <p>Якщо робочий орган механізму наведено в точку POINT1, а умова в команді WAIT, як і раніше, не виконалася, то встановлення виходу під номером 11 і запуск руху в точку POINT2 відкладається до виконання умови.</p>

ВИСНОВОКИ

У процесі виконання бакалаврської роботи проаналізовано способи визначення контурної точності робота шляхом вимірювання точності позиціонування його робочого органу. Спроектовано автоматизований стенд перевірки точності контурних переміщень, що включає три аналогові датчики, персональний комп'ютер із вбудованою аналого-цифровою платою та розробленим програмним забезпеченням, що дозволяють використовувати цей стенд для атестації промислових роботів. Проведено розробку інструкції користувача.

Завдання бакалаврської роботи вирішено, мети досягнуто.

					ДП.МТІР.11006263.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		48

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Цвіркун Л.І. Робототехніка та мехатроніка: навч. посіб. / Л.І. Цвіркун, Г. Грулер ; під заг. ред. Л.І. Цвіркуна ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – 3-тє вид., переробл. і доповн. – Дніпро: НГУ, 2017. – 224 с.
2. Морзе Н.В. Основи робототехніки: навчальний посібник / Н.В. Морзе, Л.О. Варченко-Троценко, М.А. Гладун. – Кам’янець-Подільський : ПП Буйницький О.А., 2016. – 184 с.
3. Освітня робототехніка: зб.наук.пр.за матеріалами II Всеукраїнської науково-практичної конференції «Освітня робототехніка» (14 квітня 2022 р.) – Дніпро, 2022. – 162 с.
4. Matjaž Mihelj. Robotics. / T. Bajd, A. Ude, J. Lenarčič, A. Stanovnik, M. Munih ets.; Springer International Publishing AG, part of Springer Nature 2019. – 249 p.
5. R. W. Brockett. Robotic manipulators and the product of exponentials formula. In International Symposium on the Mathematical Theory of Networks and Systems, Beer Sheva, Israel, 1983.
6. Ковальов Ю.А., Проектування промислових роботів та маніпуляторів. / С.О. Кошель, Ю.А. Ковальов, О.П. Манойленко.: Центр учбової літератури, 2023 р. – 256с.
7. Ловейкін В.С., Ромасевич Ю.О., Човнюк Ю.В. Мехатроніка. Навчальний посібник. – К., 2012. - 357 с.
8. Introduction to Robotics: Mechanics and Control/ /John J. Craig, © 2005 Pearson Education, Inc., Pearson Prentice Hall, Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, NJ 07458
9. Ніколайчук В. М. Основи робототехніки : навч. посіб. / В. М. Ніколайчук. – Рівне : НУВГП, 2008. - 76 с.

					ДП.МТІР.11006263.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		49

10. Correll, N., Hayes, B., Heckman, C. and Roncone, A., 2022. Introduction to autonomous robots: mechanisms, sensors, actuators, and algorithms. Chapter 1, MIT Press.

11. Гуржій, А. М. Основи автоматики та робототехніки [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів професійної (професійно - технічної) освіти / А. М. Гуржій, А. Т. Нельга, В. М. Співак, О. С. Ітякін. – Електронні текстові дані. – Дніпро : «Гарант СВ», 2021. – 244 с.

12. А. Трет'як, А.Кльон Основи робототехніки. Навчальний посібник Полтава – Краматорськ, 2024. –

13. Основи робототехніки: конспект лекцій для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної форми навч., спец.: 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, / Державний біотехнологічний університет; упоряд. М.С. Сорокін,– Харків: [б. в.], 2024. – 94с.

14. Ткачук В. Електромеханотроніка: Навч. посібник. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту „Львівська політехніка”, 2001. – 404 с.

15. Features of Industrial Robots [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.tuchemnitz.de/phil/english/sections/linguist/independent/kursmaterialien/TechCom m/achtml/class_ex.html

16. Robot Path Control [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.slideshare.net/ErPrabhakar1/robot-path-control>.

17. Intelligent control [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Intelligent_control.

18. Робототехнічні системи: проектування і моделювання [Електронний ресурс]: навч. Посіб. для студ. спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології» / М. М. Поліщук, М.М. Ткач; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Електронні текстові дані (1 файл: 41,6 Мбайт). Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 112 с.

					ДП.МТІР.11006263.00.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

19. Пелевін Л. Є. Синтез робототехнічних систем в машинобудуванні: Підручник / Л. Є. Пелевін, К. І. Почка, О. М. Гвркавенко, Д. О. Міщук, І. В. Русан. – К.: ТОВ «НВП «Інтерсервіс»», 2016. – 258с.

20. Ямпольський Л.С. Гнучкі комп'ютеризовані системи: проектування, моделювання і управління / Л.С. Ямпольський, П.П. Мельничук, Б.Б. Самотокін, М.М. Поліщук, М.М. Ткач, К.Б. Остапченко, О.І. Лісовіченко. – Житомир: ЖДТУ, 2005. – 680с.

22. Лавренова Д.Л., Хлистов В.М. Основи метрології та електричних вимірювань [Електронне видання]: навч. посіб. / Д.Л. Лавренова, В.М. Хлистов. – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – 123 с.

23. Снітков К. І. Метод зменшення похибки визначення кутових переміщень при використанні індукційних давачів / К. І. Снітков, Ю. В. Шабатура // Електротехніка і електромеханіка. - 2020. - № 6. - С. 3-10. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/elem_2020_6_3

24. Богдановський, М. В. (2020). Аналіз основних похибок та оцінка точності функціонування промислових роботів. Технічна інженерія, (2(86), 67–72. [https://doi.org/10.26642/ten-2020-2\(86\)-67-72](https://doi.org/10.26642/ten-2020-2(86)-67-72)

25. Загальні методичні рекомендації з підготовки, оформлення, захисту та оцінювання кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти першого «бакалаврського» і другого «магістерського» рівнів. // Укладачі: В. М. Островерхов, Л. І. Біловус, К. З. Возьний, О. О. Луцишин, Г. Л. Монастирський, С. В. Питель, С. А. Надвиничний, С. К. Шандрук. Тернопіль: ЗУНУ, 2024. – 89 с.

					ДП.МТІР.11006263.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		51

АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ

					ДП.МТІР.11006263.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		52