

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет машинобудування та транспорту
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра технологій та автоматизації машинобудування
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

**АВТОМАТИЗАЦІЯ РОБОЧОГО МІСЦЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ
МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ "КОРПУС К-25Т"**

08-64. МКР.018.00.000 ПЗ

Виконав: студент 2-го курсу, групи ІІМ-24м
спеціальності 131 – Прикладна механіка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)



Андрій ТИМОЩУК

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент каф. ТАМ



Дмитро ЛОЗІНСЬКИЙ

(прізвище та ініціали)

« 4 » грудня 2025 р.

Опонент: к.т.н., доц. каф. АТМ



Микола МИТКО

(прізвище та ініціали)

« 16 » грудня 2025 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ТАМ

Д.т.н., проф. Козлов Л.Г.

(прізвище та ініціали)

« 16 » грудня 2025 р.

Вінницький національний технічний університет
Факультет Машинобудування та транспорту
Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань – 13-Механічна інженерія
Спеціальність – 131 – Прикладна механіка
Освітньо-професійна програма – Технології машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТАМ

[Підпис]
Д.т.н., проф. Козлов Л.Г.

6 жовтня 2025 року

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

Тимощуку Андрію Олеговичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи. Автоматизація робочого місця технологічного процесу
механічної обробки заготовки деталі "Корпус К-
25Т"

керівник роботи Лозінський Дмитро Олександрович, к.т.н., доцент

затверджені наказом вищого навчального закладу від 24.09.2025 року № 373

2. Строк подання студентом роботи 19 грудня 2025 року

3. Вихідні дані до роботи: креслення деталі "Корпус К-25Т", маршрут механічної
обробки заготовки деталі "Корпус К-25Т", тип виробництва серійний

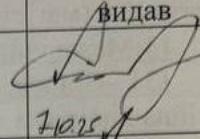
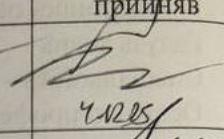
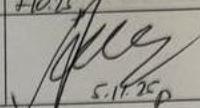
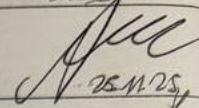
4. Зміст текстової частини:

1 Огляд методів та засобів автоматизації виробництв. 2 Розробка схеми
автоматизованого робочого місця механічної обробки деталі Корпус К-25Т на
операції з ЧПК. 3 Алгоритм роботи автоматизованого робочого місця механічної
обробки деталі Корпус К-25Т на операції з ЧПК. 4 Автоматизація елементів
виробництва. 5 Економічна частина.

5. Перелік ілюстративного матеріалу

мета та задачі роботи; креслення деталі, маршрут механічної обробки деталі
Корпус К-25Т, огляд існуючих автоматизованих робочих місць для механічної
обробки; схема автоматизованого робочого місця та алгоритм роботи; карта
налагодження; верстатне оснащення, розрахункова схема визначення сил
закріплення; дослідження характеристик роботи промислового робота;
компоновка автоматизованого робочого місця; алгоритм функціонування та
циклограма роботи автоматизованого робочого місця;
висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Основна частина	К.т.н., доц. Дмитро ЛОЗІНСЬКИЙ	 7.12.25	 7.12.25
Економічна частина	К.е.н., проф. Олександр ЛЕСЬКО	 5.12.25р	 25.11.25

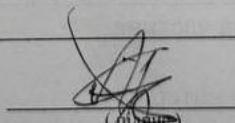
7. Дата видачі завдання 7 грудня 2025 року

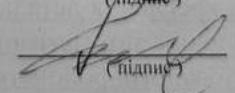
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Визначення об'єкту та предмету дослідження	25.10.25р	вн
2	Аналіз відомих рішень, постановка задач	25.10.25р	вн
3	Техніко-економічне обґрунтування методів досліджень	30.10.25р	вн
4	Розв'язання поставлених задач	20.11.25р	вн
5	Формулювання висновків по роботі, наукової новизни, практичної цінності результатів	22.11.25р	вн
6	Виконання розділу «Економічна частина»	25.11.25р	вн
7	Перевірка роботи на плагіат	4.12.25р	вн
8	Попередній захист МКР	4.12.25р	вн
9	Нормоконтроль МКР	16.12.25р	вн
10	Рецензування МКР	16.12.25р	
11	Захист МКР	22.12.25р	

Студент

Керівник роботи


(підпис)


(підпис)

Андрій ТИМОШУК

Дмитро ЛОЗІНСЬКИЙ

АНОТАЦІЯ

Тимошук А.О. Автоматизація робочого місця технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі “Корпус К-25Т”. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 131 – прикладна механіка. Вінниця ВНТУ, 2025, 101с.

На укр. мові. Бібліограф.: 25 назв; рис. 28; табл. 14.

У магістерській кваліфікаційній роботі представлено матеріали присвячені розробці автоматизованого робочого місця технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі “Корпус К-25Т”.

В роботі виконано огляд методів та засобів автоматизації сучасного технологічного виробництва, основні тенденції їх розвитку, за результатами якого запропоновано принципову схему автоматизованого робочого місця та алгоритм його роботи.

Розроблено конструкцію автоматизованого верстатного оснащення та визначено його основні характеристики. Проведені дослідження роботи автоматизованого робочого місця та досліджено вплив конструктивних параметрів промислового робота на час виконання операцій.

В роботі визначено комерційний потенціал дослідження та кошторис капітальних витрат на модернізацію дільниці механічної обробки. Проведено оцінку економічну ефективність інноваційного рішення.

Ключові слова: промисловий робот, автоматизація, технологічний процес, Корпус, час роботи.

ABSTRACT

Tymoshchuk A.O. Automation of the workplace for the technological process of mechanical machining of the "Housing K-25T" workpiece. Master's qualification thesis on specialty 131 - applied mechanics. Vinnytsia VNTU, 2025, 101 p.

In Ukrainian speech Bibliography: 25 titles; Fig. 28; table 14.

The master's qualification thesis presents materials devoted to the development of an automated workplace for the technological process of machining the "Housing " workpiece. The thesis includes a review of methods and means of automation in modern technological production, the main trends in their development, based on which a conceptual scheme of the automated workplace and its operating algorithm are proposed.

A design of automated machine equipment has been developed, and its main characteristics have been determined. Research has been conducted on the performance of the automated workplace, and the influence of the design parameters of industrial robots on the operation time of operations has been investigated.

The commercial potential of the research and the estimate of capital expenditures for the modernization of the mechanical processing area have been determined. An assessment of the economic efficiency of the innovative solution has been carried out.

Keywords: industrial robot, automation, technological process, housing, working time.

Кафедра Технологій та Автоматизації Машинобудування

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ОГЛЯД МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВ.....	9
1.1 Огляд існуючих методів та засобів автоматизації виробництва	9
1.2 Висновки до розділу.....	15
2 РОЗРОБКА СХЕМИ АВТОМАТИВАНОВОГО РОБОЧОГО МІСЦЯ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ КОРПУС К-25Т	16
2.1 Аналіз технологічного процесу виготовлення деталі та конструктивних особливостей виробу.....	16
2.2 Принципова схема автоматизованого робочого місця.....	16
2.3 Висновки до розділу.....	17
3 АЛГОРИТМ РОБОТИ АВТОМАТИЗОВАНОГО РОБОЧОГО МІСЦЯ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ КОРПУС К-25Т НА ОПЕРАЦІЇ З ЧПК.....	18
3.1 Алгоритм роботи автоматизованого робочого місця механічної обробки деталі Корпус К-25Т на операції з ЧПК.....	18
3.2 Висновки до розділу.....	19
4 АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕЛЕМЕНТІВ ВИРОБНИЦТВА.....	20
4.1 Вибір основного обладнання.....	20
4.2 Розробка компонування верстатного пристосування.....	21
4.3 Вибір промислового робота (ПР) для АРМ.....	33
4.4 Проектування (вибір) захватного пристрою.....	34
4.5 Аналіз точності позиціювання деталі.....	37
4.6 Побудова та розрахунок траєкторії руху елементів ПР.....	42
4.7 Вибір допоміжного устаткування для АРМ.....	40
4.8 Аналіз можливих варіантів компоновок АРМ.....	41
4.9 Розрахунок швидкостей переміщення заготовки.....	43
4.10 Розробка циклограми функціонування АРМ.....	45

Кафедра Технологій та Автоматизації машинобудування

	5
4.11 Визначення основних показників АРМ.....	49
4.12 Висновки до розділу.....	50
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	52
5.1 Проведення наукового аудиту науково-дослідної роботи.....	52
5.2 Оцінювання комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки.....	54
5.3 Прогноз попиту на інноваційне рішення.....	57
5.4 Вибір каналів збуту та післяпродажного обслуговування.....	57
5.5 Виявлення основних конкурентів.....	57
5.6 Обрання методу ціноутворення.....	58
5.7 Оцінка рівня якості інноваційного рішення.....	59
5.8 Оцінка конкурентоспроможності інноваційного рішення.....	61
5.9 Прогнозування витрат на виконання роботи.....	62
5.10 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки.....	68
5.11 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності.....	70
5.12 Висновки до розділу.....	73
Висновки.....	74
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	76
ДОДАТКИ.....	79
Додаток А. Ілюстративна частина.....	80
Додаток Б. Специфікація.....	99
Додаток В. Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень.....	101

Кафедра Технологій та Автоматизації Машинобудування

ВСТУП

Розвиток виробництва та підвищення його ефективності є ключовим фактором прогресу сучасної держави. Тому модернізація технологічного обладнання та впровадження передових виробничих технологій залишаються актуальними завданнями.

Особливо для серійного виробництва важлива здатність швидко перенастроюватися на різні замовлення та випускати типову продукцію, що значною мірою може забезпечити автоматизація виробничих процесів [1, 2].

Актуальність теми.

Прискорений розвиток науки та впровадження елементів на основі штучного інтелекту сприяють підвищенню темпів технічного прогресу у виробництві. Верстати з числовим програмним керуванням (ЧПК) застосовуються у всіх видах виробництва, і забезпечення інших ланок виробництва аналогічними характеристиками залишається актуальною задачею.

Автоматизація окремих етапів або всього виробничого процесу дозволяє підвищити технічні та економічні показники підприємства. Питання автоматизації різних елементів виробництва висвітлюються у роботах Козлова Л.Г., Павленка П.М., Муляра Ю.І., а також у дослідженнях Павленка П.І., Мажари В.А., Цвіркуна Л.І. та інших, де розглядаються застосування автоматизації та роботизації у виробничих галузях [1–5].

Зв'язок роботи з державними науковими програмами, планами, темами.

Магістерську роботу виконано відповідно до науково-дослідної тематики кафедри «Технологія та автоматизація машинобудування» (ТАМ) Вінницького національного технічного університету (ВНТУ) згідно з науково-дослідною роботою кафедри №17К2/14 «Розробка, дослідження та покращення характеристик енергоощадних гідроприводів технологічних та мобільних машин» (2017-2025 рр.).

Метою роботи є автоматизація робочого місця технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі "Корпус К-25Т".

Для досягнення поставленої мети потрібно виконати такі завдання:

- виконати огляд відомих методів та засобів автоматизації, які застосовуються в технологічному виробництві;
- проаналізувати маршрут механічної обробки та визначити операції, які можуть бути автоматизовані;
- розробити загальну схему автоматизованого робочого місця та алгоритм роботи автоматизованого робочого місця;
- вибрати технологічне обладнання та спроектувати автоматизоване оснащення для нього;
- виконати розрахунки основних параметрів автоматизованого робочого місця;
- розробити компоновку автоматизованого робочого місця;
- провести розрахунок та аналіз економічної доцільності виготовлення деталі;

Об'єкт дослідження – автоматизоване робоче місце технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі "Корпус К-25Т".

Предмет дослідження – технологічний процес механічної обробки деталі «Корпус К-25Т».

Методи дослідження. Методи аналітичного та імітаційного моделювання, математичне моделювання та розрахунок параметрів роботи автоматизованого робочого місця, визначення в аналітичній і графічній формі характеристик автоматизованого робочого місця.

Наукова новизна одержаних результатів:

- отримав подальший розвиток метод розрахунку витрат часу на виконання операцій у автоматизованому робочому місці технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі "Корпус К-25Т" за рахунок врахування емпіричних залежностей швидкості виконання основних рухів маніпулятора робота від його конструктивних параметрів та налаштувань.

Практичне значення одержаних результатів:

1. Розроблено автоматизоване верстатне оснащення для свердлильної операції з ЧПК..
2. Розроблено компоновку автоматизованого робочого місця технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі "Корпус К-25Т".
3. Розраховано часові витрати та побудовано циклограму функціонування автоматизованого робочого місця технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі "Корпус К-25Т".
4. Сформульовано практичні рекомендації щодо вибору конструктивних параметрів промислового робота для корегування швидкісних параметрів виконання операцій.

Особистий внесок здобувача. Основні результати досліджень по розробленій компоновці робочого місця. Мета та завдання досліджень, схема робочого місця узгоджені з науковим керівником. В працях, що опубліковані у співавторстві автору належать: виконано розрахунки основних показників та пошук інформаційних ресурсів.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи розглядалися на міжнародній науково-практичній Інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «МОЛОДЬ В НАУЦІ: ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРОБЛЕМИ, ПЕРСПЕКТИВИ (МН-2026)».

Публікації. Матеріал магістерської кваліфікаційної роботи опубліковано у 1 – тезі доповідей регіональної конференції [23].

1 ОГЛЯД МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВ

1.1 Огляд існуючих методів та засобів автоматизації виробництва

Сучасне виробництво, зокрема машинобудівне, неможливо уявити без використання навіть базових засобів автоматизації, починаючи з етапів технологічної підготовки виробництва та закінчуючи виконанням окремих технологічних операцій із застосуванням механізованих елементів. Автоматизація дозволяє зменшити вплив людського фактора, підвищити повторюваність технологічних процесів і забезпечити стабільну якість виготовлення продукції.

Перспективи розвитку автоматизації в машинобудуванні пов'язані з широким упровадженням гнучких виробничих систем, роботизованих комплексів та інтелектуальних систем керування. Застосування цифрових технологій, таких як моделювання, цифрові двійники та адаптивні алгоритми керування, відкриває можливості для оптимізації виробничих процесів у режимі реального часу. У майбутньому автоматизовані системи зможуть самостійно адаптуватися до змін умов виробництва та номенклатури продукції. Це сприятиме підвищенню продуктивності, зниженню витрат і забезпеченню конкурентоспроможності машинобудівних підприємств (рис. 1.1). [1, 2].

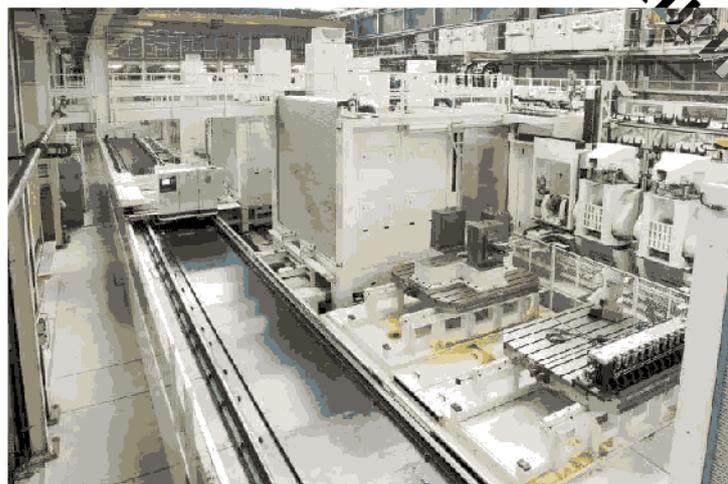


Рисунок 1.1 – Застосування автоматизації на виробництві

Впровадження автоматизації у виробництво дає змогу вирішити низку важливих завдань, що стоять перед сучасними підприємствами. Зокрема, автоматизовані системи дозволяють зменшити залежність від людського фактора, що знижує кількість помилок і дефектів у технологічному процесі, а також сприяє підвищенню стабільності якості продукції. Автоматизація значно підвищує продуктивність праці та забезпечує можливість безперервної роботи обладнання протягом тривалого часу без втоми та перерв, що є складним для людського персоналу. Крім того, автоматизовані рішення сприяють скороченню браку та оптимізації витрат на виробництво, що позитивно впливає на економічні показники підприємства. Такі ефекти підтверджуються сучасними дослідженнями, які вказують на підвищення продуктивності та покращення якості продукції при використанні роботизованих систем у виробничих процесах [5].

У сучасному виробництві спостерігається чітка тенденція до широкого застосування роботизованого обладнання для автоматизації різних ланок виробничого циклу. Індустріальні роботи використовуються для виконання завдань, таких як зварювання, складання, обробка матеріалів, пакування та транспортування, що сприяє зниженню ризику травматизму та оптимізації трудових ресурсів. За даними Міжнародної федерації робототехніки (IFR), кількість промислових роботів, що працюють на виробничих підприємствах у всьому світі, перевищила 4 млн одиниць лише до 2024 року, що свідчить про зростання рівня автоматизації та роботизації виробництва [6].

Це зростання застосування автоматизованих технологій є ознакою того, що автоматизація та роботизація стають ключовими факторами підвищення конкурентоспроможності підприємств на глобальному ринку. Впровадження таких систем дозволяє підприємствам адаптуватися до нових вимог ринку, скорочувати виробничі цикли та забезпечувати гнучкість у виготовленні продукції з різними параметрами, що особливо важливо в умовах Industry 4.0 та цифрових трансформацій [7] (рис. 1.1).

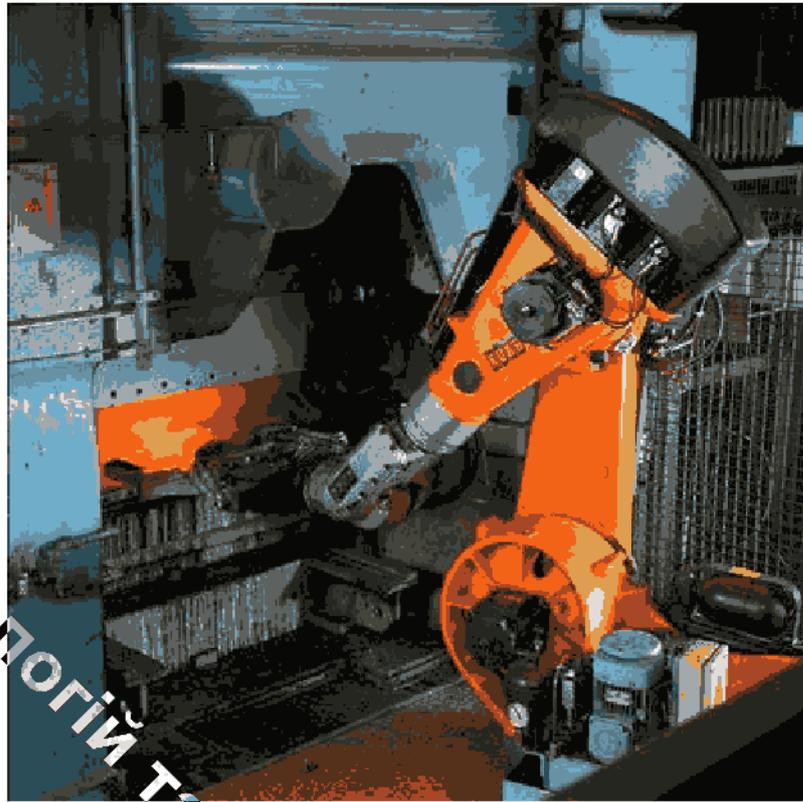


Рисунок 1.2 - Застосування автоматизації на виробництві

У роботах [7–8] здійснено огляд технологічних комплексів, оснащених роботизованим обладнанням, а також проаналізовано їх роль і перспективи застосування в умовах сучасного виробництва. Зокрема, показано, що досягнення високої ефективності автоматизації із використанням робототехнічних систем можливе лише за умови реалізації комплексного підходу, який передбачає узгоджений вибір промислових роботів, оброблювального обладнання, систем керування та допоміжних технічних засобів. Такий підхід забезпечує оптимальну взаємодію всіх елементів автоматизованого комплексу та підвищує загальну результативність виробничого процесу.

В роботі [9] досліджено можливості підвищення ефективності роботизованих виробничих комірок з верстатами ЧПК шляхом застосування інтелектуальних методів оптимізації. Показано, що поєднання штучних нейронних мереж із генетичними алгоритмами дозволяє ефективно враховувати нелінійні взаємозв'язки між параметрами роботи промислового робота та технологічного обладнання. Автори доводять, що оптимальний вибір швидкості руху, корисного

навантаження, точності траєкторії та кількості робочих циклів забезпечує суттєве зменшення часу обробки та енергоспоживання. Отримані результати підтверджують перспективність використання метаевристичних методів оптимізації для керування складними роботизованими системами в сучасному машинобудівному виробництві (рис. 1.3)

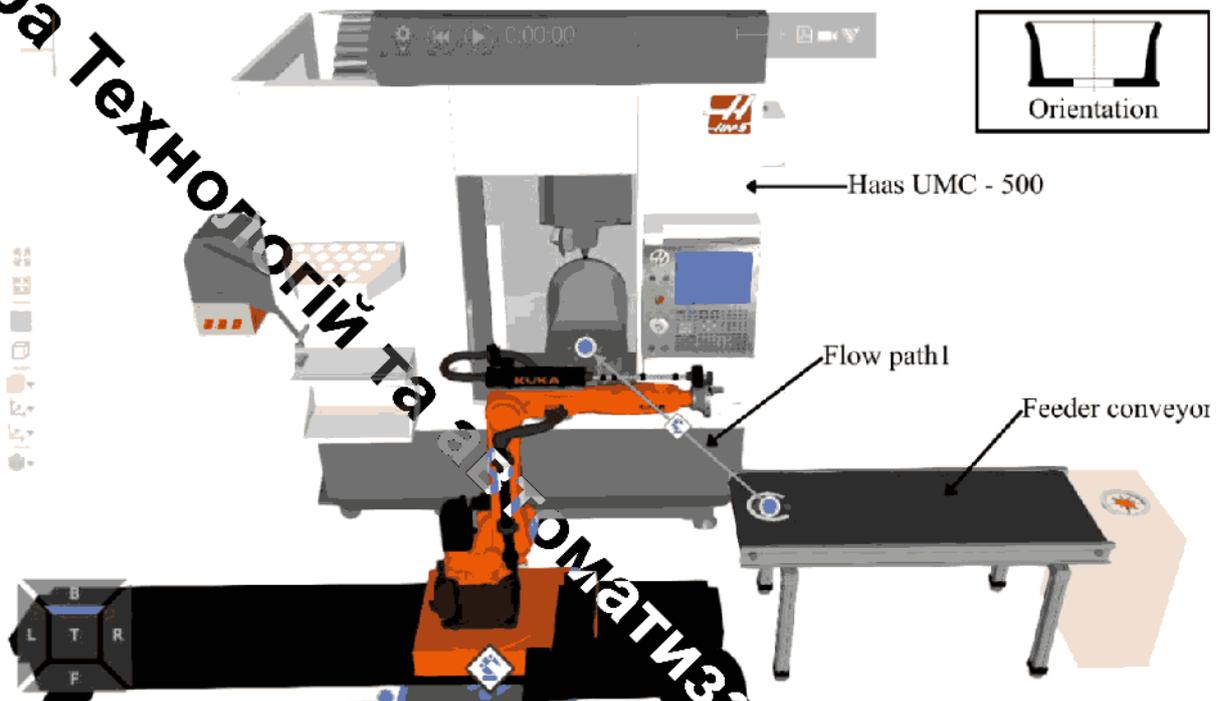


Рисунок 1.3 – Виробнича комірка

У роботі [4] розглянуто роботизований технологічний комплекс SL-20APL виробництва компанії HAAS, призначений для виконання механічних технологічних операцій (рис. 1.4). Основним елементом комплексу є верстат з числовим програмним керуванням моделі SL-20, обслуговуваний якого здійснюється промисловим роботом типу APL із тельферним способом монтажу. Для зберігання та подачі заготовок, а також відведення оброблених деталей використовується касетний накопичувальний пристрій, розташований збоку верстата. Промисловий робот може комплектуватися різними типами захватних пристроїв, що забезпечує можливість роботи з заготовками різної конфігурації та габаритів.

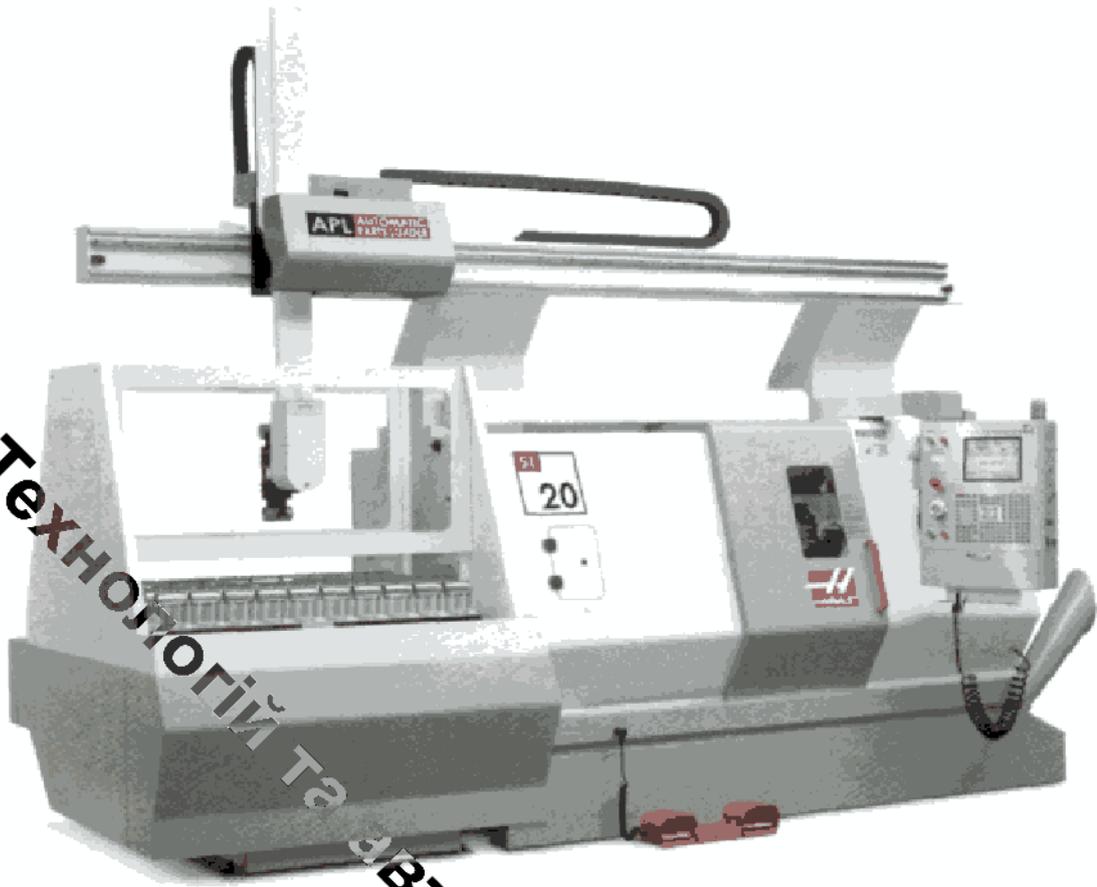


Рисунок 1.4 - Токарний роботизований технологічний комплекс SL-20APL

Робот призначений для виконання допоміжних операцій з установлення та зняття деталей, а також для їх переустановлення у процесі обробки. Це забезпечує можливість обробки виробів з двох сторін без участі оператора, що суттєво підвищує ефективність обробки окремих типів деталей.

У роботі [] розглянуто сучасний стан і перспективи розвитку інтелектуального роботизованого виробництва в контексті концепції smart manufacturing. Автори систематизують основні підходи до навчання промислових роботів, зокрема методи навчання з наслідування, підкріплення та модельно-орієнтовані алгоритми, що забезпечують адаптивність і автономність роботизованих систем. Показано, що поєднання робототехніки з методами машинного навчання дозволяє суттєво розширити функціональні можливості промислових роботів та підвищити ефективність їх застосування у складних виробничих процесах. Значну увагу приділено практичним прикладам використання роботів у захопленні, складанні та взаємодії з оператором. Отримані

результати підтверджують, що інтелектуальні методи керування є одним із ключових напрямів розвитку роботизованих систем у машинобудуванні та промисловості майбутнього (рис. 1.5, 1.6).

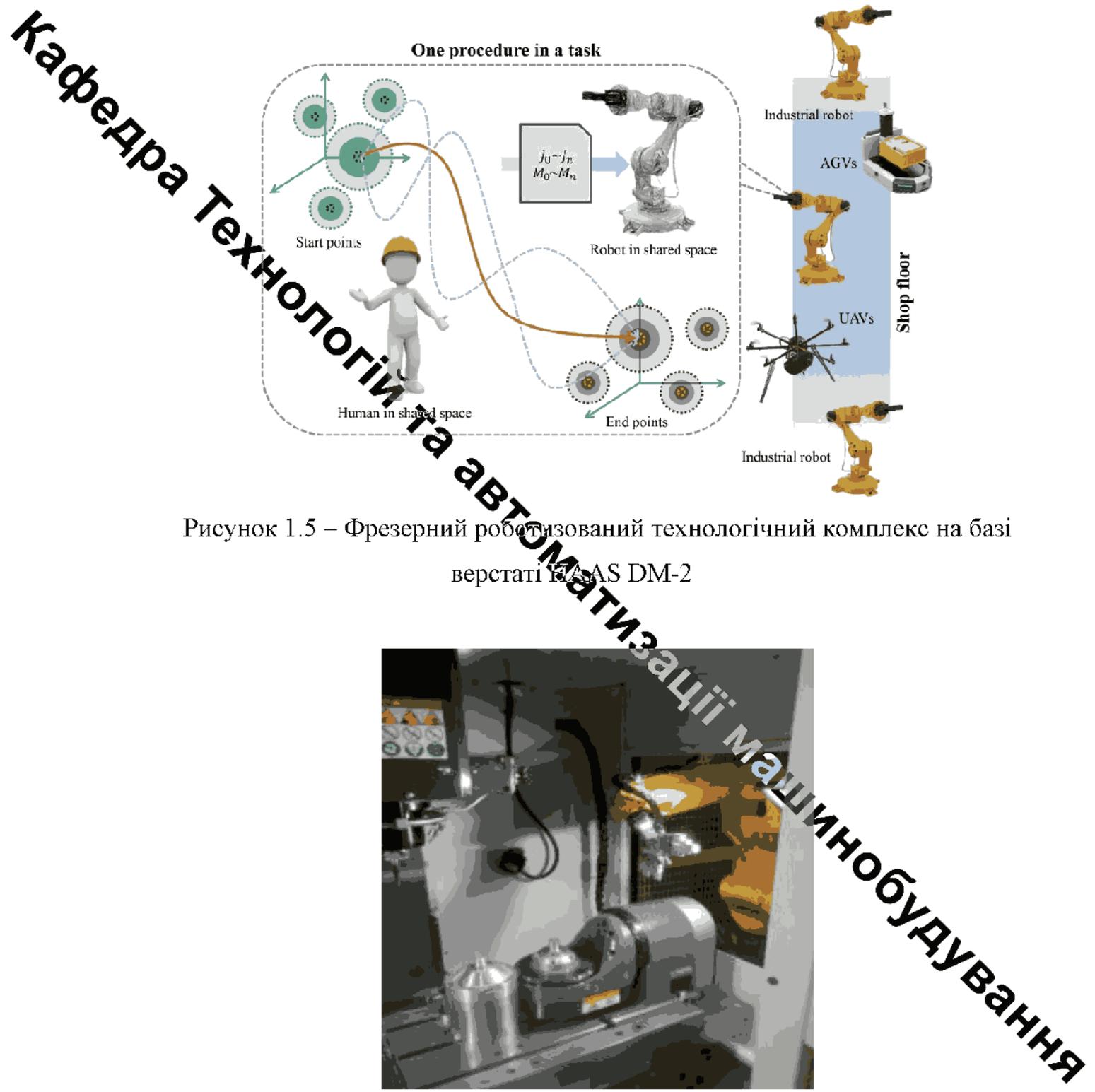


Рисунок 1.5 – Фрезерний роботизований технологічний комплекс на базі верстаті KAAS DM-2

Рисунок 1.6 – Робота промислового робота для обслуговування верстату з ЧПК

1.2 Висновки до розділу

1. На підставі аналізу типових засобів автоматизації встановлено, що основними напрямками автоматизації виробництва є використання промислових роботів і допоміжного обладнання у складі автоматизованих комплексів з верстатами з числовим програмним керуванням.

2. Автоматизовані та роботизовані елементи, як правило, призначені для виконання допоміжних операцій у технологічному процесі.

3. У межах автоматизованого робочого місця промислові роботи реалізують ключові завдання автоматизації, зокрема забезпечують механізацію та автоматизацію операцій завантаження і розвантаження заготовок та готових виробів.

Кафедра Технологій та Автоматизації машинобудування

2 РОЗРОБКА СХЕМИ АВТОМАТИВАНОВОГО РОБОЧОГО МІСЦЯ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ КОРПУС К-25Т

2.1 Аналіз технологічного процесу виготовлення деталі та конструктивних особливостей виробу

Будь-які зміни у виробничому процесі, зокрема заходи з його вдосконалення чи автоматизації окремих елементів, повинні впроваджуватися з метою покращення визначених техніко-економічних показників за умови мінімальних капіталовкладень і, по можливості, з найменшими часовими витратами. У зв'язку з цим доцільним є попередній детальний аналіз існуючого технологічного процесу.

З позиції раціональності впровадження автоматизації вона має забезпечувати скорочення непродуктивних витрат часу та, відповідно, підвищення загальної ефективності виробництва. У межах технологічного процесу на операції 015 виконується відносно невелика частка основних технологічних дій, тоді як значну частину займають допоміжні операції, тривалість яких може бути істотно зменшена. Крім того, базування заготовки здійснюється по розвинутих базах, що спрощує проектування автоматизованого верстатного оснащення. Саме ці фактори обумовили вибір даної операції як найбільш доцільної для впровадження автоматизації [11-13].

2.2 Принципова схема автоматизованого робочого місця

Схема компоновки робочого місця є одним із ключових етапів проектування, оскільки принцип розміщення його складових безпосередньо впливає на експлуатаційні властивості та технічні характеристики як окремих елементів, так і системи в цілому, зокрема роботизованого обладнання. Для даного робочого місця доцільно розташувати промисловий робот таким чином, щоб він мав можливість обслуговувати всі задіяні одиниці як основного, так і допоміжного

устаткування. З огляду на це найбільш раціональним рішенням є застосування «кільцевої» схеми компоновки (рис. 2.1), яка забезпечує ефективне використання робочого простору та зручний доступ робота до всіх елементів виробничого процесу.



Рисунок 2.1 – Схема автоматизованого робочого місця

1 - основне обладнання, 2 – робот, 3 – допоміжне обладнання

2.3 Висновки до розділу

1. Проведено аналіз технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі «Корпус К-25Т».

2. На підставі оцінки доцільності впровадження автоматизації обрана операція 015, оскільки автоматизація цієї операції дозволяє значно скоротити допоміжний час при обробці виробу.

3 АЛГОРИТМ РОБОТИ АВТОМАТИВАНОВОГО РОБОЧОГО МІСЦЯ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ КОРПУС К-25Т НА ОПЕРАЦІЇ З ЧПК

3.1 Алгоритм роботи автоматизованого робочого місця механічної обробки деталі Корпус К-25Т на операції з ЧПК

Оскільки процес обробки на робочому місці має бути повністю автоматизованим, то необхідно розробити послідовність дій елементів робочого місця для виконання необхідних переходів та дій при виконанні процесу обробки (табл. 3.1) [11].

Таблиця 3.1 - Алгоритм роботи автоматизованого робочого місця

Вид роботи	Технологічний елемент
Підготовка заготовки та її установка у допоміжне обладнання	Пристрій попередньої орієнтації заготовок; операція може виконуватися оператором протягом зміни або декількох змін
Захоплення заготовки маніпулятором	Промисловий робот для автоматичного підхоплення
Розміщення заготовки на верстаті	Автоматизований маніпулятор для встановлення на обробний верстат
Використання спеціального верстатного оснащення	Спеціально розроблене оснащення для верстатної обробки
Обробка заготовки на верстаті	Верстат з адаптованим оснащенням для виконання обробки
Видалення заготовки з верстата	Робот або спеціальне оснащення для зняття оброблених деталей
Переміщення готової заготовки до складу або зони складання	Промисловий робот для транспортування оброблених деталей
Підготовка робочого місця до обробки наступної заготовки	Тактовий стіл для автоматичної заміни елементів та підготовки циклу

3.2 Висновки до розділу

1. Встановлено комплекс операцій та відповідного обладнання для виконання технологічних процесів на автоматизованому робочому місці.

2. Сформовано покроковий алгоритм роботи автоматизованого робочого місця для обробки деталі «Корпус К-25Т», що охоплює підготовку, обробку та переміщення заготовки.

3. Визначено промислового промислового робота у робочому місці, як засобу для захоплення, установки та переміщення заготовок, що забезпечує підвищення продуктивності та точності процесу.

Кафедра Технологій та Автоматизації Машинобудування

4 АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕЛЕМЕНТІВ ВИРОБНИЦТВА

4.1 Вибір основного обладнання

Ключовим елементом автоматизованого робочого місця є технологічне обладнання — металоріжучі верстати, преси, нагрівальні печі та інші пристрої, оскільки саме їх робота забезпечує випуск продукції [14–15].

Обладнання на робочому місці повинно підтримувати автоматизований робочий цикл, надійний затиск виробу, а також мати механізми для автоматичної зміни інструментів. Проте на практиці повністю автоматизовані верстати використовуються не завжди через їх обмежене поширення на виробництві.

Для обробки деталей «Корпус К-25Т» рекомендується застосовувати верстат моделі 2P135Ф2 з ЧПК. Такі верстати широко використовуються для обробки корпусних деталей та елементів типу «фланець», «кришка», «плита», «важіль», «кронштейн». Вони дозволяють виконувати операції свердління, розточування, зенкування, зенкерування, цекування, парізання різі та інші види механічної обробки.

Верстати забезпечують високу точність міжосьових відстаней оброблюваних отворів на рівні 0,10–0,15 мм і можуть функціонувати в автоматичному режимі, що дозволяє виконувати багатоступеневу обробку деталей з великою кількістю отворів. Крім того, передбачений зворотний зв'язок щодо положення робочих органів по обох керованих осях, що гарантує точність і надійність процесу.

4.1.2 Розробка алгоритму виконання операцій

У попередньому розділі було розроблено загальний алгоритм роботи робочого місця. Нижче розглядається послідовність операцій, необхідних для технологічної обробки виробу (рис. 4.1).

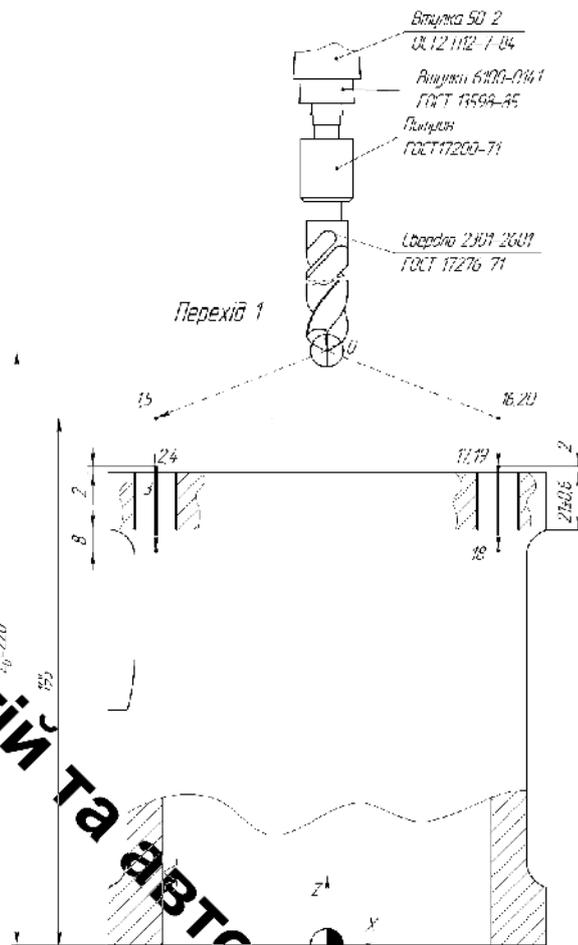


Рисунок 4.1 –Послідовність виконання переходів на операції

4.2 Розробка конструювання верстатного пристосування

На автоматизованому робочому місці верстатне оснащення використовується для забезпечення автоматичного затиску та розміщення заготовки в процесі обробки.

Пристрої орієнтуються на робочому столі верстата у Т-подібних пазах (рис. 4.2).

Затискний механізм оснащується механізованим приводом і керується дистанційно, що дозволяє забезпечити точність і безперервність технологічного циклу.

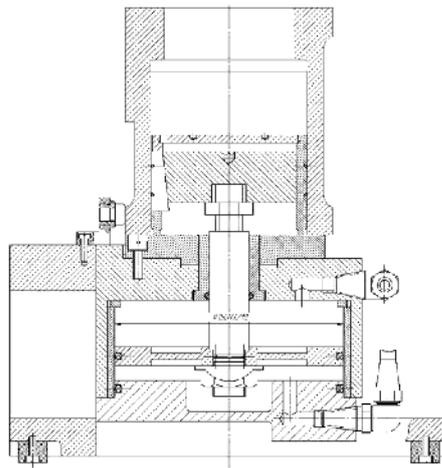


Рисунок 4.2– Схема оснащення

4.2.1 Розрахунок необхідної сили закріплення

На розглядуваній операції всі переміщення інструмента здійснюються вздовж осі, тому максимальні зусилля в процесі обробки будуть направлені на притиск деталі до опорної поверхні.

Розглянемо моменти, що здатні викликати скручування деталі відносно осі. Найбільший крутний момент виникає при свердлінні отворів діаметром 15 мм, і цьому моменту повинен протидіяти момент тертя, який утворюється в клиновому механізмі та на опорах (рис. 4.3).

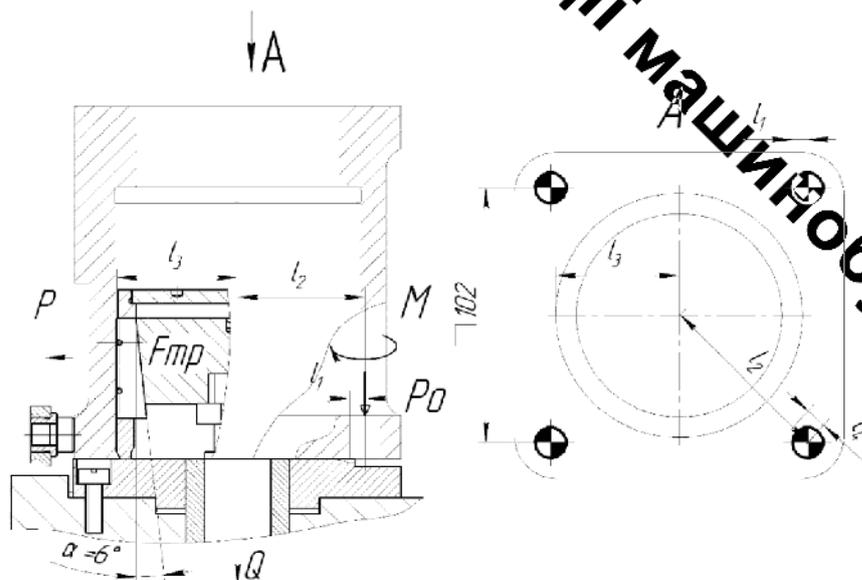


Рисунок 4.3 - Схема сил, що діють на деталь

$$M/l_1 \cdot l_2 = 2F_{mp} \cdot l_3 \quad (4.1)$$

$$F_{mp} = P \cdot k_T, \quad (4.2)$$

де k_T – коефіцієнт тертя (0,35).

Звідки

$$P = M \cdot l_2 / (2 \cdot l_1 \cdot k_T \cdot l_3) \text{ [Н]} \quad (4.3)$$

Розраховуємо момент при свердлінні отвору:

$$M = 10C_M D^3 S^Y K_p, \text{ [Нм]} \quad (4.4)$$

де $C_M = 0.012$; $S = 0.15$ мм/об;

$q = 1.8$ у 0.8 ; $K_p = 0.92$.

$$M = 10 \cdot 0.012 \cdot 15^{1.8} \cdot 0.15^{0.8} \cdot 0.92 = 3.17 \text{ (Нм)}$$

$$P = 3.17 \cdot 0.0884 / (2 \cdot 0.0075 \cdot 0.35 \cdot 0.060) = 889 \text{ (Н)}.$$

У іншому випадку осьова сила може змістити деталь у вертикальній площині:

$$P_0 \cdot l_4 = 2F_{mp} \cdot l_3 \quad (4.5)$$

Звідки, врахувавши (4.2), маємо

$$P = P_0 \cdot l_4 / (2k_T \cdot l_3) \text{ [Н]} \quad (4.6)$$

Осьова сила при свердлінні:

$$P_0 = 10 \cdot C_p \cdot D^q \cdot S^Y \cdot K_p = 10 \cdot 42 \cdot 15^{1.2} \cdot 0.15^{0.75} \cdot 0.92 = 2401,13 \text{ (Н)}.$$

$$P = 2401,13 \cdot 0,0084 / (2 \cdot 0,35 \cdot 0,06) = 480 \text{ (Н)}$$

Отже, сила, що намагається вирвати заготовку із пристосування, складає 889Н.

Складемо рівняння рівноваги системи:

$$P_3 = P_z \cdot K, [H] \quad (4.7)$$

де K – коефіцієнт запасу, який враховує нестабільність силових впливів на заготовку, вводиться при розрахунку сили закріплення для забезпечення надійного закріплення.

Визначимо коефіцієнт запасу за [15]:

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6. \quad (4.8)$$

Коефіцієнти: коефіцієнт, який враховує запас міцності, коефіцієнт, який враховує нерівності поверхні заготовок при чорновій обробці, коефіцієнт, який враховує зношення інструменту для чавуну при чорновому фрезеруванні, коефіцієнт, який враховує переривчасте різання, коефіцієнт, який визначає сталість затискного зусилля при пневмоважільних системах, коефіцієнт, який визначає ергономіку немеханізованого затиску, коефіцієнт, який враховується при моментах, що намагаються повернути заготовку за опорних штирях.

Отже,

$$K = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1,25 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1 = 2,69$$

В результаті розрахунку коефіцієнт запасу K склав більше 2,5, отже, приймаємо розраховане значення.

Тоді сила закріплення складає

$$P_3 = 889 \cdot 2,69 = 2391 (H).$$

Знайдемо силу затиску згідно довідникових даних [15]. Її можна розрахувати за формулою:

$$P_3 = Q \cdot \eta \cdot (\operatorname{tg}(\alpha + \varphi_{np}) + \operatorname{tg} \varphi_1), [\text{H}] \quad (4.9)$$

де Q – сила на штоці пневмоциліндра;

η – коефіцієнт корисної дії;

α – кут скосу клина;

φ_1 і φ_{np} – кути тертя.

Приймаємо $\eta = 0,9$;

$\alpha = 6^\circ$;

$\varphi_1 = 5^\circ 50'$, $\varphi_{np} = 11^\circ$.

Сила на штоці пневмоциліндра:

$$Q = \frac{P}{\eta(\operatorname{tg}(\alpha + \varphi_{np}) + \operatorname{tg} \varphi_1)}, [\text{H}] \quad (4.10)$$

Сила на приводі:

$$Q = \frac{2090}{0,9 \cdot (\operatorname{tg}(6^\circ + 11^\circ) + \operatorname{tg} 5^\circ 50')} = 6609 \text{ Н.}$$

Приймаємо $Q = 6609 \text{ Н.}$

4.2.2 Вибір силового приводу і розрахунок його параметрів

Оскільки в нашому випадку не потрібні великі зусилля, для приводу обрано пневматичний механізм, який забезпечує достатню швидкодію для виконання необхідних операцій.

Визначимо ключові параметри конструкції цього приводу.

Діаметр циліндру:

$$D = 113 \sqrt{\frac{N}{P \cdot \eta}} = 1,13 \sqrt{\frac{6609}{0,5 \cdot 0,88}} = 138,5 \text{ мм}$$

Для зручності конструювання та можливості переналагодження пристосування на обробку, більших поверхонь, приймаємо 150 мм.

1) площа поршня:

$$F_1 = 0.01 \cdot 0.785 \cdot 180^2 \cong 254.34 \text{ (см}^2\text{)};$$

2) площа штокової порожнини:

$$F_2 = 0.01 \cdot 0.785 (D_{ш}^2 - d^2) = 0.01 \cdot 0.785 (180^2 - 30^2) \cong 248 \text{ см}^2;$$

3) для забезпечення безударної та плавної роботи пневмоциліндру слід призначити робочу швидкість переміщення поршня V в межах 0.2 ... 1 м/с.

Приймаємо $V = 0.6$ м/с.

4) час переміщення поршня (робочий чи холостий хід):

$$t = L/100V = 100/100 \cdot 0.6 = 0.16 \text{ (с)}.$$

4.2.3 Розрахунок пристосування на точність

Похибка установки – це відхилення фактично-досягнутого положення заготовки або виробу від бажаного. За характером виявлення є випадковою.

$$E_y = \sqrt{E_{\delta}^2 + E_3^2 + E_{np}^2} \text{ [мм]} \quad (4.11)$$

Проведемо розрахунки на точність для дотримання позиційного допуску 0,1 мм. Необхідною умовою обробки є правило, коли сумарна похибка (ε_y) повинна бути меншою, ніж допуск $T_{дет.}$ на відповідний розмір $\varepsilon_y < T_{дет.}$

Запас точності служить для компенсації зносу опорних елементів, зносу ріжучого інструменту, напрямних елементів і т. ін.

Похибка установки — це різниця між фактичним положенням заготовки або інструменту та заданим. За своєю природою вона є випадковою.

$$\varepsilon_{np} \leq K_T \sqrt{(K_{T_1} \cdot \varepsilon_{\delta})^2 + \varepsilon_z^2 + \varepsilon_y^2 + \varepsilon_u^2 + \varepsilon_{n.u}^2 + (K_{T_2} \cdot \omega)^2}, \text{ [мкм]} \quad (4.12)$$

де ε_{δ} — похибка базування — це відхилення фактично досягнутого положення заготовки при базуванні від заданого. Спричиняється недосконалістю схеми базування;

де K_T — коефіцієнт, який враховує відхилення розсіювання значень складових величин від закону нормального розподілення; приймаємо $K_T = 1,0$ ($K_T=1...1,2$);

K_{T1} — коефіцієнт, який враховує зменшення граничного значення похибки базування при роботі на налагоджених верстатах; приймаємо $K_{T1}=0,8$ ($K_{T1}=0,8...0,85$);

K_{T2} — коефіцієнт, який враховує частку похибки обробки в сумарній похибці, яка викликається факторами, не залежними від пристосування;

приймаємо $K_{T2} = 0,6$ ($K_{T2}=0.6...0.8$);

ω — економічна точність обробки; приймаємо $\omega = 0,05$ мм для цекування по 10-12- му квалітетам [15];

ε_{δ} — похибка базування;

ε_z — похибка закріплення;

ε_y — похибка установки;

ε_u — похибка деталі через зношення установчих елементів пристосування;

$\varepsilon_{n.u}$ — похибка від перекосу (зміщення) інструменту.

Проведемо розрахунки на зносостійкість опорних елементів. 1. Вибіримо матеріал і твердість робочих поверхонь опорних елементів. Сталь 20X, НВС 56...61 (HV = 615...717).

2. Визначаємо критерій зносостійкості Π_1 в залежності від матеріалу заготовки і матеріалу опорних елементів (1) $\Pi_1 = 1,0$.

3. Визначаємо номінальну площу дотику F мм² із заготовкою (площа нижнього торця деталі), $F = 2768,5$ мм².

Похибки базування на усі виконувані розміри рівна нулю, оскільки отвір виконується на прохід, а на діаметральні поверхні похибка відсутня.

Позиційний допуск забезпечуються за рахунок обробки отворів при базування на центральний отвір.

Відповідно до обраної схеми базування, в якості схеми установки вибираємо установку на торець деталі, оправку та опору (рис. 4.4).

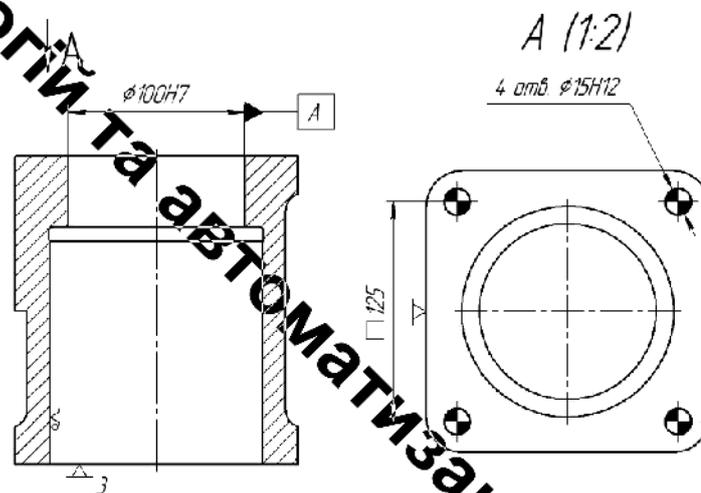


Рисунок 4.4 – Схема установки

отвір $\phi 120H7^{+0,035}$.

оправка $\phi 120g6\left(\begin{smallmatrix} -0,012 \\ -0,034 \end{smallmatrix}\right)$.

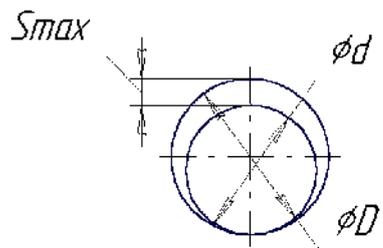


Рисунок 4.5 – Розрахунок зміщення осі заготовки

$$S_{max} = T_D + T_d + S_{min} = 0,035 + 0,022 + 0,005 = 0,062 \text{ (мм)}.$$

Оскільки при обраній схемі установки зазор між отвором і оправкою мінімальний і значно менший за допуск на контрольований розмір (позиційний допуск отворів $\text{Ø}15\text{H}12 - 0,1$ мм), обрану схему приймаємо як основну для подальших розрахунків.

Похибка базування на розмір 5 дорівнює $\varepsilon_{\delta 5} = 0,063$ мм.

Похибка закріплення виникає внаслідок зміни положення деталі під дією затискних сил. На величину цієї похибки впливає непостійність затискного зусилля, розсіювання шорсткості поверхні та інші фактори.

$\varepsilon_z = 10$ мкм.

ε_c - похибка установки пристосування на верстаті — це відхилення розташування його посадочних поверхонь від посадочного місця верстата, що виникає при монтажі пристосування без попередньої вивірки на столі або планшайбі шпинделя. Така похибка може з'являтися, якщо між установчими елементами пристрою та базувальними поверхнями верстата є зазори.

При розрахунках точності похибка вс враховується лише в тому випадку, коли зсув посадочних поверхонь співпадає за напрямком з вихідним розміром або має складову в його напрямку. Величину вс визначають як відстань між можливими крайніми положеннями посадочних поверхонь пристосування, виміряну вздовж напрямку вихідного розміру.

$\varepsilon_{\text{в}} = 0,01$ мм – за рекомендацією [18]; .

$\varepsilon_{\text{и}}$ – складова характеризує знос установчих елементів пристосування. Величина зносу залежить від обсягу виробництва, конструкції та розмірів виробів, матеріалу і маси заготовки, стану її базової поверхні, а також умов встановлення та зняття заготовки з пристосування. Найбільший знос спостерігається на опорах, де контакт із заготовкою здійснюється по невеликій площині, особливо на бурних поверхнях призм, що контактують з вузькими ділянками заготовки. Менше зношуються опорні пластини та круглі пальці. Необроблені поверхні заготовок спричиняють більш інтенсивний знос установчих елементів порівняно з обробленими поверхнями..

E_u U для опор, де U - лінійний знос установчих елементів пристосування.

$$U = \frac{N \cdot K_y \cdot (1 + 0.03 \cdot L) \cdot 0.79 \cdot t_m}{m - m_1 \cdot P_1 - m_2 \cdot (0.1 \cdot Q / F \cdot NV)}, \text{ [мкм]} \quad (4.13)$$

де N - число встановлюваних заготовок, 3000 шт;

K_y - коефіцієнт, що враховує умови обробки [11];

L - довжина шляху ковзання заготовки по опорах при досиланні її до упора, мм (визначається за умовами експлуатації пристосування - 7,5 мм);

t_m - машинний час обробки заготовки в пристосуванні, хв (0,69 хв);

m, m_1, m_2 - коефіцієнти [15], $m = 1818, m_1 = 1014, m_2 = 1309$;

P_1 - критерій зносостійкості [15], $P_1 = 1.01$;

Q - навантаження на опору, 6609 Н;

F - площа торкання опори з базовою поверхнею заготовки, мм^2 $F = 2768,5 \text{мм}^2$ [15];

NV - твердість матеріалу опори по Віккерсу, рекомендації з її вибору наведені в [15].

Міжремонтний період Π заміни чи відновлення установчих елементів

$$\Pi = \frac{12K[N]}{N_p}, \text{ [мікм]} \quad (4.14)$$

де K - коефіцієнт запасу, що враховує нестабільність зносу установчих елементів ($K=0,8 \dots 0,85$);

$[N]$ - допустиме число встановлюваних заготовок до граничного зносу установчих елементів;

N_p - річна програма випуску деталей.

$$E_{\text{и}} = 2,6 \text{ мкм.}$$

Ця похибка $\epsilon_{\text{п.и}} = 0$, тому що відсутні напрямні елементи для інструменту.

Підставляємо отримані значення параметрів у вихідну формулу.

$$\varepsilon_{np} = 1.2 \sqrt{(0.8 \cdot 0.062)^2 + 10^2 + 10^2 + 2.6^2 + 0_v^2 + (0.6 \cdot 0.05)^2} = 17.26 \text{ (мкм)}.$$

Отже умова $\varepsilon_{\Sigma} < T_{дет}$ виконується.

4.2.4 Розрахунок деталей на міцність

Працездатність і надійність деталей оцінюються за відповідними критеріями.

Розрахунки проводяться за одним або кількома з цих критеріїв з метою визначення оптимальних розмірів та матеріалів для деталей пристосувань. Найважливішими критеріями є міцність, жорсткість, зносостійкість та вібростійкість.

До групи деталей, які не підлягають розрахунку, відносять корпуси, кронштейни, стійки, базові плити, а також більшість стандартних складальних одиниць і деталей, підібраних за призначенням та технічними характеристиками.

Далі виконаємо розрахунок гвинта затискового пневмомеханізму.

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq [\sigma] = 118 \text{ МПа}, \quad (4.15)$$

де $N = 6609 \text{ Н}$ – штовхаюче зусилля; $A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3.14 \cdot 30^2}{4} = 706.5 \text{ мм}^2$

– площа поперечного перерізу гвинта:

$$\sigma = \frac{6609}{706.5} \cong 9.35 \text{ МПа} < [\sigma] = 118 \text{ МПа}$$

Умова міцності виконується.

4.3 Вибір промислового робота (ПР) для АРМ

При підборі промислового робота для роботи в складі автоматизованого робочого комплексу необхідно визначити ключові вимоги до його характеристик:

- достатня вантажопідйомність для обслуговування всіх передбачених деталей;
- робочий об'єм, що забезпечує доступ до всіх компонентів робочого місця;
- можливість оснащення відповідним захватним або маніпуляційним пристроєм.

для деталі " Корпус К-25Т " відповідно до рекомендацій [1], вибраний промисловий робот моделі "Taibot N- 25", з наступним і характеристиками:

- вантажопідйомність - 25 кг;
- число ступенів рухливості – 5;
- число рук -1;
- число захватних пристроїв на одній руці - 1;
- привод основних рухів - гідравлічний;
- система керування - позиційна;
- число програмованих координат- 5;
- засіб програмування перемещень- штекерна панель;
- ємність пам'яті системи, число кроків- 24;
- похибка позиціонування - $\pm 1,5$ мм;
- найбільший виліт руки – 1030 мм;
- лінійні переміщення, мм/ швидкість, м/с:
 $r = 700/0,5$;
 $z = 700/0,5$;
- кутові переміщення, °/ кутова швидкість, °/с:
 $\varphi = 220/24$;
 $\alpha = 180/90$;
 $\gamma = 220/90$;

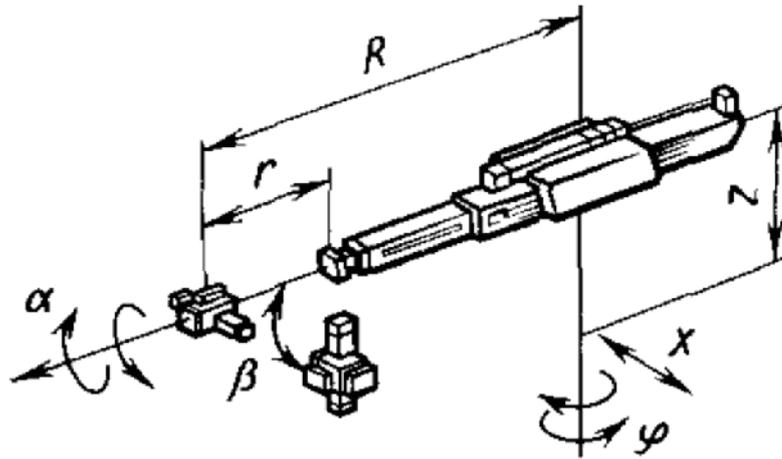
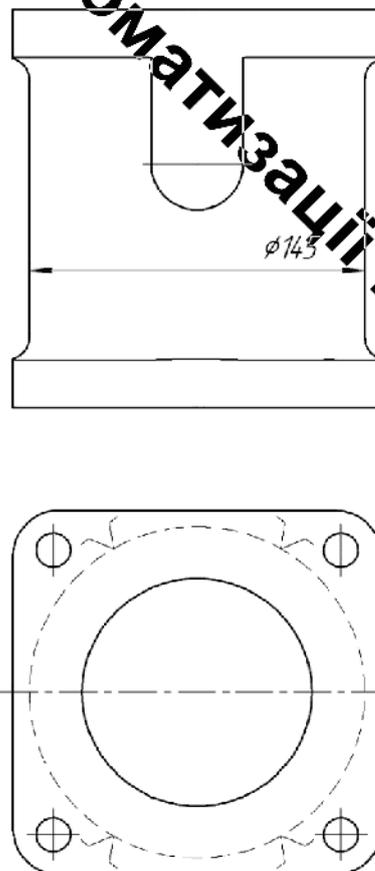


Рисунок 4.8 – Схема ПР

4.4 Проектування (вибір) захватного пристрою

Оскільки заготовка позиціонується на верстатному пристосуванні за допомогою внутрішнього отвору, необхідно, щоб він залишився вільним під час захвату заготовки роботом (рис. 4.9).



Рисунку 4.9- Схема закріплення заготовки

4.4.1 Розрахунок зусиль затиску захватного органу промислового робота

Промисловий робот моделі Taibot N-25 оснащений одним маніпулятором та одним захватним пристроєм. У якості контактних елементів використані поверхні типу «призма». У нашому випадку поверхні закріплення заготовки в захваті не змінюють форму та розміри, а вага заготовки невелика, тому для утримання застосовується захватний пристрій з важільно-шарнірним передавальним механізмом.

Захватний пристрій кріпиться до руки робота фланцем і приводиться в дію пневматичним циліндром.

Зусилля захоплення визначають, виходячи з припущення, що утримання об'єкта маніпулювання здійснюється за рахунок сил тертя, створюваних затискним зусиллям.

$$F = K_1 K_2 K_3 m g, \text{ [Н]} \quad (4.16)$$

де m – маса об'єкту маніпулювання;

g – прискорення вільного падіння;

K_1 – коефіцієнт безпеки, $K_1 = 1,2 - 2,0$. Приймемо $K_1 = 1,2$;

K_2 – коефіцієнт, залежний від максимального прискорення A , з яким ПР переміщає об'єкт, закріплений в захватному пристрої. Для пневматичних роботів $A \approx g$. $K_2 = 1 + A/g = 1 + 1 = 2$;

K_3 – коефіцієнт передачі, залежний від конструкції захоплення і розташування в ньому об'єкту маніпулювання, вибираємо по [17].

$$K_3 = \frac{\sin \theta}{2\mu}, \quad (4.17)$$

де θ - половина кута нахилу губок схвату $\theta = 60^\circ$.

μ - коефіцієнт тертя між об'єктом маніпулювання і губками. $\mu = 0,15$

$$K_3 = \frac{\sin 60^\circ}{2 \cdot 0,15} = 2,9$$

$$F = 1,2 \cdot 2 \cdot 2,9 \cdot 13,9 \cdot 9,8 = 948 \text{ (Н)}$$

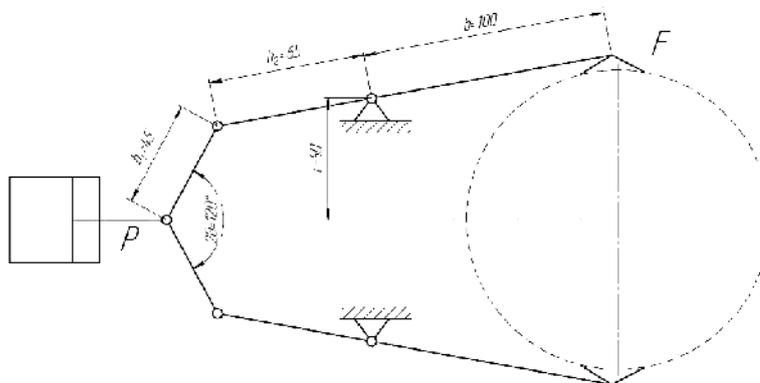


Рисунок 4.10 – Схема захватного пристрою

Відповідно до [17] рівняння рівноваги затискаючих зусиль наступне:

$$b \cdot F = \left[\operatorname{tg} \Theta \sqrt{1 - \left(\frac{b_1 \sin \Theta - c}{b} \right)^2} - \frac{b_1 \sin \Theta - c}{b} \right] \cdot \frac{P}{2} \cdot b_2, \quad (4.18)$$

звідки

$$P = \frac{2 \cdot b \cdot F}{\left[\operatorname{tg} \Theta \sqrt{1 - \left(\frac{b_1 \sin \Theta - c}{b} \right)^2} - \frac{b_1 \sin \Theta - c}{b} \right] \cdot b_2} \quad (4.19)$$

При конструюванні ЗП приймаємо $b=0,1\text{м}$, $b_1=0,045\text{м}$, $b_2=0,065\text{м}$, $c=0,050\text{м}$, кут $\theta=60^\circ$.

$$P = \frac{2 \cdot 0,1 \cdot 948}{\left[\operatorname{tg} 60^\circ \sqrt{1 - \left(\frac{0,045 \sin 60 - 0,05}{0,1} \right)^2} - \frac{0,045 \sin 60 - 0,05}{0,1} \right] \cdot 0,065} = 1605 \text{ (Н)}$$

Визначимо діаметр поршня

Для циліндра односторонньої дії [1, 17]

$$F = p_e \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} - F_T - F_{\text{ПР}} \quad (4.20)$$

де p_e – робочий тиск повітря в системі. Приймаємо $p_e=0,6 \text{ МПа}=0,6 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$,
 D – діаметр поршня; F_T – сила тертя в ущільненнях (\approx до 10% від зусилля, що розвивається). Приймаємо $F_T=20 \text{ Н}$; $F_{\text{ПР}}$ – зусилля створюване пружиною (в кінці ходу до 10% від зусилля, що розвивається). Приймаємо $F_{\text{ПР}}=20 \text{ Н}$.

Звідки

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot (F + F_T + F_{\text{ПР}})}{\pi \cdot p_e}} = \sqrt{\frac{4 \cdot (1605 + 20 + 20)}{\pi \cdot 0,6 \cdot 10^6}} = 59 \cdot 10^{-3} \text{ (м)}$$

Приймаємо найближчий стандартний діаметр поршня $D=60 \text{ мм}$.

4.5 Аналіз точності позиціонування деталі

Розглянемо похибки, виникаючі при автоматичній установці заготовки на верстат (рисунок 4.11):

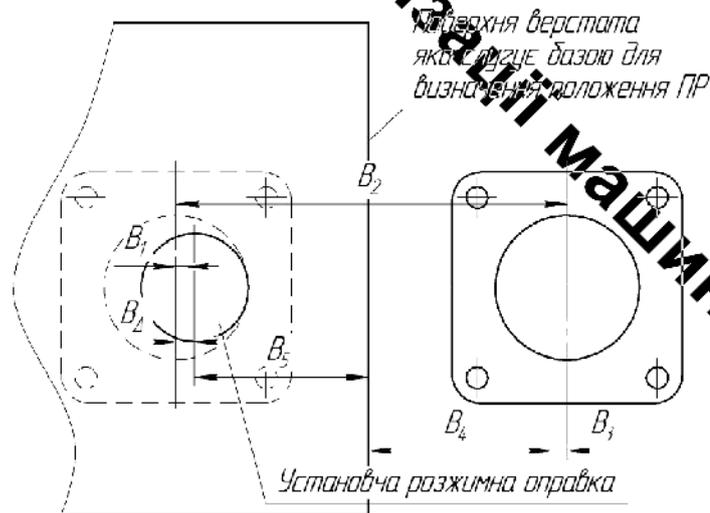


Рисунок 4.11 – Схема розмірних зв'язків

- $B\Delta$ – відхилення положення затискного пристрою верстата від осі завантажуваної заготовки;
- $B1$ – похибка відхилення від співвісності заготовки;

- B2 – похибка, що виникає при програмованих переміщеннях маніпулятора;
- B3 – похибка базування деталі на місці складання заготовок;
- B4 – похибка відхилення відстані між верстатом і роботом;
- B5 – похибка відхилення розташування оснащення на робочому столі верстата.

Установка заготовки на оправку допустима лише за умови, що сумарне відхилення ΔB не перевищує максимально допустиме значення [20-23]:

$$B_{max} = \frac{B - b}{2 \cdot K_3}, \text{ [мм]} \quad (4.21)$$

де B – установочний розмір ;

b – ширина деталі;

K_3 – коефіцієнт запасу ($K_3 = 1,1-1,2$).

$$B_{max} = \frac{200 - 190}{1,2} = 4,1 \text{ (мм)},$$

$$B2 = 700 \pm 0,1 \text{ мм};$$

$$B1 = 0 \pm 0,1 \text{ мм};$$

$$B3 = 110_{-1,4} \text{ мм};$$

$$B4 = 1000_{-2,3} \text{ мм};$$

$$B5 = 3200_{-1,4} \text{ мм};$$

$$T\Delta = 0,2 + 0,2 + 1,4 + 2,3 + 1,4;$$

$$T\Delta = 5,5 \text{ мм.}$$

Оскільки $T\Delta \leq B_{max}$, отже точність достатня виконання необхідних операцій.

4.6 Побудова та розрахунок траєкторії руху елементів ПР

Порядок дій робота наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1– Елементи траєкторії переміщення захватного пристрою

Елемент траєкторії	Коментар	Величина переміщення, мм(град)
r0 1	Переміщення руки ПР вперед	1000
	Затиск заготовки	-
z1 2	Переміщення руки ПР вгору	200
r2 3	Переміщення руки ПР назад	1000
φ3 4	Поворот руки ПР за годинниковою стрілкою	90°
r4 5	Переміщення руки ПР вперед	1000
z5 6	Переміщення руки ПР вниз	200
	Розтиск заготовки	-
r6 7	Переміщення руки ПР назад	1000
	Вистій руки ПР	-
r7 8	Переміщення руки ПР вперед	1000
	Затиск заготовки	-
z8 9	Переміщення руки ПР вгору	200
r910	Переміщення руки ПР назад	1000
φ 1011	Поворот руки ПР за годинниковою стрілкою	90°
r1112	Переміщення руки ПР вперед	1000
z1213	Переміщення руки ПР вниз	200
	Розтиск заготовки	-
r1314	Переміщення руки ПР назад	1000
φ 1415	Поворот руки проти за ПР проти годинникової стрілки	180°

Представимо на рисунку 4.12 фрагменти траєкторії переміщення ПР.

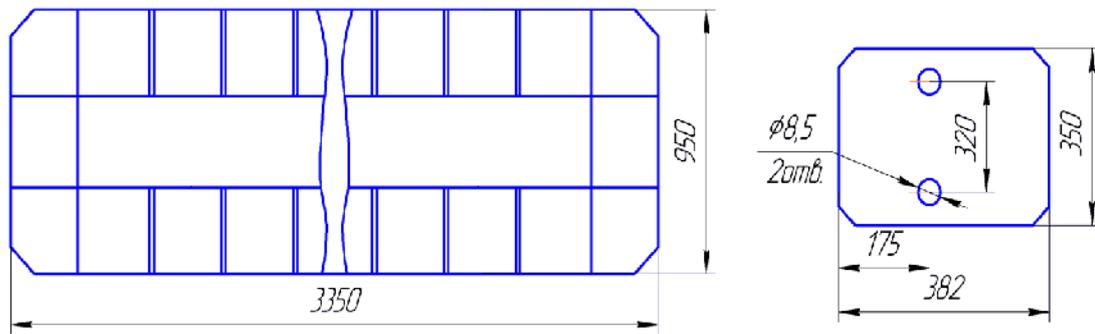


Рисунок 4.13 - Схема тактового столу СТ 350

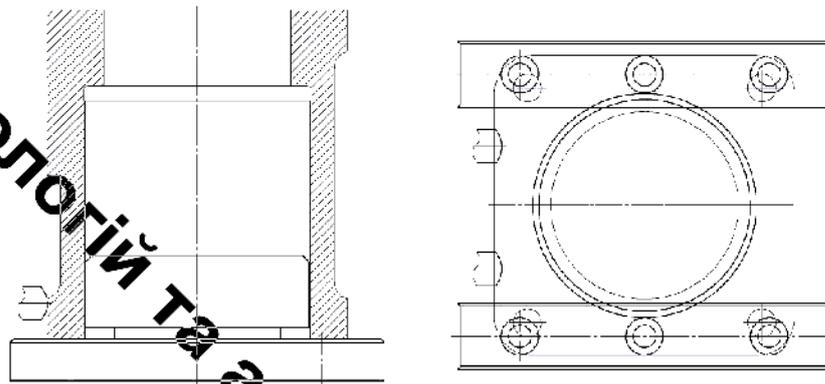


Рисунок 4.14 - Схема укладання заготовки в призму

4.8 Аналіз можливих варіантів компоновок АРМ

Виконаємо аналіз можливих варіантів компоновки роботизованого робочого місця та порівняємо схеми лінійного, порталного та кільцевого типів.

Лінійна компоновка передбачає розташування обслуговуваного устаткування в один ряд. Роботизовані комплекси такого типу будуються на базі підлогових або порталних роботів.

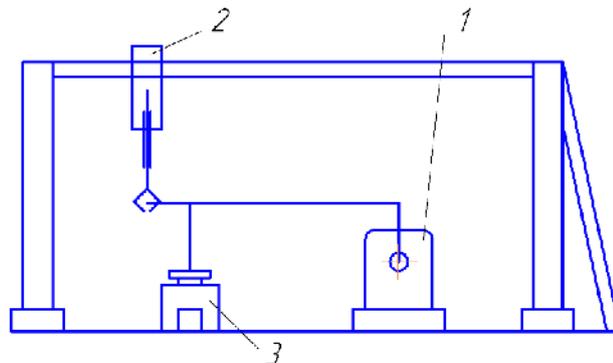


Рисунок 4.15 – Лінійна схема компоновки

1. Верстат
2. Промисловий робот
3. Тактовий стіл

На лінійній схемі робот розташовується збоку від устаткування, що призводить до додаткового часу на закріплення та установку заготовки, знижуючи ефективність процесу.

Портальна компоновка забезпечує економію виробничої площі та зручність обслуговування обладнання. Використання опорних систем великої довжини дозволяє організувати групове обслуговування декількох верстатів одним загальним роботом при лінійному розташуванні устаткування.

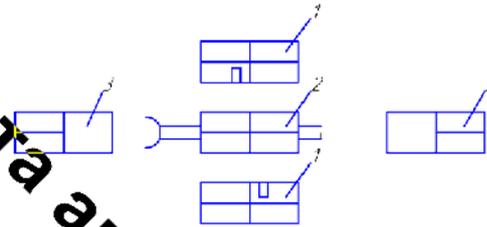


Рисунок 4.16 – Портальна схема компоновки

1. Верстат
2. Промисловий робот
3. Тактовий стіл

Кільцева компоновка передбачає розташування устаткування навколо робота. Така схема забезпечує зручність завантаження та розвантаження, безперешкодне переміщення захватного пристрою та скорочення допоміжного часу на закріплення заготовки. Це дозволяє зменшити штучно-калькуляційний час і підвищити продуктивність.

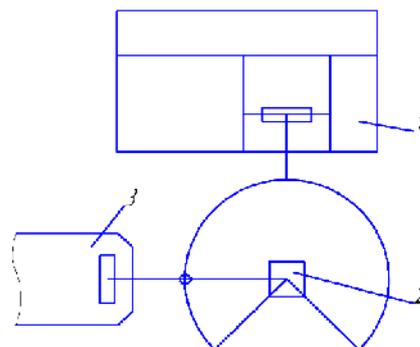


Рисунок 4.17 – Кільцева схема компоновки

Швидкість вертикального переміщення ПР за умови урівноваження мас знаходимо по формулі:

$$V_z = \frac{\alpha_z \cdot \sqrt{L_z} \cdot \sqrt[4]{\Delta l}}{\sqrt[3]{M}}, [\text{м/с}] \quad (4.23)$$

де α_z - коефіцієнт залежний від конструкції приводу, $\alpha_z = 3$;

L_z - довжина шляху при вертикальному переміщенні, м;

M - маса об'єкту маніпулювання;

$$V_{z33A1} = \frac{3 \cdot \sqrt{0,2} \cdot \sqrt[4]{3}}{\sqrt[3]{13,98}} = 0,73 (\text{м/с}).$$

Кутова швидкість при повороті руки ПР щодо вертикальної осі:

$$\omega = \frac{0,5 \sqrt{\varphi} \cdot \sqrt[4]{\delta}}{\sqrt[3]{(2L_r)^2}}, [\text{рад/с}] \quad (4.24)$$

де δ – погрішність кутового позиціонування, с;

φ – кут повороту руки, рад.;

$$\delta = \frac{\Delta l}{L_r} \cdot \frac{180}{\pi} = \frac{3}{1,0} \cdot \frac{180}{3,14} = 172 (\text{с}).$$

$$\omega = \frac{0,5 \sqrt{3,14} \cdot \sqrt[4]{192}}{\sqrt[3]{(2 \cdot 1)^4}} = 1,31 (\text{рад/с}).$$

Оскільки розрахована швидкість руху по усіх осях більша можливої (по характеристикам ПР), тому використовуємо значення паспортних даних ПР, відповідно 0,5м/с, 0,5м/с та 0,2 °/с.

4.10 Розробка циклограми функціонування АРМ

Визначити час виконання кожного руху маніпулятора можна використавши формули:

$$t_I = \frac{\varphi_I}{\omega_I}; [c] \quad (2.25)$$

$$t_I = \frac{l_I}{V_I}, [c] \quad (4.26)$$

де φ_I - кути поворотів механізмів;

l_I - лінійні переміщення механізмів;

ω_I, V_I - швидкості кутового і лінійного переміщення механізмів по відповідній координаті.

Враховавши визначення 4.18-4.20 проведемо дослідження впливу параметрів маніпулятора робота на його швидкості та інші характеристики.

$V, \text{ м/с}$

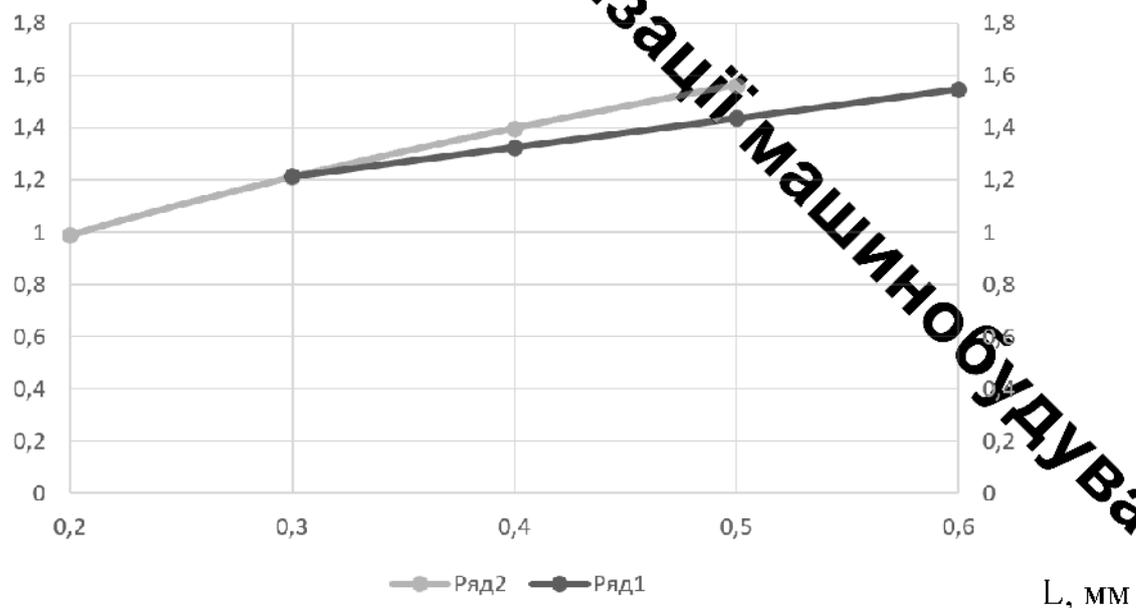


Рисунок 4.18 – Залежність швидкості переміщення по осі X та Z від максимального вильоту

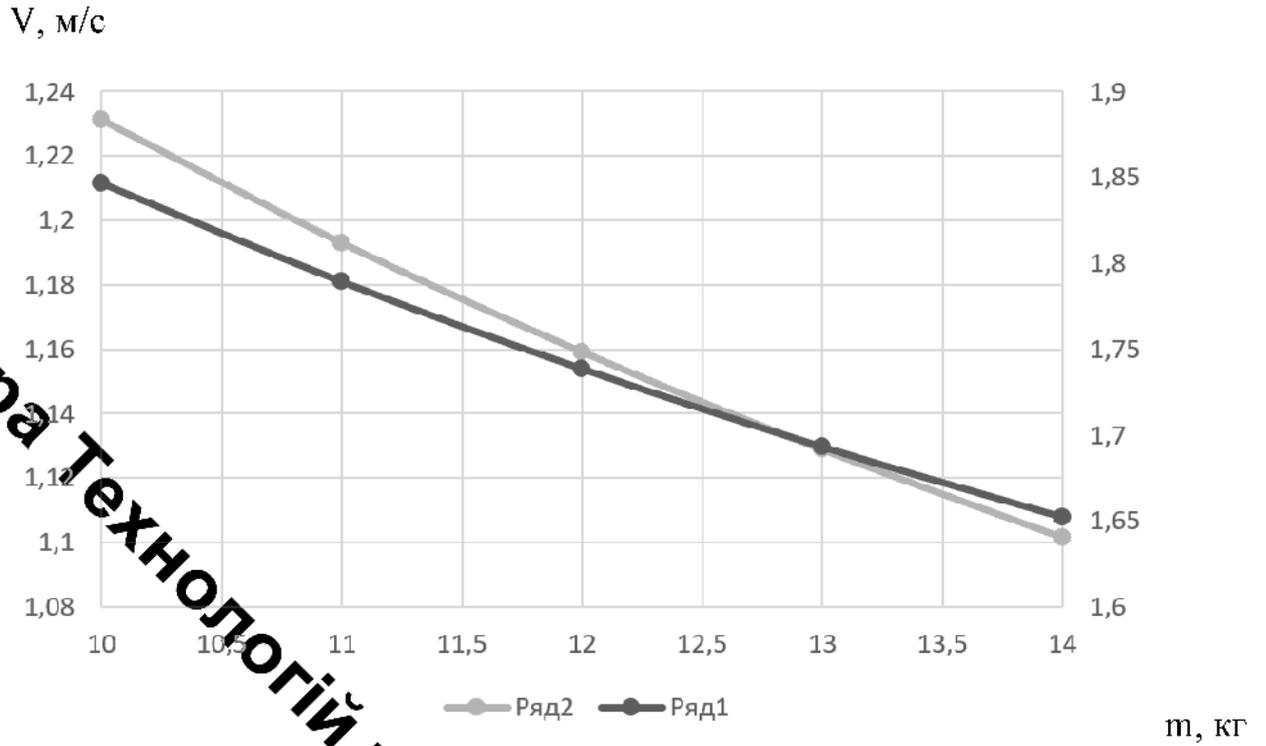


Рисунок 4.19 – Залежність швидкості переміщення по осі X та Z від маси

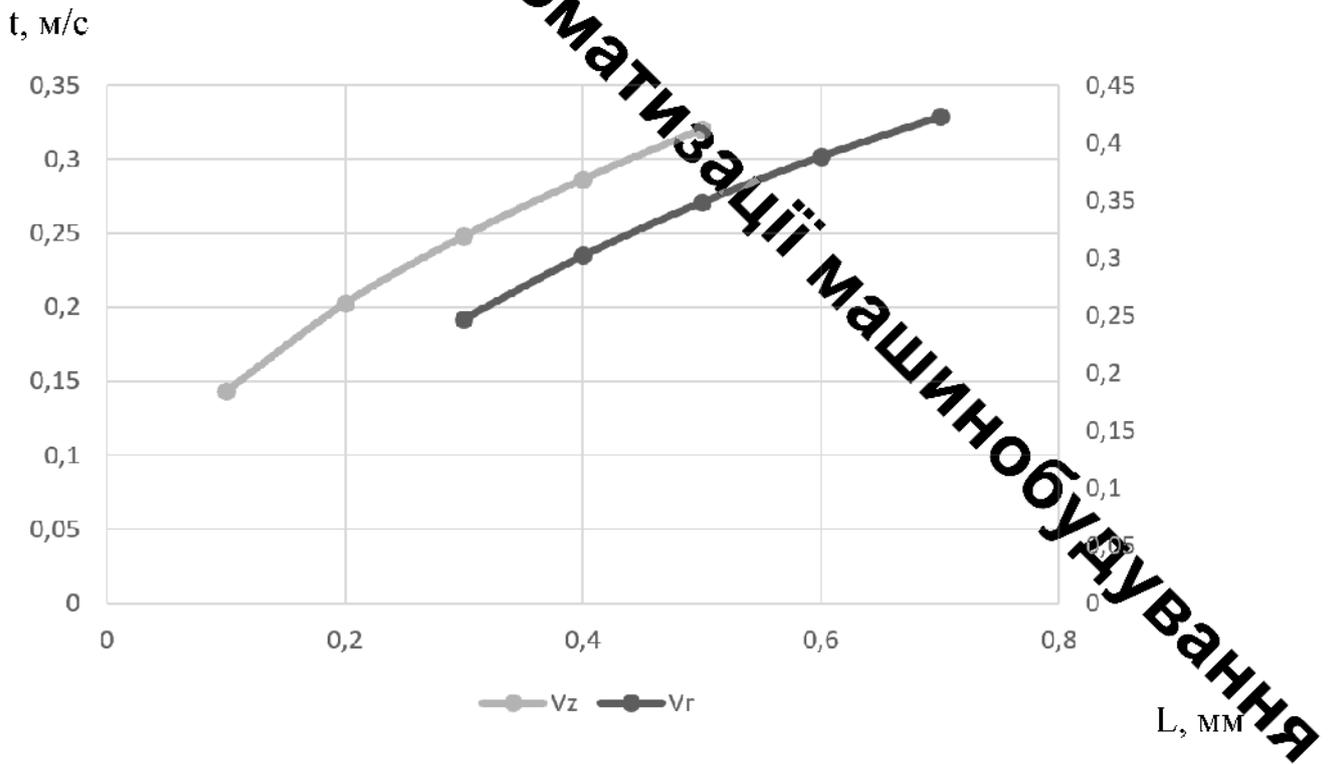


Рисунок 4.20 – Залежність часу переміщення по осям X та Z від максимального вильоту

На основі аналізу графіків представлених на рис . 4.25-4.27 можна зробити висновок, що збільшення вильоту маніпулятора має наслідком збільшення лінійних швидкостей, що можна вважати позитивним фактором, проте це збільшення також призводить до погіршення часових характеристик операції.

Розрахуємо часові витрати на усі виконувані операції

$$t_{01} = \frac{1,0}{0,5} = 2,0(c); \quad t_{12} = \frac{0,5}{0,5} = 1,5(c);$$

$$t_{23} = \frac{1,0}{0,5} = 2,0(c); \quad t_{34} = \frac{90}{24} = 3,75(c);$$

$$t_{45} = \frac{1,0}{0,5} = 2,0(c); \quad t_{56} = \frac{0,2}{0,2} = 1,0(c);$$

Решта виконуться аналогічно.

Таблиця 4.2 – Алгоритм роботи РМ

		Вид руху	Величина переміщення, мм(град)	Швидкість переміщення, м/с, °/с	Час, с
ПР	Захват заготовки	Переміщення руки ПР вперед	1000	0,5	2,0
		Затиск заготовки		-	0,2
		Переміщення руки ПР вгору	200	0,5	1,5
		Переміщення руки ПР назад	1000	0,5	2,0
		Поворот руки ПР за годинниковою стрілкою	90°	24	3,75
	Сума				9,45
	Установка заготовки на верстат	Переміщення руки ПР вперед	1000	0,5	2,0
		Переміщення руки ПР вниз	200	0,5	1,0
		Розтиск заготовки	-	-	0,2
		Переміщення руки ПР назад	1000	0,5	2,0
Сума				5,2	
Верстат	Затиск заготовки на верстатному пристосуванні		9,6		9,6
	Обробка заготовки		0		124,2
	Розтискання заготовки на верстатному пристосуванні		9,6		9,6
	Сума				143,4

ПР	Зняття заготовки з верстата	Переміщення руки ПР вперед	1000	0,5	2,0
		Затиск заготовки	-	-	0,2
		Переміщення руки ПР вгору	200	0,5	1,0
		Переміщення руки ПР назад	1000	0,5	2,0
	Сума				5,2
Переміщення заготовки до місця складання	Поворот руки ПР за годинниковою стрілкою	90°	0,5	3,75	
	Переміщення руки ПР вперед	1000	0,5	2,0	

Продовження таблиці 4.2

	Вид руху	Величина переміщення, мм(град)	Швидкість переміщення, м/с, °/с	Час, с
Готових деталей	Переміщення руки ПР вниз	200	0,5	1,0
	Розтиск заготовки	-	-	0,2
	Переміщення руки ПР назад	1000	0,5	2,0
	Поворот руки проти за ПР проти годинникової стрілки	180°	0,5	7,5
Сума				16,45
Тактовий стіл	Переміщення на одну позицію			2,5
Сума				182,2

Циклограма є графічним зображенням послідовності роботи окремих елементів і підсистем .

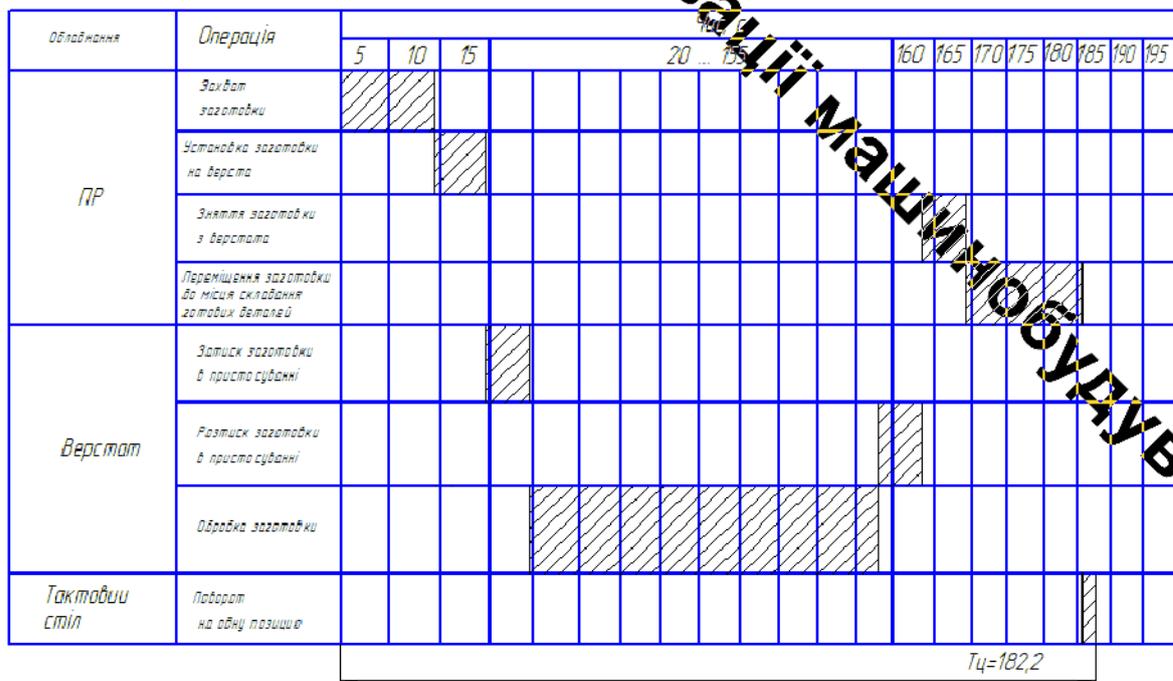


Рисунок 4.21 – Циклограма роботи РМ– Циклограма роботи робочого місця

4.11 Визначення основних показників АРМ

Основні показники, що характеризують роботу РМ наступні: циклова продуктивність $Q_{ц}$; коефіцієнт відносної завантаженості ПР $K_{сп}$; коефіцієнт використання ПР $K_{вр}$; коефіцієнт використання основного устаткування $K_{во}$; коефіцієнт завантаженості ПР $K_{за}$; режиму роботи робота.

Циклова продуктивність визначається по наступній формулі:

$$Q_{ц} = \frac{1}{T_P}; \quad (4.27)$$

де T_P - тривалість робочого циклу, $T_P = 182,2$ с;

$$Q_{ц} = \frac{1}{182,2} = 0,005(с);$$

Коефіцієнт відносної завантаженості $K_{сп}$

$$K_{сп} = \frac{P_{ср}}{P}; \quad (4.28)$$

де $P_{ср}$ - середнє значення робочого навантаження, $P_{ср} = 13,9$ кг;

P - вантажопідйомність робота, $P = 25$ кг;

$$K_{сп} = \frac{13,9}{25} = 0,56.$$

Коефіцієнт використання $K_{вр}$

$$K_{ep} = \frac{T_{np}}{T_p}; \quad (4.29)$$

де T_{np} - час роботи ПР за робочий цикл, $T_{np} = 36,3$ с;

$$K_{ep} = \frac{36,3}{182,2} = 0,2;$$

Коефіцієнт використання основного устаткування K_{BO}

$$K_{BO} = \frac{T_o}{T_p}; \quad (4.30)$$

де T_o - час роботи основного устаткування за робочий цикл, $T_o = 182,2$ с;

$$K_{BO} = \frac{143,4}{182,2} = 0,79.$$

Розрахувавши значення коефіцієнтів, по [1] встановлюємо, що режим роботи ПР "легкий" при цьому коефіцієнт завантаженості $K_{np} = 1,5$.

4.12 Висновки до розділу

Проведено аналіз особливостей установки деталі на верстаті за умови використання промислового робота.

Розроблено верстатне пристосування для обробки деталі «Корпус К-25Т» на вертикально-свердильному верстаті з ЧПК.

Виконано розрахунок складових похибки установки заготовки на пристосуванні. Точність позиціонування складає 17,26 мкм, що забезпечує дотримання всіх необхідних допусків операції.

Обрано промисловий робот моделі Taibot N-25 для інтеграції в автоматизоване робоче місце.

Визначено оптимальну схему захватного пристрою для роботи з деталлю «Корпус К-25Т».

Розраховані часові витрати та проаналізовано вплив швидкісних характеристик робота на продуктивність, враховуючи особливості маніпулятора та масу об'єкта.

З урахуванням масово-інерційних характеристик робота та алгоритму його роботи розрахунок часових витрат на виготовлення виробу стає більш точним, що дозволяє оцінити загальну продуктивність обробки.

Визначено параметри роботи автоматизованого робочого місця: загальний час циклу складає 182,2 с.

Кафедра Технологій та Автоматизації Машинобудування

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Проведення наукового аудиту науково-дослідної роботи

Для наукових і пошукових науково-дослідних робіт зазвичай здійснюють оцінювання наукового ефекту.

Основними ознаками наукового ефекту науково-дослідної роботи є новизна роботи, рівень її теоретичного опрацювання, перспективність, рівень розповсюдження результатів, можливість реалізації. Науковий ефект НДР можна охарактеризувати двома показниками: ступенем наукової новизни та рівнем теоретичного опрацювання.

Значення показників ступеня новизни і рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи в балах наведено в табл. 5.1 та 5.2.

Таблиця 5.1 – Показники ступеня новизни науково-дослідної роботи

Ступінь новизни	Характеристика ступеня новизни	Значення показника ступеня новизни, бали
1	2	3
Принципово нова	Робота якісно нова за постановкою задачі і ґрунтується на застосуванні оригінальних методів дослідження. Результати дослідження відкривають новий напрям в цій галузі науки і техніки. Отримано принципово нові факти, закономірності; розроблено нову теорію. Створено принципово новий пристрій, спосіб, метод	60...100
Нова	Отримано нову інформацію, яка суттєво зменшує невизначеність наявних значень (повному або вперше пояснено відомі факти, закономірності, впроваджено нові поняття, розкрито структуру змісту). Проведено суттєве вдосконалення, доповнення і уточнення раніше досягнутих результатів	40...60
Відносно нова	Робота має елементи новизни в постановці задачі і методах дослідження. Результати дослідження систематизують і узагальнюють наявну інформацію, визначають шляхи подальших досліджень; вперше знайдено зв'язок	10...40

Продовження таблиці 5.1

1	2	3
Відносно нова	(або знайдено новий зв'язок) між явищами. В принципі, відомі положення поширено на велику кількість об'єктів, в результаті чого знайдено ефективне рішення. Розроблено більш прості способи для досягнення відомих результатів. Проведено часткову раціональну модифікацію (з ознаками новизни)	10...40
Традиційна	Робота виконана за традиційною методикою. Результати дослідження мають інформаційний характер. Підтверджено або поставлено під сумнів відомі факти та твердження, які потребують перевірки. Знайдено новий варіант рішення, який не дає суттєвих переваг порівняно з існуючим	2...10
Не нова	Отримано результат, який раніше зафіксований в інформаційному полі та не був відомий авторам	1...2

Таблиця 5.2 – Показники рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи

Характеристика рівня теоретичного опрацювання	Значення показника рівня теоретичного опрацювання, бали
Відкриття закону, розробка теорії	80...100
Глибоке опрацювання проблеми: багатоаспектний аналіз зв'язків, взаємозалежності між фактами з наявністю пояснень, наукової систематизації з побудовою евристичної моделі або комплексного прогнозу	60...80
Розробка способу (алгоритму, програми), пристрою, отримання нової речовини	20...60
Елементарний аналіз зв'язків між фактами та наявною гіпотезою, класифікація, практичні рекомендації для окремого випадку тощо	6...20
Опис окремих елементарних фактів, викладення досвіду, результатів спостережень, вимірювань тощо	1...5

Показник, який характеризує науковий ефект, визначається за формулою:

$$E_{\text{нау}} = 0,6 \cdot k_{\text{нов}} + 0,4 \cdot k_{\text{теор}}, \quad (5.5)$$

де $k_{\text{нов}}, k_{\text{теор}}$ – показники ступенів новизни та рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи, бали;

0,6 та 0,4 – питома вага (значимість) показників ступеня новизни та рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи.

В роботі запропоновано схему автоматизованого робочого місця для обробки заготовки деталі «Корпус» $k_{\text{нов}} = 20$. Застосовані формульні залежності для розрахунку швидкості виконання допоміжних операцій роботом на основі емпіричних залежностей, тому $k_{\text{теор}} = 20$. Тоді показник, який характеризує науковий ефект дорівнює:

$$E_{\text{нау}} = 0,6 \cdot 19 + 0,4 \cdot 15 = 17,4.$$

5.2 Оцінювання комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки

Метою проведення технологічного аудиту є оцінювання комерційного потенціалу розробки автоматизованого робочого місця технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі "Корпус К-25Т". В результаті оцінювання робиться висновок щодо напрямів (особливостей) організації подальшого його впровадження з врахуванням встановленого рейтингу.

Для проведення технологічного аудиту залучено 3-х незалежних експертів які оцінили комерційний потенціал розробки за 12-ю критеріями, наведеними в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Рекомендовані критерії оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки та бальна оцінка

Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою)					
Кри-терій	0	1	2	3	4
Технічна здійсненність концепції:					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено робоздатність продукту в реальних умовах
Ринкові переваги (недоліки):					
2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни Аналогів
4	Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів
5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
Ринкові перспективи					
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих компаній на ринку	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкурентів немає
Практична здійсненність					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Не фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування

Продовження таблиці 5.3

1	2	3	4	5	6
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві
11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років
12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту

Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки зведено в таблицю за зразком таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

Критерії	Прізвище, ініціали, посада експерта		
	Петров Ю.А.	Дерібо О.В.	Сердюк О.В.
	Бали, виставлені експертами:		
1	2	2	2
2	2	2	2
3	2	3	2
4	2	2	2
5	2	3	2
6	3	2	3
7	2	2	2
8	2	2	3
9	2	2	4
10	3	3	3
11	3	2	3
12	3	3	3
Сума балів	СБ ₂ =29	СБ ₃ =28	СБ ₁ =22
Середньоарифметична сума балів СБ	$(29 + 28 + 22)/3 = 26$		

Дана розробка має рівень комерційного потенціалу трохи вище середнього.

5.3 Прогноз попиту на інноваційне рішення

Верстатне виробництво є розповсюдженим на всій території країни і використовується в усіх типах виробництва. За рахунок впровадження роботизації на виробництві можна досягти зменшення браку та покращення продуктивності.

Ринками збуту продукції можуть бути усі регіони України.

Вважатимемо, що розроблене робоче місце будуть актуальними протягом 5 років.

5.4 Вибір каналів збуту та післяпродажного обслуговування

Канали збуту - це сукупність фірм чи окремих осіб, які виконують посередницькі функції щодо реалізації виробів. Автоматизовані елементи та комплекси можуть бути як основним видом продукції так і додатковим при освоєні певних одиниць технологічного обладнання, основними каналами розповсюдження розглядуваних мобільних машин вважатимемо:

- канал нульового рівня, що передбачає реалізацію на підприємствах де застосовується технологічне обладнання;
- канал першого рівня, що передбачає реалізацію оптовим дилерам з підприємств - виробників.

5.5 Виявлення основних конкурентів

На сьогоднішній день в Україні випуск автоматизованих робочих елементів не є розповсюдженим. Проте існують комплекси зарубіжного виробництва. В таблиці 5.5 наведені основні техніко-економічні показники аналога і розробки. Основним недоліком аналога (автоматизація за рахунок застосування окремих

компонентів або ж застосування людської сили) є велика собівартість обробки в одному випадку, або ж зменшення продуктивності.

Таблиця 5.5 – Співвідношення параметрів аналогу і нової розробки

Показник	Одиниці виміру	Аналог	розробка	Відношення параметрів нової обробки та параметрів аналога
Кількість верстатів	шт.	1	1	1
Кількість виробів	шт.	4000	6000	1,5
Час обробки на один виріб	хв.	2,8	1,87	1,49

Аналізуючи таблицю 5.5 можна зробити висновок, що нова розробка є кращою ніж аналог та забезпечує кращу продуктивність і менший час обробки.

5.6 Обрання методу ціноутворення

При обранні методу ціноутворення на розробку необхідно враховувати ціну основних конкурентів.

Закордонні аналоги можуть скласти конкуренцію, проте вартість їх та вартість їх обслуговування суттєво вища.

Серед ринкових методів ціноутворення з орієнтацією на конкурентів обираємо метод рівноважної ціни, сутність якого полягає у встановленні цін з врахуванням витрат, попиту і конкуренції.

Зважаючи на кращі параметри розроблюваного приладу ніж у аналога, пропонується реалізувати даний розробку за ціною аналогічною до конкурента, що забезпечить конкурентоспроможність даного пристосування на ринку в нашій країні та подальше завоювання лідерства за показниками обсягів продажу.

5.7 Оцінка рівня якості інноваційного рішення

Оцінка рівня інноваційного рішення проводиться з метою порівняльного аналізу і визначення найбільш ефективного в технічному відношенні варіанта інженерного рішення. Визначимо абсолютний та відносний рівні якості розроблюваного пристрою.

Таблиця 5.6 – Основні техніко-економічні показники нової розробки

Показник	Абсолютне значення параметра			Коефіцієнт вагомості параметра
	краще	середнє	гірше	
Кількість верстатів		5		0,3
Кількість виробів				0,4
Час обробки на один виріб				0,4

Визначимо абсолютний рівень інноваційного рішення за формулою:

$$K_{ap} = \sum_{i=1}^n P_{Pi} \cdot \alpha_i, \quad (5.1)$$

де P_{Pi} - числове значення i -го параметру інноваційного рішення;

n - кількість параметрів інноваційного рішення, що прийнятні для оцінки;

α_i - коефіцієнт вагомості відповідного параметра.

$$K_{ap} = 5 \cdot 0,3 + 7 \cdot 0,4 + 7 \cdot 0,4 = 7,1.$$

Далі визначаємо рівень якості окремих параметрів інноваційного рішення, порівнюючи його показники з абсолютними показниками якості найліпших вітчизняних та зарубіжних аналогів, основних товарів конкурентів.

Визначимо відносні одиничні показники якості по кожному параметру та занесемо їх у таблицю 5.6, для цього скористаємося формулами:

$$q_i = \frac{P_{Hi}}{P_{Bi}},$$

або

$$q_i = \frac{P_{Bi}}{P_{Hi}},$$

де P_{Hi}, P_{Bi} - числові значення і-го параметра відповідно нового і базового виробів.

Таблиця 5.7 – Основні технічні та економічні параметри інноваційного рішення та товару - конкурента

Показник	Варіанти		Відносний показник якості	Коефіцієнт вагомості параметра
	Базовий	Новий		
Технічні показники				
Кількість верстатів	1	1	1	0,3
Кількість виробів	4000	6000	1,5	0,4
Час обробки на один виріб	2,8	1,87	1,49	0,4
Економічні показники				
Собівартість комплексу	120000	100000	0,83	0,7
Капітальні вкладення	750000	700000	0,93	0,3

Відносний рівень якості інноваційного рішення визначаємо за формулою:

$$K_{яв} = \sum_{i=1}^n q_i \cdot \alpha_i, \quad (5.2)$$

$$K_{яв} = 1 \cdot 0,3 + 1,5 \cdot 0,4 + 0,4 \cdot 1,49 = 1,5.$$

Відносний коефіцієнт показника якості інноваційного рішення більший одиниці, це означає, що інноваційний продукт якісніший базового товару

конкурента на 49% (за рахунок важливих функціональних особливостей, які у аналогу відсутні).

5.8 Оцінка конкурентоспроможності інноваційного рішення

Однією із умов вибору товару споживачем є збіг основних ринкових характеристик виробу з умовними характеристиками конкретної потреби покупця. Такими характеристиками для нашого пристосування є технічні параметри, а також ціна придбання та експлуатаційні витрати при використанні пристрою.

Загальний показник конкурентоспроможності інноваційного рішення з урахуванням вищевказаних груп показників можна визначити за формулою:

$$K = I_{nn}/I_{en} \quad (5.3)$$

де I_{nn} - індекс технічних параметрів (відносний рівень якості інноваційного рішення);

I_{en} - індекс економічних параметрів.

Індекс економічних параметрів визначається за формулою:

$$I_{en} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{nei}}{\sum_{i=1}^n P_{bei}}, \quad (5.4)$$

де P_{bei} , P_{nei} - економічні параметри відповідно базового та нового товарів.

$$I_{en} = (100000 \cdot 0,7 + 700000 \cdot 0,3) / (120000 \cdot 0,7 + 750000 \cdot 0,3) = 0,91,$$

$$K = 1,5 / 0,91 = 1,65 > 1.$$

Оскільки показник конкурентоспроможності більший 1, то наш інноваційний продукт є більш конкурентоспроможним, ніж товар конкурент.

5.9 Прогнозування витрат на виконання роботи

Розрахунок основної заробітної плати розробників.

Основна заробітна плата розробників, яка розраховується за формулою [24, 25]:

$$Z_0 = \frac{M}{T_p} \cdot t \text{ [грн.]}, \quad (5.5)$$

де: M – місячний посадовий оклад кожного розробника (дослідника), грн.

T_p – число робочих днів в місяці. Приблизно $T_p = 21 \div 22$,

t – число днів роботи розробника.

Для керівника проекту основна заробітна плата складатиме:

$$Z_0 = \frac{30000}{22} \cdot 21 = 28636 \text{ (грн.)}.$$

Аналогічно розраховуємо заробітну плату інших розробників. При цьому необхідно врахувати, що найбільшу частину роботи виконує інженер-технолог.

Таблиця 5.8 – Результати розрахунків основної заробітної плати

№ п/п	Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн	Оплата за робочий день, грн	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату
1.	Керівник проекту	28636	1363	21	28636
2.	Інженер-налагоджувальник	20000	909	22	20000
3.	Верстатник	20000	909	22	20000
4.	Слюсар	20000	909	22	20000
Всього					88636

Витрати на основну заробітну плату робітників (Z_p) розраховуються на основі норм часу, які необхідні для виконання технологічних операцій по виготовленню одного виробу:

$$Z_p = \sum_1^n t_i \cdot C_i \cdot K_c \text{ [грн.]}, \quad (5.6)$$

де: t_i – норма часу (трудомісткість) на виконання технологічної операції, годин;

n – число робіт по видах та розрядах;

K_c – коефіцієнт співвідношень, який установлений в даний час Генеральною тарифною угодою між Урядом України і профспілками. $K_c=1 \div 5$. Приймаємо $K_c=1,37$;

C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, який виконує відповідну технологічну операцію, грн./год. C_i визначається за формулою:

$$C_i = \frac{M_n \cdot K_i}{T_p \cdot T_{zm}} \left[\frac{\text{грн.}}{\text{ГОД}} \right], \quad (5.7)$$

де: M_n – мінімальна місячна оплата праці, грн. З 1 січня 2025 року – $M_n = 8000$ грн.;

K_i – тарифний коефіцієнт робітника відповідного розряду та професії;

T_p – число робочих днів в місяці. Приблизно $T_p = 21 \div 22$;

T_{zm} – тривалість зміни, $T_{zm} = 8$ годин.

Враховуючи, що мають працювати робітники четвертого та п'ятого розрядів, то погодинна тарифна ставка складатиме:

$$C_4 = 8000 \cdot 1,5 \cdot 1,37 / (22 \cdot 8) = 93,4 \text{ (грн./год.)};$$

Таблиця 5.9 – Витрати на основну заробітну плату

Обладнання	Трудомісткість годин	Розряд роботи	Погодинна тарифна ставка	Величина оплати, грн
Роботи по компоновці елементів	120	4	93,4	11208
Роботи верстатника	140	4	93,4	13076
Роботи слюсаря	80	4	93,4	7472
Роботи налагоджувальника	90	4	93,4	8406
Всього				40162

Додаткова заробітна плата розраховується, як 12 % від основної заробітної плати розробників:

$$З_д = (88636 + 40162) \cdot 12\% = 15456 \text{ (грн.)}$$

Нарахування на заробітну плату склали 22% від суми основної та допоміжної заробітної плати:

$$(88636 + 33639 + 15456) \cdot 22\% = 31736 \text{ (грн.)}$$

Амортизація обладнання, які використовуються під час виготовлення пристосування.

У спрощеному вигляді амортизаційні відрахування в цілому можуть бути розраховані за формулою:

$$A = \frac{Ц}{T_{н.в.}} \cdot \frac{T_{ф.в.}}{12},$$

де Ц – балансова вартість обладнання, грн;

$T_{ф.в.}$ – строк корисного використання обладнання (міс.);

$T_{н.в.}$ – нормативний термін використання обладнання, років.

Таблиця 5.10 – Результати розрахунків амортизаційних відрахувань

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн.	Термін нормативного використання, р.	Термін корисного використання, міс.	Величина амортизаційних відрахувань, грн.
Комп'ютерне обладнання	30000	4	12	7500
Промисловий робот	290000	7	12	41429
Слюсарне обладнання	130000	4	1	2708
Обладнання для компоновки і налаштування	210000	6	1	2917
Обладнання для розрахунків	50000	4	1	1042

Відповідно:

$$A = 7500 + 41429 + 2708 + 2917 + 1042 = 55596 \text{ (грн.)}$$

Витрати на матеріали розраховуються по кожному виду матеріалів за формулою:

$$M = \sum_1^n H_i \cdot \zeta_i \cdot K_i - \sum_1^n V_i \cdot \zeta_v \text{ [грн.]}, \quad (5.8)$$

де: H_i – витрати матеріалу i -го найменування, кг

ζ_i – вартість матеріалу i -го найменування, грн./кг.,

K_i – коефіцієнт транспортних витрат, $K_i = 1,1$.

V_i – маса відходів i -го найменування,

ζ_v – ціна відходів i -го найменування,

n – кількість видів матеріалів.

Кількість відходів в нашому є однаковою для обох способів виробництв, тому вартість матеріалів не враховуємо.

Витрати на силову електроенергію на розробку розраховуються за формулою:

$$B_e = W_{yi} \cdot t_i \cdot P_e \cdot K_{mi} / \eta_i \text{ [грн.]}, \quad (5.9)$$

де: P_e – вартість 1 кВт-години електроенергії. На грудень 2025 року для промисловості (2 категорія споживачів) ціна електроенергії становить $P_{opt} = 5,099$ грн./кВт згідно тарифів оператора ринку, $P_{розп} = 2,674$ грн./кВт за розподіл електричної енергії згідно тарифів ТОВ "Енера Вінниця" та $P_{дист} = 0,421$ грн./кВт за постачання електричної енергії до конкретного користувача згідно тарифів ТОВ "Енера Вінниця".

W – установлена потужність обладнання;

t – фактична кількість годин роботи обладнання при виконанні технологічних операцій, в результаті чого виробляється один виріб;

K – коефіцієнт використання потужності.

$$P_e = (5,099 + 2,674 + 0,421)(1 + 20\%/100\%) = 13,4 \text{ (грн.)}$$

Таблиця 5.11 – Результати розрахунків витрат електроенергії

Найменування обладнання	Час роботи, год.	Потужність, кВт.	Коефіцієнт використання
Комп'ютерне обладнання	160	0.4	1
Приміщення (освітлення)	140	0.9	1
Промисловий робот	110	7	1
Допоміжне обладнання	120	5	0.8

$$Ц_{e1} = 13,04 \cdot 0,4 \cdot 160 \cdot 1 = 858 \text{ (грн.)},$$

$$Ц_{e2} = 13,04 \cdot 0,9 \cdot 140 \cdot 1 = 1688 \text{ (грн.)},$$

$$Ц_{e3} = 13,04 \cdot 7 \cdot 100 \cdot 1,0 = 10318 \text{ (грн.)},$$

$$Ц_{e4} = 13,04 \cdot 5 \cdot 90 \cdot 0,8 = 6432 \text{ (грн.)},$$

$$Ц_e = 858 + 1688 + 10318 + 6432 = 19296 \text{ (грн.)}.$$

Інші витрати можна прийняти як (100...300)% від суми основної заробітної плати робітників, які виконували дану роботу:

$$I_b = (1...3) (3_o + 3_p), \quad (5.10)$$

$$I_b = 3 \cdot (88636 + 40162) = 386394 \text{ (грн.)}$$

Усі витрати складають:

$$B = 88636 + 40162 + 15456 + 31736 + 55596 + \\ + 19296 + 386394 = 637276 \text{ (грн.)}$$

Розрахунок загальних витрат виконання даної роботи всіма виконавцями.

Загальна вартість даної роботи визначається за $B_{\text{заг}}$ формулою:

$$B_{\text{заг}} = \frac{B}{\alpha}, \quad (5.11)$$

де α – частка витрат, які безпосередньо здійснює виконавець даного етапу роботи, у відн. одиницях. Для нашого випадку $\alpha = 0,95$.

Тоді

$$B_{\text{заг}} = 637276 / 0,95 = 670817 \text{ (грн.)}$$

Прогнозування загальних витрат здійснюється за формулою:

$$ЗВ = B_{зас} / \beta, \quad (5.12)$$

де β – коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання даної роботи. Так, якщо розробка знаходиться: на стадії науково-дослідних робіт, то $\beta \approx 0,1$; на стадії технічного проектування, то $\beta \approx 0,2$; на стадії розробки конструкторської документації, то $\beta \approx 0,3$; на стадії розробки технологій, то $\beta \approx 0,4$; на стадії розробки дослідного зразка, то $\beta \approx 0,5$; на стадії розробки промислового зразка, $\beta \approx 0,7$; на стадії впровадження, то $\beta \approx 0,8-0,9$.

Для нашого випадку $\beta \approx 0,45$.

Тоді:

$$ЗВ = 670817 / 0,45 = 1490704 \text{ (грн.)}$$

Тобто прогнозовані витрати на розробку способу суміщеної обробки та впровадження результатів даної роботи становлять приблизно 1490704 грн.

5.10 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки

Комерційний ефект застосування розробленого обладнання пояснюється декількома важливими аспектами: можливістю працювати протягом тривалого проміжку часу, забезпечувати стабільну якість продукції та зменшити кількість браку, можливістю швидко переналагоджувати виробництво на випуск іншої типової продукції.

Аналіз місткості ринку даної продукції показує, що в даний час в Україні кількість потенційних користувачів нашої розробки складає щороку приблизно 2500 шт. Середня ціна виготовлених виробів 90-150 тис. грн. Оскільки собівартість виготовлення корпусів за рахунок автоматизації скоротилась в нас є можливість реалізувати наші вироби дешевше. При цьому повинен збільшуватися і попит на нашу розробку.

Припустимо, що запропонована розробка буде користуватися попитом на ринку протягом 4-х років після впровадження модернізації дільниці механічної обробки. Після цього високою є ймовірність, що конкуренти також проведуть модернізацію свого обладнання, що дозволить їм скоротити собівартість виготовлення масляних насосів.

За нашими розрахунками, результати нашої розробки можуть бути впроваджені з 1 травня 2025 року, а її результати будуть виявлятися протягом 2026-го, 2027-го, 2028-го та 2029-го років.

Прогноз зростання попиту на нашу розробку складає по роках:

1-й рік після впровадження (2026 р.) – приблизно 2500 шт.;

2-й рік після впровадження (2027 р.) – приблизно 1500 шт.;

3-й рік після впровадження (2028 р.) – приблизно 1300 шт.;

4-й рік після впровадження (2029 р.) – приблизно 600 шт.

У 2030 р. ми не плануємо отримання прибутків для потенційних інвесторів, оскільки високою є ймовірність, що з'являться нові, більш якісні розробки.

Розрахуємо очікуване збільшення прибутку $\Delta\Pi_i$, що його можна отримати потенційний інвестор від впровадження результатів нашої розробки, для кожного із років, починаючи з першого року впровадження:

$$\Delta\Pi_i = \sum_1^n \Delta C_0 \cdot N + C_0 \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot (1 - 99\%), \quad (5.13)$$

де ΔC_0 – покращення основного оціночного показника від впровадження результатів розробки у даному році. Зазвичай таким показником є зменшення ціни нового виробу, грн.; ми вважаємо, що $\Delta C_0 = 6700$ грн;

N – основний кількісний показник, який визначає обсяг діяльності у даному році до впровадження результатів розробки; було встановлено, що $N = 2500$ шт.;

ΔN – покращення основного кількісного показника від впровадження результатів розробки;

C_0 – основний оціночний показник, який визначає обсяг діяльності у даному році після впровадження результатів розробки, грн.; $C_0 = 80$ тис. грн;

n – кількість років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки;

λ – коефіцієнт, який враховує сплату податку на додану вартість. У 2025 році ставка податку на додану вартість встановлена на рівні 20%, а коефіцієнт $\lambda = 0,8333$;

ρ – коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту. Рекомендується приймати $\rho = 0,2 \dots 0,3$, візьмемо $\rho = 0,25$;

ϑ – ставка податку на прибуток. У 2025 році $\vartheta = 18\%$.

Тоді, збільшення чистого прибутку для потенційного інвестора $\rho \Pi_1$ протягом першого року від реалізації нашої розробки (2025 р.) складе:

$$\Delta \Pi_1 = (2500 \cdot 6700) \cdot 0,8333 \cdot 0,25 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 2861344(\text{грн.})$$

$$\Delta \Pi_2 = (1500 \cdot 6700) \cdot 0,8333 \cdot 0,25 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 1716806(\text{грн.})$$

$$\Delta \Pi_3 = (1300 \cdot 6700) \cdot 0,8333 \cdot 0,25 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 1487899(\text{грн.})$$

$$\Delta \Pi_4 = (500 \cdot 6700) \cdot 0,8333 \cdot 0,25 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 572269(\text{грн.})$$

5.11 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності

Основними показниками, які визначають доцільність фінансування нашої розробки потенційним інвестором, є абсолютна і відносна ефективність вкладених в розробку інвестицій та термін їх окупності.

Розраховуємо абсолютну ефективність вкладених інвестицій $E_{\text{абс}}$. Для цього користуються формулою:

$$E_{\text{абс}} = \text{ПП} - \text{PV}, \quad (5.14)$$

де $ПП$ – приведена вартість всіх чистих прибутків від реалізації результатів розробки, грн.;

У свою чергу, приведена вартість всіх чистих прибутків $ПП$ розраховується за формулою:

$$ПП = \sum_{i=1}^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1+\tau)^i}, \quad (5.15)$$

де $\Delta\Pi_i$ – збільшення чистого прибутку у кожному із років, протягом яких виявляються результати виконаної та впровадженої роботи, грн.;

m – період часу, протягом якого виявляються результати впровадженої наукової роботи, роки;

τ – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні. Для України прийmemo, що $\tau = 0,10$ (або 10%);

t – період часу (в роках) від моменту отримання прибутків до точки „0”. Якщо $E_{abc} > 0$, то результат від впровадження нашої розробки буде збитковим і вкладати кошти в розробку ніхто не буде. Якщо $E_{abc} < 0$, то результат від впровадження нашої розробки принесе прибуток і вкладати кошти в дану розробку в принципі можна.

Тоді приведена вартість всіх можливих чистих прибутків $ПП$, що їх може отримати потенційний інвестор від реалізації результатів нашої розробки, складе:

$$ПП = \frac{2861344}{(1+0.1)^2} + \frac{1716806}{(1+0.1)^3} + \frac{1487899}{(1+0.1)^4} + \frac{572269}{(1+0.1)^5} = 5026198 \text{ (грн.)}$$

Абсолютна ефективність нашої розробки (при прогнозованому ринку збуту) складе:

$$E_{abc} = 5026198 - 1490704 = 3456598 \text{ (грн.)}$$

Оскільки $E_{абс} > 0$, то вкладання коштів на виконання та впровадження результатів нашої розробки може бути доцільним.

Але це ще не свідчить про те, що інвестор буде зацікавлене у фінансуванні даного проекту. Він буде зацікавлений це роботи тільки тоді, коли ефективність вкладених інвестицій буде перевищувати певний критичний рівень.

Для цього розрахуємо відносну ефективність E_B вкладених у розробку коштів. Для цього скористаємося формулою:

$$E_B = \sqrt[T]{1 + E_{абс} / PV} - 1, \quad (5.16)$$

де $E_{абс}$ – абсолютна ефективність вкладених інвестицій, $E_{абс} = 3456598$ грн.;

PV – теперішня вартість інвестицій $PV = 1490704$ грн.;

$T_{жс}$ – життєвий цикл наукової розробки, роки.

Для нашого випадку:

$$E_B = \sqrt[5]{1 + 3456598 / 1490704} - 1 = 0,27 = 27\%.$$

Далі визначимо ту мінімальну дохідність, вище за яку кошти в розробку нашого проекту вкладатися не будуть.

У загальному вигляді мінімальна дохідність або мінімальна (бар'єрна) ставка дисконтування $\tau_{мін}$ визначається за формулою:

$$\tau = d + f, \quad (5.17)$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2025 році в Україні $d = (0,08...0,20)$;

f – показник, що характеризує ризикованість вкладень; зазвичай, величина $f = (0,05...0,2)$, але може бути і значно більше. Для нашого випадку отримаємо:

$$\tau_{\min} = 0,17 + 0,08 = 0,25 \text{ або } \tau_{\min} = 25\%.$$

Оскільки величина $E_b = 27\% > \tau_{\min} = 25\%$, то інвестор у принципі може бути зацікавлений у фінансуванні нашої розробки.

Термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій розраховується за формулою:

$$T_{ок} = 1/E_b,$$

$$T_{ок} = 1/0,27 = 3,6.$$

Тобто у інвестора, на нашу думку, може виникнути зацікавленість вкладати гроші в дану розробку, оскільки він може отримати більші доходи, ніж якщо просто покладе свої гроші на депозит у комерційному банку.

5.12 Висновки до розділу

При оцінці економічної ефективності наукового дослідження було визначено комерційний потенціал дослідження та розроблено кошторис капітальних витрат на модернізацію ділянки механічної обробки, а також оцінено економічну ефективність інноваційного рішення.

Комерційний потенціал дослідження за результатами опитування експертів було визначено як вище середнього. Розраховані показники абсолютної та відносної ефективності свідчать, що даний інвестиційний проект може зацікавити інвестора, оскільки рівень доходності даного проекту перевищує депозитні доходи і є менш ризикованим. Термін окупності розробленого проекту складає 3,6 років.

ВИСНОВКИ

1. На підставі аналізу типових засобів автоматизації встановлено, що основними напрямками автоматизації виробництва є використання промислових роботів і допоміжного обладнання у складі автоматизованих комплексів з верстатами з числовим програмним керуванням.

2. Автоматизовані та роботизовані елементи, як правило, призначені для виконання допоміжних операцій у технологічному процесі.

3. У межах автоматизованого робочого місця промислові роботи реалізують ключові завдання автоматизації, зокрема забезпечують механізацію та автоматизацію операцій завантаження і розвантаження заготовок та готових виробів.

4. Проведено аналіз технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі «Корпус К-25Т».

5. На підставі оцінки доцільності впровадження автоматизації обрана операція 015, оскільки автоматизація цієї операції дозволяє значно скоротити допоміжний час при обробці виробу.

6. Встановлено комплекс операцій та відповідного обладнання для виконання технологічних процесів на автоматизованому робочому місці.

7. Сформовано покроковий алгоритм роботи автоматизованого робочого місця для обробки деталі «Корпус К-25Т», що охоплює підготовку, обробку та переміщення заготовки.

8. Визначено промислового промислового робота у робочому місці, як засобу для захоплення, установки та переміщення заготовок, що забезпечує підвищення продуктивності та точності процесу.

9. Проведено аналіз особливостей установки деталі на верстаті за умови використання промислового робота.

10. Розроблено верстатне пристосування для обробки деталі «Корпус К-25Т» на вертикально-свердлильному верстаті з ЧПК.

11. Виконано розрахунок складових похибки установки заготовки на пристосуванні. Точність позиціонування складає 17,26 мкм, що забезпечує дотримання всіх необхідних допусків операції.

12. Обрано промисловий робот моделі Taibot N-25 для інтеграції в автоматизоване робоче місце.

13. Визначено оптимальну схему захватного пристрою для роботи з деталлю «Корпус К-25Т».

14. Розраховані часові витрати та проаналізовано вплив швидкісних характеристик робота на продуктивність, враховуючи особливості маніпулятора та масу об'єкта.

15. З урахуванням масово-інерційних характеристик робота та алгоритму його роботи розрахунок часових витрат на виготовлення виробу стає більш точним, що дозволяє оцінити загальну продуктивність обробки.

16. Визначено параметри роботи автоматизованого робочого місця: загальний час циклу складає 182,2 с.

17. При оцінці економічної ефективності наукового дослідження було визначено комерційний потенціал дослідження та розраховано кошторис капітальних витрат на модернізацію дільниці механічної обробки, а також оцінено економічну ефективність інноваційного рішення.

18. Комерційний потенціал дослідження за результатами опитування експертів було визначено як вище середнього. Розраховані показники абсолютної та відносної ефективності свідчать, що даний інвестиційний проект може зацікавити інвестора, оскільки рівень доходності даного проекту перевищує депозитні доходи і є менш ризикованим. Термін окупності розробленого проекту складає 3,8 років.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Автоматизація виробництва в машинобудуванні [Текст] : практикум / Ю. І. Муляр, В. П. Пурдик, С. В. Репінський [та ін.]. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 133с.
2. Автоматизація в промисловості Практикум. Частина І: навчальний посібник/ Є.В. Пашков, В.П. Полівцев, М.П. Карпов, Ю.О. Осинський, М.М. Майстришин. – Севастополь 2010. – 140 с.
3. Роботизовані технологічні комплекси / Г.І. Костюк, О.О. Баранов, І.Г. Левченко, В.А. Фадєєв - Учеб. Посібник. - Харків. Нац. аерокосмічний університет "ХАІ", 2013. - 204с.
4. Павленко П., Мажара В.А. Роботизовані технологічні комплекси: Навчальний посібник. – Кіровоград: КНТУ, 2010. – 392 с.
5. <https://abplanalp.ua/avtomatyzaciya-vyrobnyctva-sho-ce-yiyi-plyusy-ta-minusy> (дата звернення: 08.12.2025).
6. https://en.wikipedia.org/wiki/Industrial_robot (дата звернення: 08.12.2025).
7. https://en.wikipedia.org/wiki/Intelligent_manufacturing_systems (дата звернення: 08.12.2025).
8. Hardik A. Modi, Prof. Dixit M. Patel, Automated System Design for Pick & Place of M/C Components of CNC-Lathe-A Review Paper, International Journal for Innovative Research in Science & Technology, Vol.1. Issue 12, 2015.
9. Arunachalam, Saravanan. (2025). Optimization of the robot positioner performance in a CNC robot manufacturing cell. 10.21203/rs.3.rs-8269445/v1.
10. Liu Z, Liu Q, Xu W, et al (2022) Robot learning towards smart robotic manufacturing: A review. Robot Comput Integr Manuf 75 .doi: 10.1016/j.rcim.2022.102360.
11. Цвіркун Л.І. Робототехніка та мехатроніка: навч. посіб. / Л.І.Грулер; за 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.
12. Гідроприводи та гідропневмоавтоматика. Підручник./ В.О. Федорєць, М.Н. Педченко, В.Б.Струтинський та ін,- К.: Вища шк., 1995,- 463с.

13. Павленко П.М. Автоматизація технічної підготовки виробництва. Навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2006. 114с.

14. М. І. Іванов, Ж. П. Дусанюк, С. В. Дусанюк та ін. Технологічні основи сільськогосподарського машинобудування: навчальний посібник. Вінниця: Глобус-Прес, 2011. – 200 с.

15. Ю. А. Буренніков, Д. О. Лозінський Технологічні основи машинобудування. Самостійна та індивідуальна робота студентів: навчальний. Вінниця: ВНТУ, 2017. 106 с.

16. Технологічна оснастка : навчальний посібник / О. В. Петров, С. І. Сухоруков. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 123 с.

17. Мироненко О. М. Курсове проектування з дисциплін «Проектування пристосувань», «Системи автоматизованого проектування технологічної оснастки» : навчальний посібник / О. М. Мироненко, Ю. А. Буренніков. – Вінниця : ВНТУ, 2007. – 61 с.

18. Д. О. Лозінський, О. В. Петров, О. М. Мироненко Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт з дисципліни «САП верстатів з ЧПК. Вінниця : ВНТУ, 2018. – 42 с.

19. Є. П. Михайлов, В. М. Лінгур Навчальний посібник з дисципліни "Маніпулятори та промислові роботи"/ Одес. нац. політехн. ун-т. Одеса, 2019. 233с.

20. Проць Я.І. Захоплювальні пристрої промислових роботів : навч. посібн. Тернопіль : Тернопільський державний технічний університет ім. І. Пулюя, 2008. 232 с.

21. Л.Є. Пелевін, К.І. Почка, О.М. Гаркавенко, Д.О. Міщук, І.В. Русак Синтех робототехнічних систем в машинобудуванні: підручник. К.: ТОВ "ІНТЕРСЕРВІС", 2016. 256.

22. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Роботизовані технологічні комплекси» / Уклад. Д. О. Лозінський. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 43 с.

23. Лозінський Д.О., Яворський А.А., Вовк Б.Ф., Краєвський Ю.О., Тимошук А.О. Роботизований промисловий комплекс на базі верстату з ЧПК та промислового робота. Міжнародна науково-практична Інтернет-конференція студентів, аспірантів та молодих науковців «МОЛОДЬ В НАУЦІ: ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРОБЛЕМИ, ПЕРСПЕКТИВИ (МН-2026)». Вінниця, 2025. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2026/schedConf/presentations>. (дата звернення: 10.12.2025).

24. Економіка та організація виробничої діяльності підприємства. Частина I. Економіка підприємства-Небава М.І., Адлер О.О., Лесько О.Й.-НП-Вінниця, ВНТУ, 2011-117с

25. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.

Кафедра Технологій та Автоматизації машинобудування

ДОДАТКИ

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

ДОДАТОК А**(обов'язковий)**

Кафедра Технологій та Автоматизації машинобудування

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА**АВТОМАТИЗАЦІЯ РОБОЧОГО МІСЦЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ
МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ "КОРПУС К-25Т"***(Назва магістерської кваліфікаційної роботи)*

Мета та задачі роботи

Метою роботи є автоматизація робочого місця технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі "Корпус К-25Т".

Для досягнення поставленої мети потрібно виконати такі завдання:

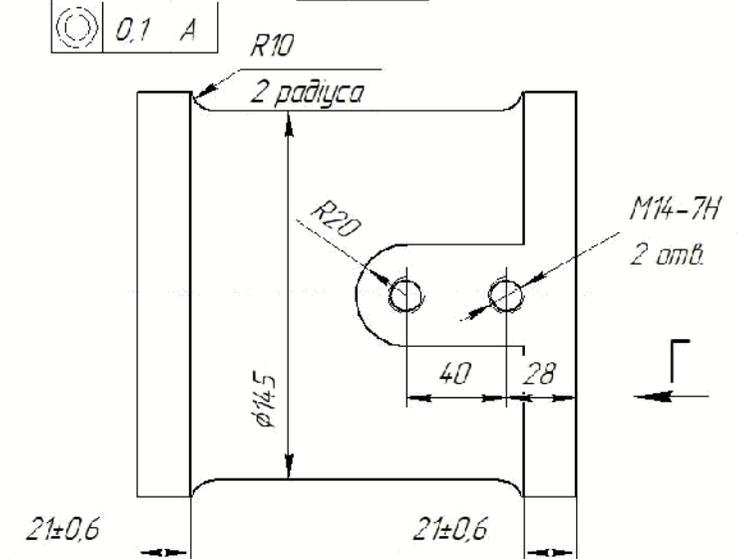
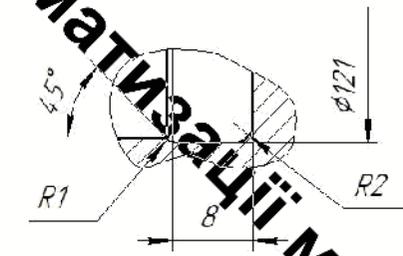
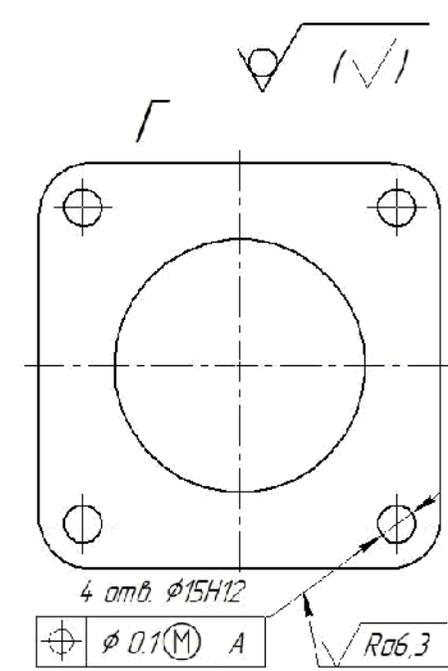
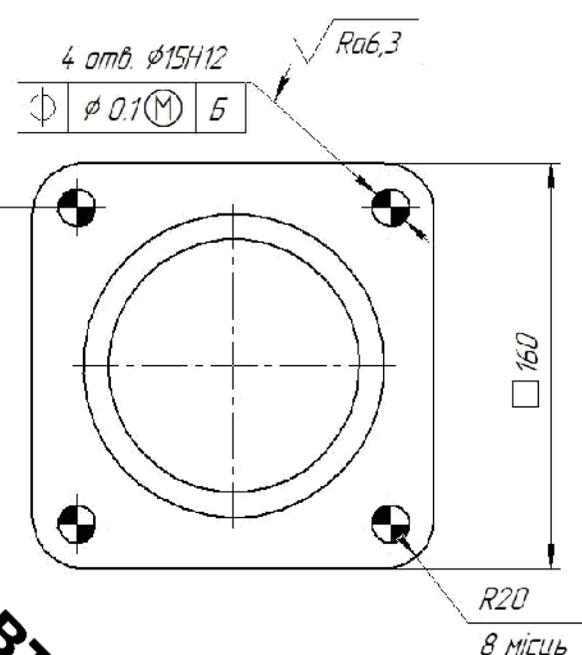
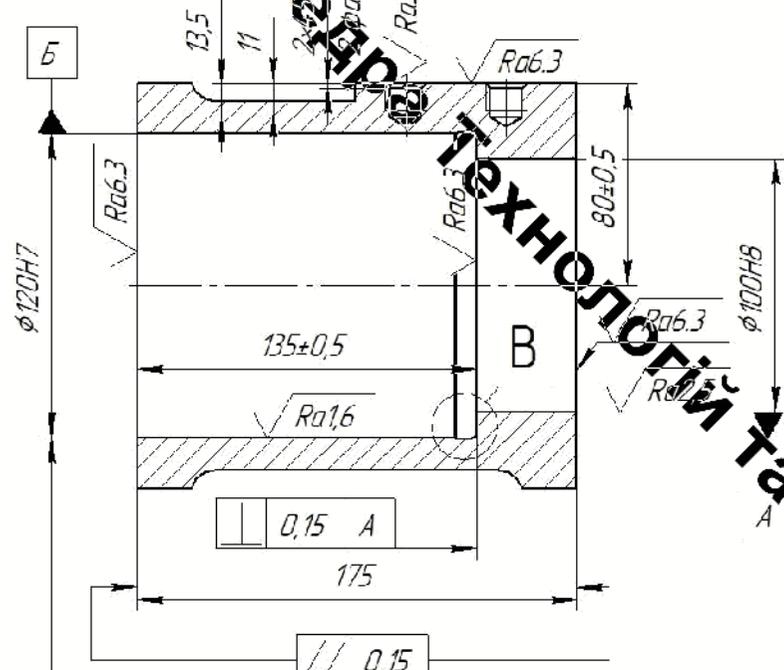
- виконати огляд відомих методів та засобів автоматизації, які застосовуються в технологічному виробництві;
- проаналізувати маршрут механічної обробки та визначити операції, які можуть бути автоматизовані;
- розробити загальну схему автоматизованого робочого місця та алгоритм роботи автоматизованого робочого місця;
- вибрати технологічне обладнання та спроектувати автоматизоване оснащення для нього;
- виконати розрахунки основних параметрів автоматизованого робочого місця;
- розробити компоновку автоматизованого робочого місця;
- провести розрахунок та аналіз економічної доцільності виготовлення деталі;

Об'єкт дослідження – автоматизоване робоче місце технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі "Корпус К-25Т".

Предмет дослідження – технологічний процес механічної обробки деталі «Корпус К-25Т».

Вид № деталі
Назва
Код
Вид № змін
Назва
Вид № змін
Назва
Вид № змін
Назва

08-64.МКР.018.00.001



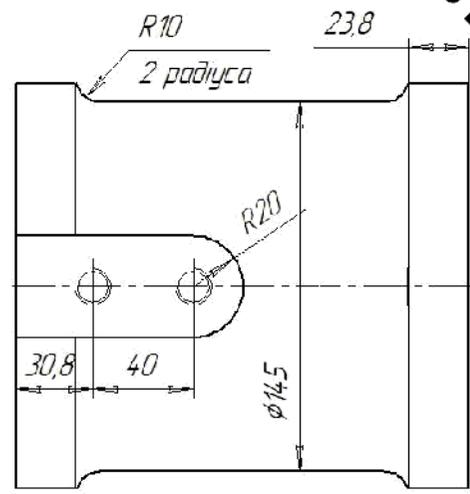
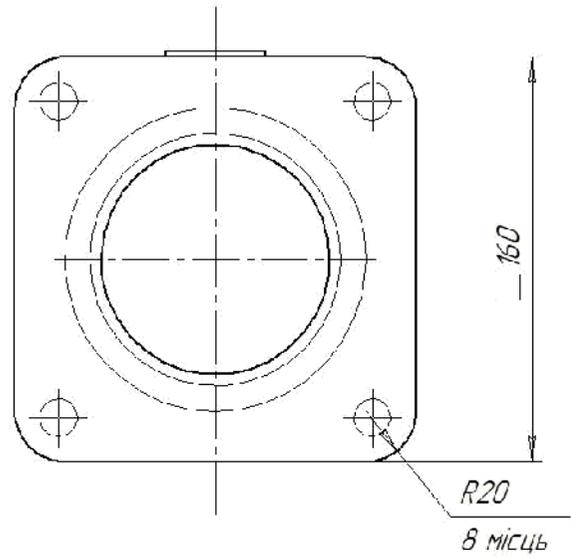
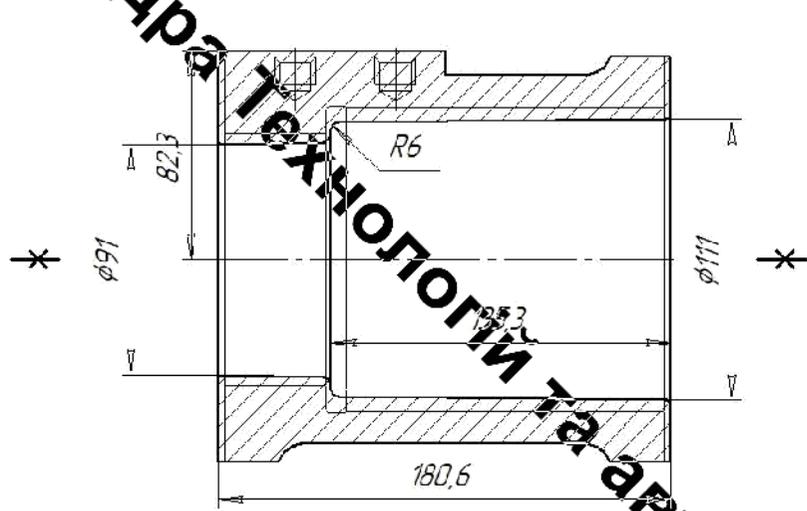
1. H14, h14, IT14/2
2. Невказані ливарні радіуси 2..5 мм.

				08-64.МКР.018.00.001		
Взм.	Лист	№ докум.	Підп.	Лист	Лист	Масштаб
Разроб.		Тимошук А.О.		01.12.05	10,42	1:2
Проб.		Вісвітський Р.О.		01.12.05		
Т.контр.					Лист	Листов 1
Ч.контр.		Герляк О.В.		01.12.05	СЧ 18 ГОСТ 14170-75	
Утв.		Козлов Л.Г.		01.12.05	ВНТУ, зр.1ПМ-24М	
				Копія		Формат А3

Корпус К-25Т
 Являє будівництво

08-64.МКР.018.00.002

✓ Ra 16 (✓)



1. Точність виливка 10-6-10-10т 3м 2,4 ГОСТ 26645-85
2. Маса 10,4±0,24-2,74-13,4 ГОСТ 26645-85
3. Невказані либарні радіуси R2...R5мм, формувальні нахили 1-3°.
4. Допускаються раковини і пустоти діаметром не більше 1мм на глибині до 1,2мм.

Період примен.	
Сторінка №	
Титул і дата	
Вид № докум.	
Розш. вид. №	
Титул і дата	
Вид № докум.	

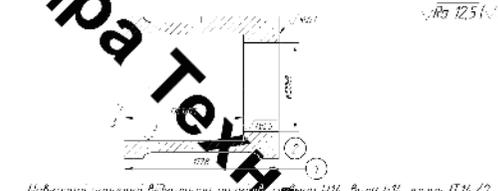
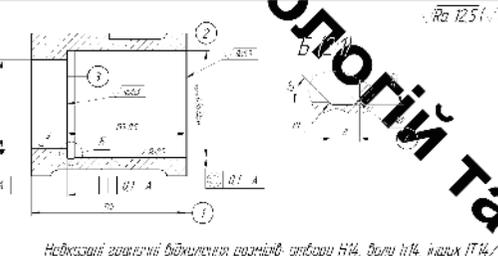
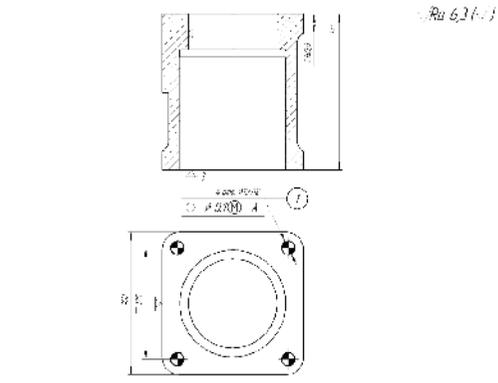
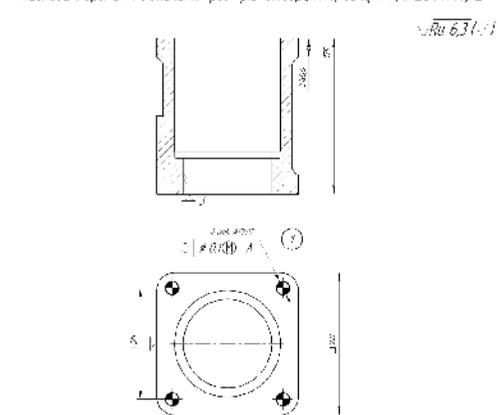
				08-64.МКР.018.00.002		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Лист	Лист	Масштаб
Разроб.		Тимошук А.О.		212.305		1:2
Проб.		Васильський Р.О.		212.305		
Т.контр.					Лист	Листов
Ч.контр.		Герляк О.В.		612.305	С418 ГОСТ 1412-70	
Утв.		Козлов Л.Г.		612.305	ВНТУ, зр.1ПМ-24М	

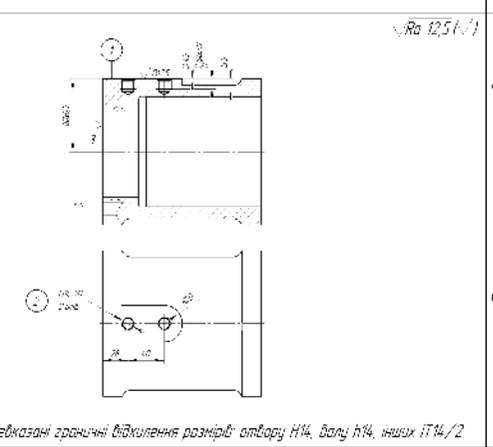
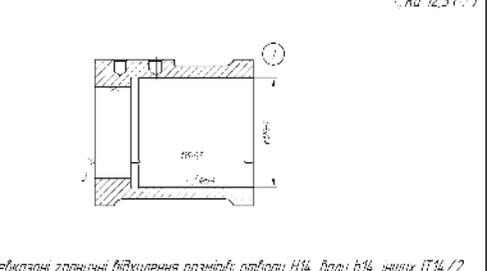
Копіював Формат А3

ТП механічної обробки деталі

Технологічний процес механічної обробки (лист 1)

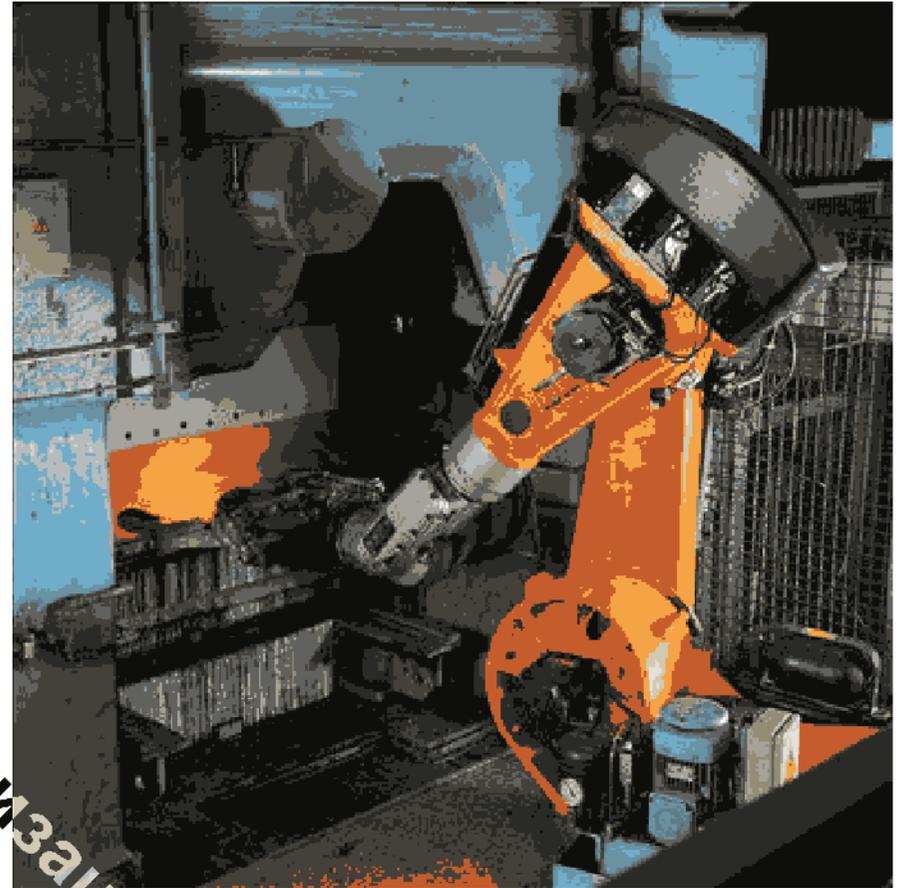
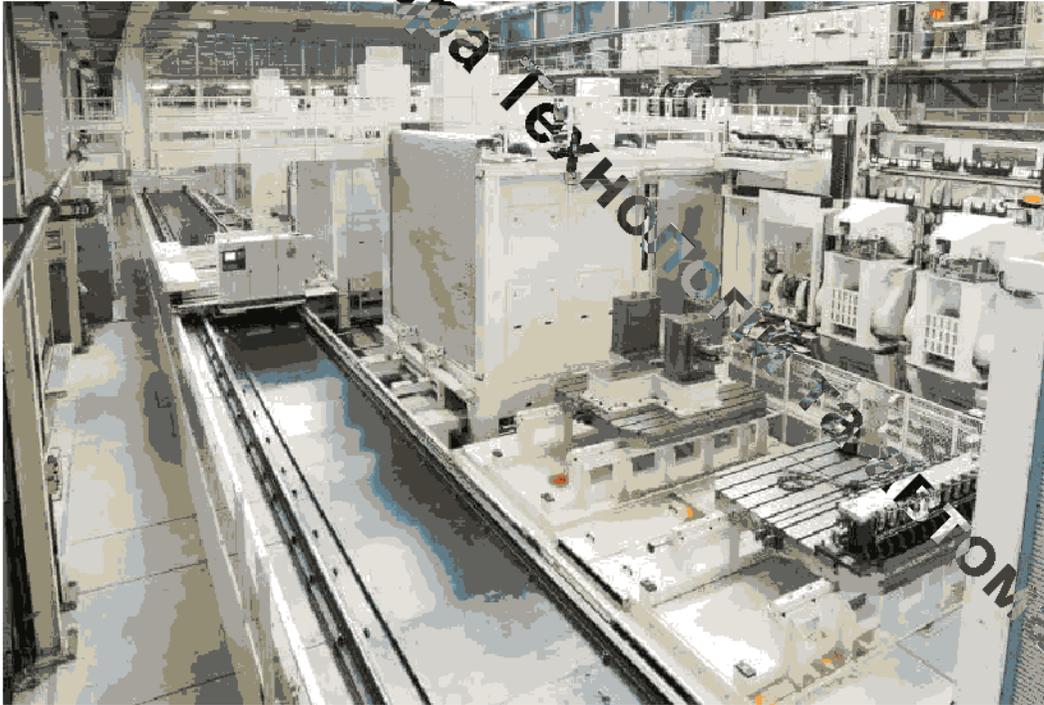
Технологічний процес механічної обробки (лист 2)

№ п/п	Назва операції: зміст переходу	Ескізи схеми устаткування	Обладнання
005	<u>Токарна з ЧПК</u> 1. Встановити деталь. 2. Точити пов. 1 однократно. 3. Розточити пов. 2 поперечною в р-р $\phi 97$. 4. Розточити пов. 2 поперечною в р-р $\phi 92,8$. 5. Розточити пов. 2 остаточно в р-р вказаний на ескзі. 6. Зняти деталь.		Токарно-револьверний верстат з ЧПК осадилової точності: H1-160
010	<u>Токарна з ЧПК</u> 1. Встановити деталь. 2. Точити пов. 1 однократно в р-р вказаний на ескзі. 3. Розточити пов. 2 поперечною в р-р $\phi 119,119$, пов. 3 однократно в р-р вказаний на ескзі. 4. Розточити канавку 4 однократно в р-р вказаний на ескзі. 5. Розточити пов. 2 поперечною в р-р $\phi 119,816$. 6. Розточити пов. 2 остаточно в р-р вказаний на ескзі. 7. Зняти деталь.		Токарно-револьверний верстат з ЧПК вР140Ф10
015	<u>Вертикально-свердильна з ЧПК</u> 1. Встановити деталь. 2. Центрувати 4 отв. 1 $\phi 4,1-4$. 3. Свердлити 4 отв. 1 в р-р вказаний на ескзі. 4. Зняти деталь.		Вертикально-свердильний верстат з ЧПК 7P135Ф2
020	<u>Вертикально-свердильна з ЧПК</u> 1. Встановити деталь. 2. Центрувати 4 отв. 1 $\phi 4,1-4$. 3. Свердлити 4 отв. 1 в р-р вказаний на ескзі. 4. Зняти деталь.		Вертикально-свердильний верстат з ЧПК 7P135Ф2

№ п/п	Назва операції: зміст переходу	Ескізи схеми устаткування	Обладнання
025	<u>Вертикально-фрезерна з ЧПК</u> 1. Встановити деталь. 2. Фрезерувати пов. 1 однократно в р-р вказаний на ескзі. 3. Центрувати 4 отв. 1 $\phi 4,1-4$. 4. Свердлити 2 отв. 1 в р-р $\phi 12,5,1-3,5$. 5. Зенкувати фаску в 2 отв. 1 в р-р вказаний на ескзі. 6. Нарізати різь в 2 отв. 1 в р-р вказаний на ескзі. 7. Зняти деталь.		Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК 6P13PФ3
030	<u>Токарна з ЧПК</u> 1. Встановити деталь. 2. Розточити пов. 1 однократно в р-р вказаний на ескзі. 3. Зняти деталь.		Токарно-револьверний верстат з ЧПК осадилової точності: H1-160

Кафедра Технологій та Автоматизації машинобудування

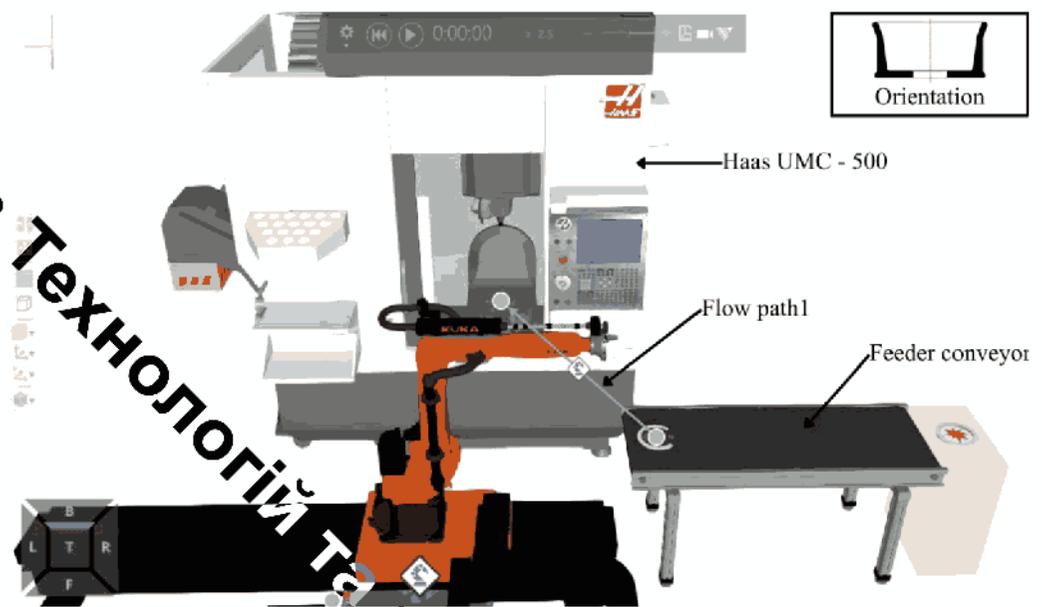
Кафедра Технологій



Автоматизації машинобудування

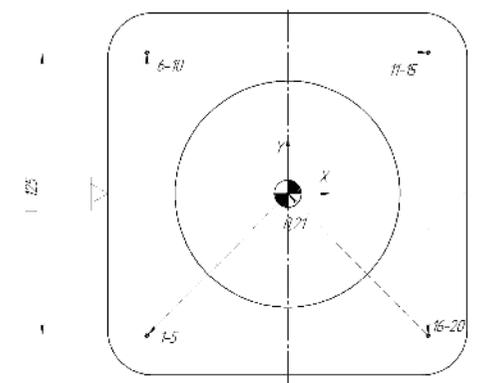
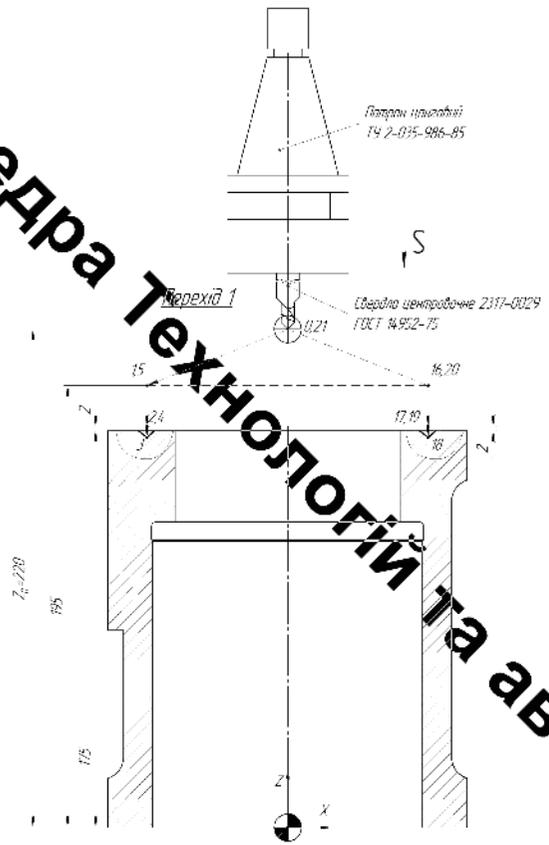
Застосування автоматизації на виробництві

Кафедра Технологій та Автоматизації машинобудування

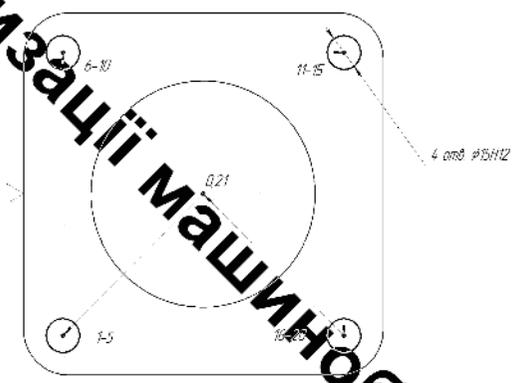
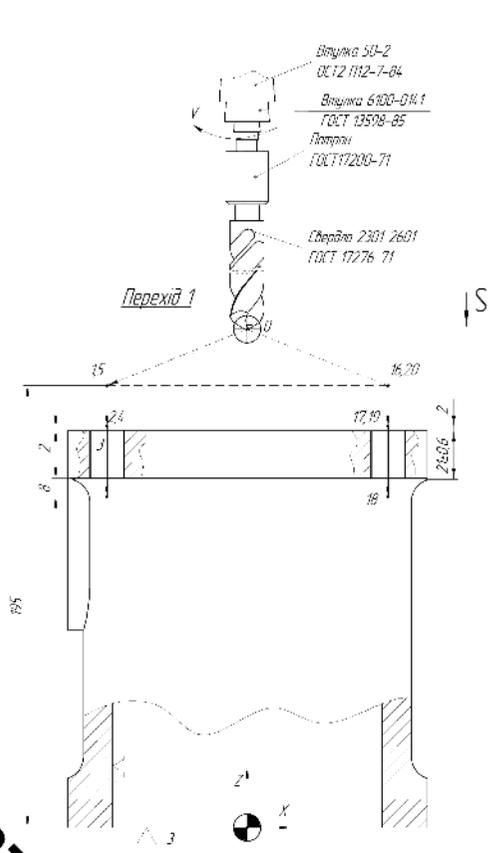


роботизований технологічний комплекс

Кафедра Технологій та Автоматизації машинобудування



Невказані граничні відхилення розмірів
отвору Н14, валу h14, інших IT14/2



Невказані граничні відхилення розмірів
отвору Н14, валу h14, інших IT14/2

015	2	Свердло 4 шт. 1	0.15	7.5	314	16.00
	1	Центроване 4 шт. 1	0.15	2.0	17.50	16.00
016	Найменування операції		2P135P2	5	1.00	1.00
	Обладнання		Обладнання	5	1.00	1.00
			Режим роботи			

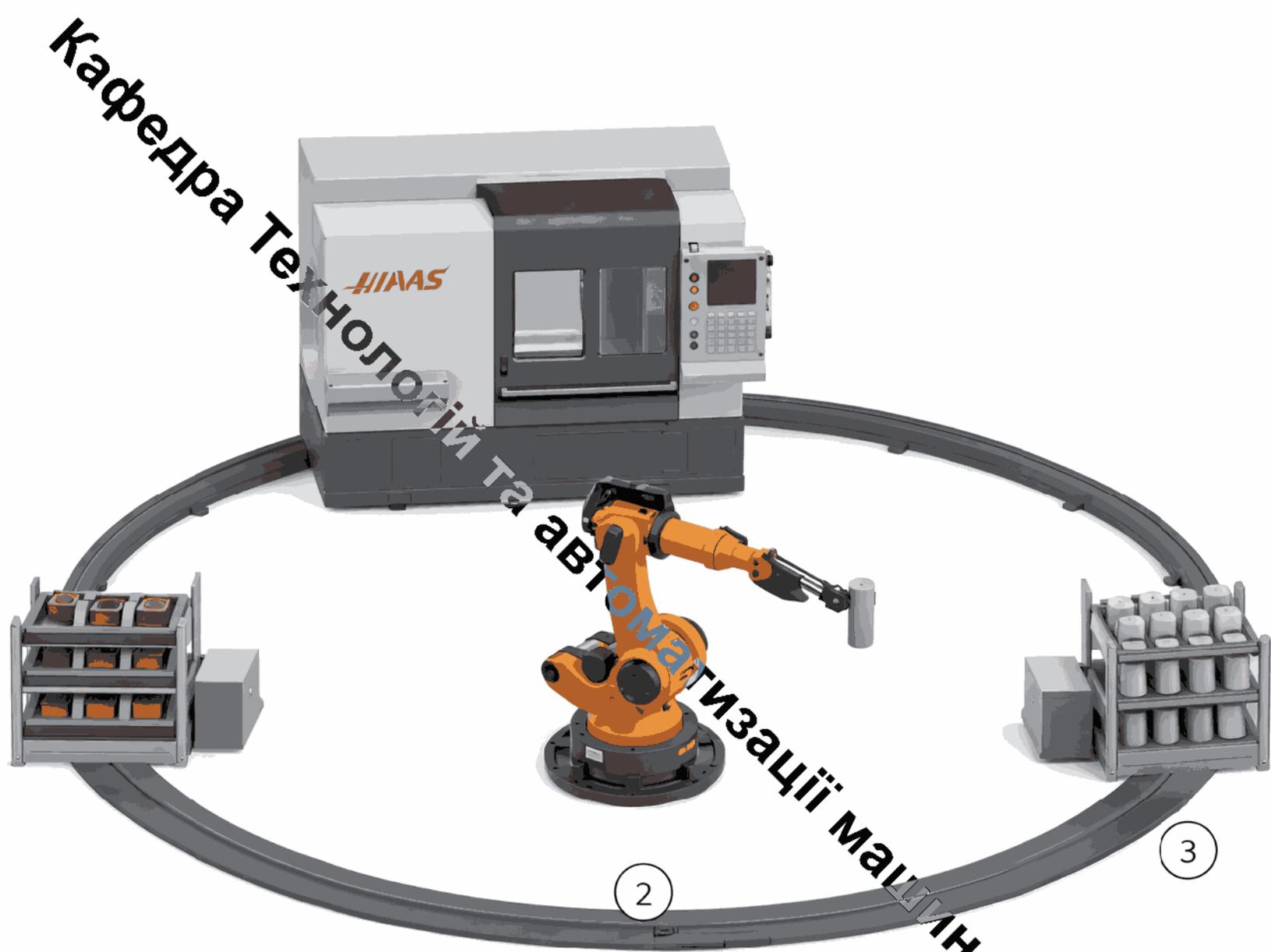


Схема автоматизованого робочого місця

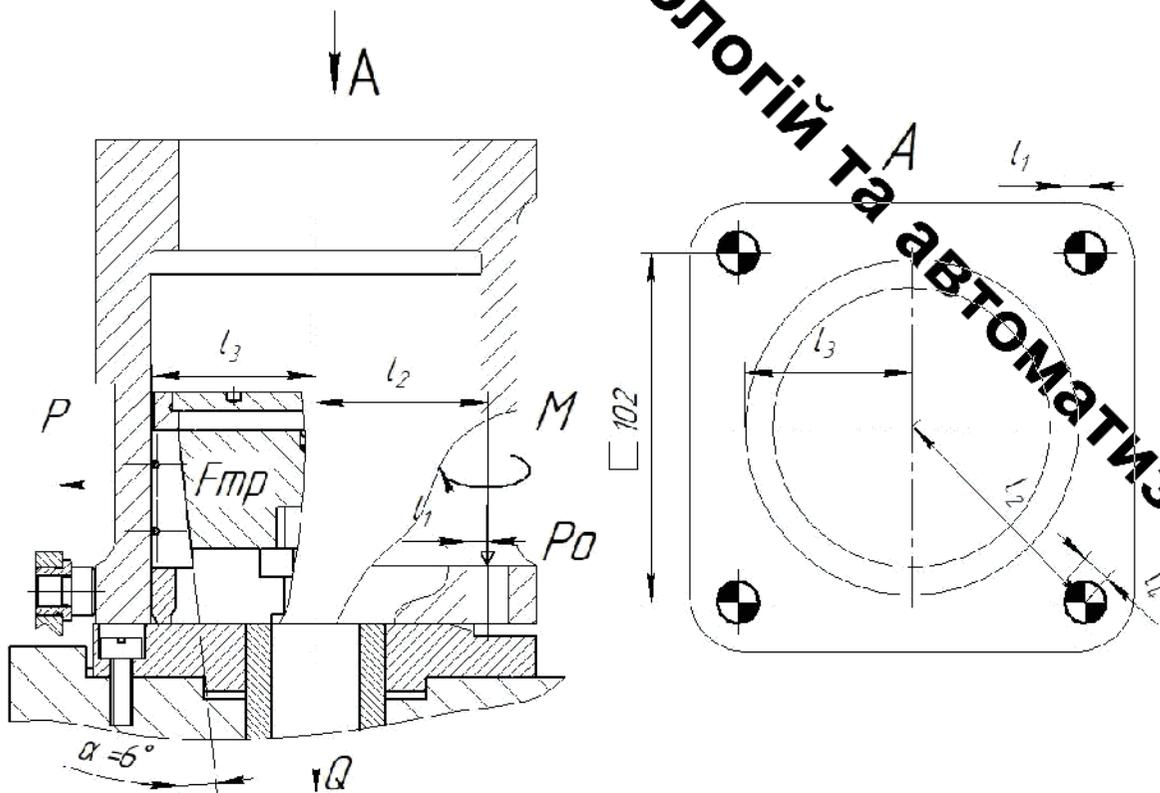
Кафедра Технологій та Автоматизації Машинобудування

Вид роботи	Технологічний елемент
Підготовка заготовки та її встановка у допоміжне обладнання	Пристрій попередньої орієнтації заготовок; операція може виконуватися оператором протягом зміни або декількох змін
Захоплення заготовки маніпулятором	Промисловий робот для автоматичного підхоплення
Розміщення заготовки на верстаті	Автоматизований маніпулятор для встановлення на обробний верстат
Використання спеціального верстатного оснащення	Спеціально розроблене оснащення для верстатної обробки
Обробка заготовки на верстаті	Верстат з адаптованим оснащенням для виконання обробки
Видалення заготовки з верстата	Робот або спеціальне оснащення для зняття оброблених деталей
Переміщення готової заготовки до складу або зони складання	Промисловий робот для транспортування оброблених деталей
Підготовка робочого місця до обробки наступної заготовки	Тактовий стіл для автоматичної заміни елементів та підготовки циклу

Загальний алгоритм роботи автоматизованого робочого місця

Кабедра Технологій та автоматизації машинобудування

Розрахункова схема визначення сил закріплення



$$M/l_1 \cdot l_2 = 2F_{mp} \cdot l_3$$

$$P_{31} = M/l_2 \cdot l_4 / (2k_m \cdot l_1 \cdot l_3)$$

$$P_{31} = 3,17 \cdot 0,0084 / (2 \cdot 0,35 \cdot 0,06 \cdot 0,0075) = 889 \text{ (H)}$$

$$P_0 \cdot l_4 = 2F_{mp} \cdot l_3$$

$$P_{32} = P_0 \cdot l_4 / (2k_m \cdot l_3)$$

$$P_{32} = 2401,13 \cdot 0,0084 / (2 \cdot 0,35 \cdot 0,06) = 480 \text{ (H)}$$

$$P_3 = 889 \cdot 2,69 = 2391 \text{ (H)}$$

$$Q = \frac{P_3}{\eta \cdot (\operatorname{tg}(\alpha + \varphi_{np}) + \operatorname{tg} \varphi_1)}$$

$$Q = \frac{2391}{0,9 \cdot (\operatorname{tg}(6+11) + \operatorname{tg} 5,5)} = 6609 \text{ (H)}$$

де Q – сила на штоці циліндра;

η – коефіцієнт корисної дії;

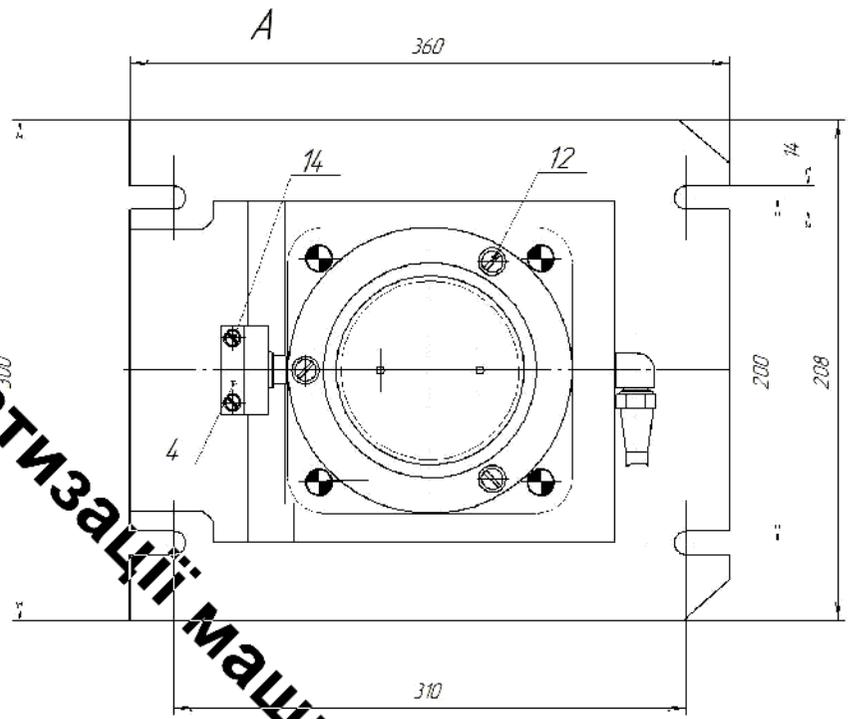
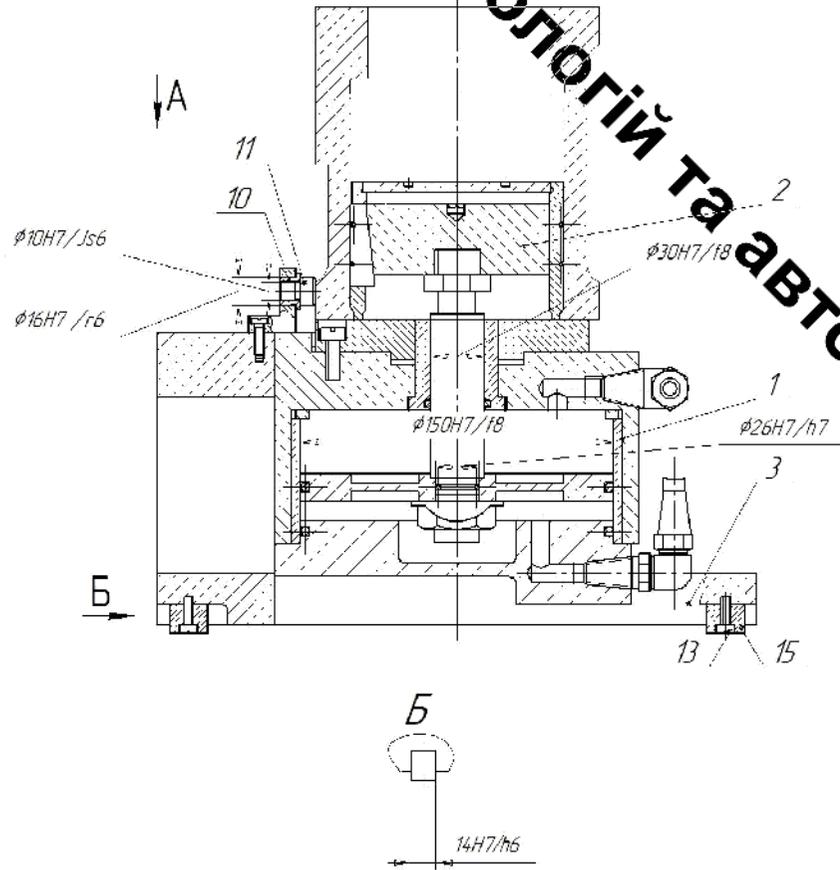
α – кут скосу клина;

φ_{np} і φ_1 – кути тертя.

Розрахунок сил закріплення

08-64.МКР.018.00.000 СК

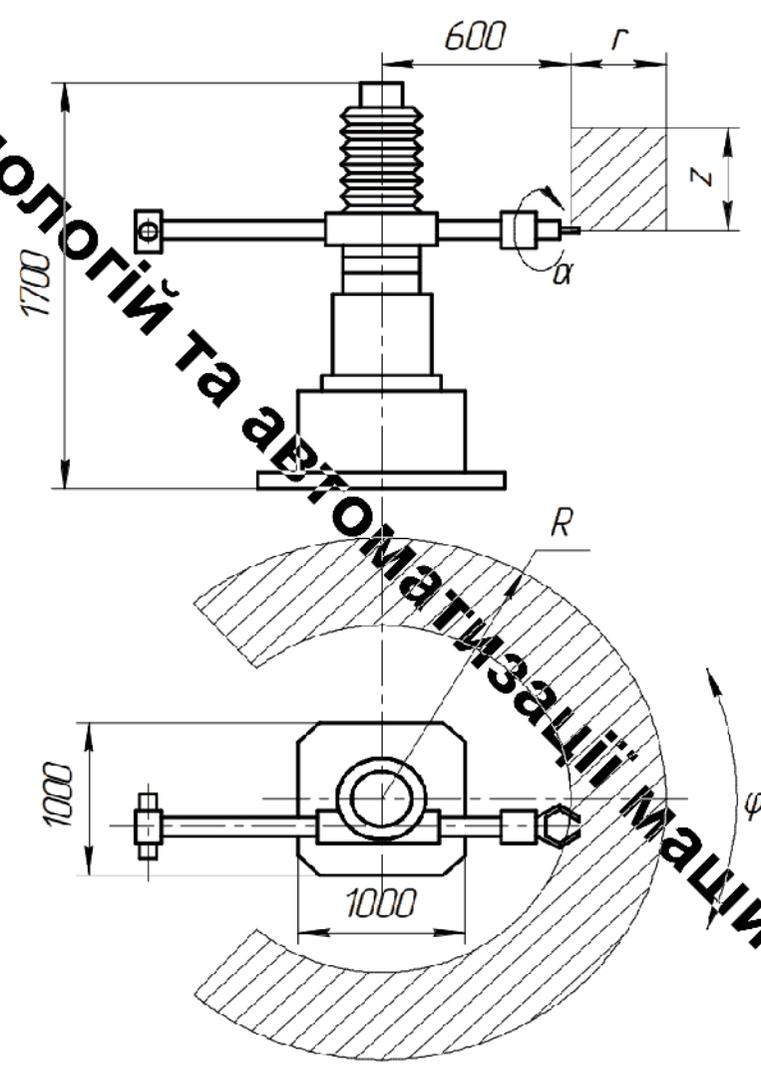
Кафедра Технологій та Автоматизації
 ЯНІБНБ
 МАШИНОБУДУВАННЯ



- 1 *Разміри для довідок
- 2 H14; h14; ±IT₇
- 3 Сила закріплення Q=6609 Н.
- 4 Тиск повітря в мережі 0,5 МПа

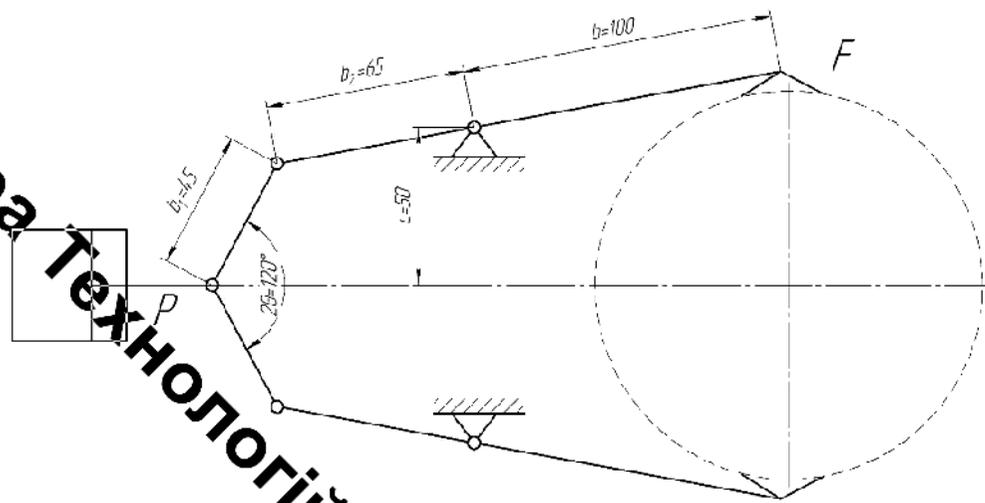
			08-64.МКР.018.00.000 СК		
			Складальне креслення		
			верстатного		
			пристосування		
Лист	Маса	Масштаб	Лист	Листов	11
			ВНТУ, гр.1ПМ-24м		

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування



Загальний вигляд робота

Кафедра Технологій та Автоматизації машинобудування



$$F = K_1 K_2 K_3 mg$$

$K_1 = 1,2$; $K_2 = 2,0$. Приймаємо $K_1 = 1,2$;

$$K_2 = 1 + A/g = 1 + 1 = 2;$$

$$K_3 = \frac{\sin \theta}{2\mu}$$

$$b \cdot F = \left[\operatorname{tg} \Theta \sqrt{1 - \left(\frac{b_1 \sin \Theta - c}{b} \right)^2} - \frac{b_1 \sin \Theta - c}{b} \right] \cdot \frac{P}{2} \cdot b_2$$

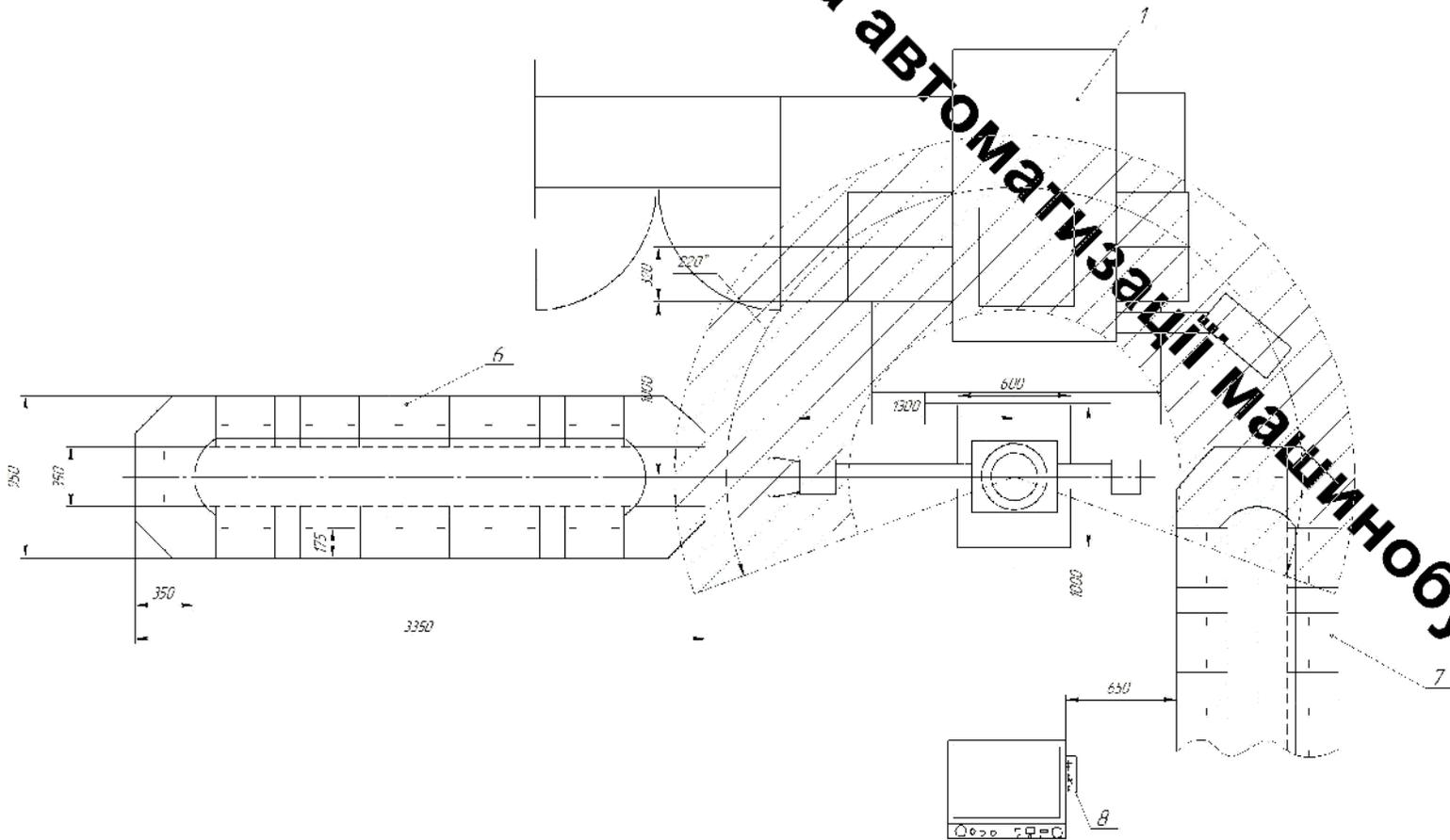
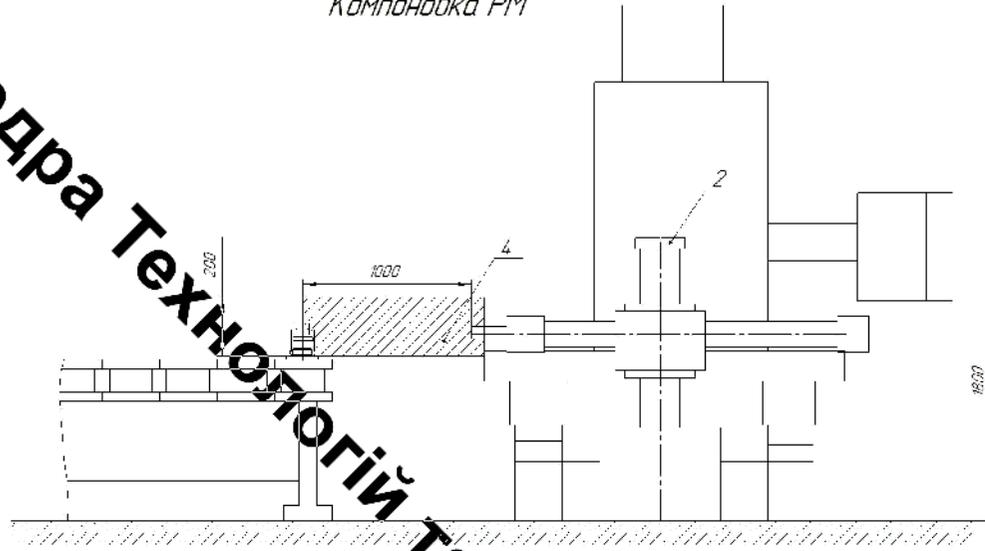
$$P = \frac{2 \cdot b \cdot F}{\left[\operatorname{tg} \Theta \sqrt{1 - \left(\frac{b_1 \sin \Theta - c}{b} \right)^2} - \frac{b_1 \sin \Theta - c}{b} \right] \cdot b_2}$$

$$P = \frac{2 \cdot 0,1 \cdot 948}{\left[\operatorname{tg} 60 \sqrt{1 - \left(\frac{0,045 \sin 60 - 0,05}{0,1} \right)^2} - \frac{0,045 \sin 60 - 0,05}{0,1} \right] \cdot 0,065} = 16050(N).$$

Схема захватного пристрою

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

Компонавка РМ



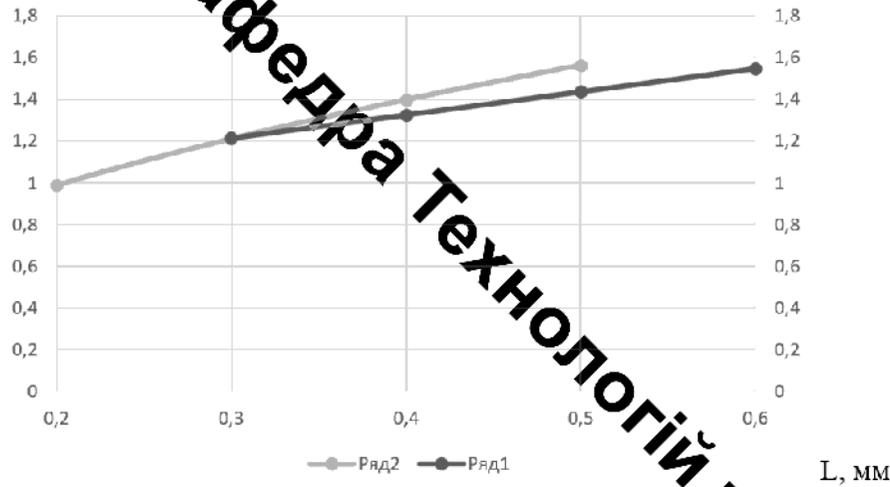
- 1 Верстат моделі 2P135Ф2
- 2 ПР моделі Talbot N-25
- 3 Тактовий стій (1 350)
- 4 Рідинний злив ПР

Технічні характеристики

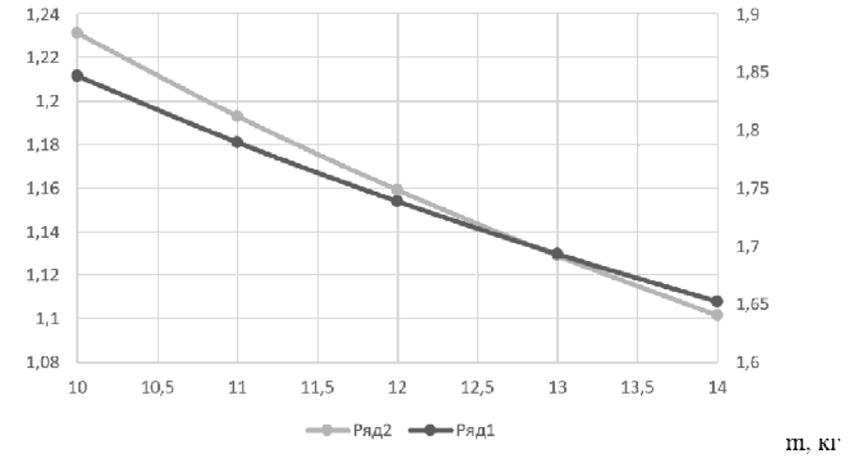
1 Пристрій керування ПР	позиційний
2 Позиції позиціонування, мм	±1,5
3 Винищувальний момент ПР, кг	25
4 Циклова продуктивність Qц	0,005
5 Коефіцієнт відносного завантаження Kз	0,56
6 Режим роботи ПР	легкий

Кафедра Технологій та Автоматизації машинобудування

V, м/с



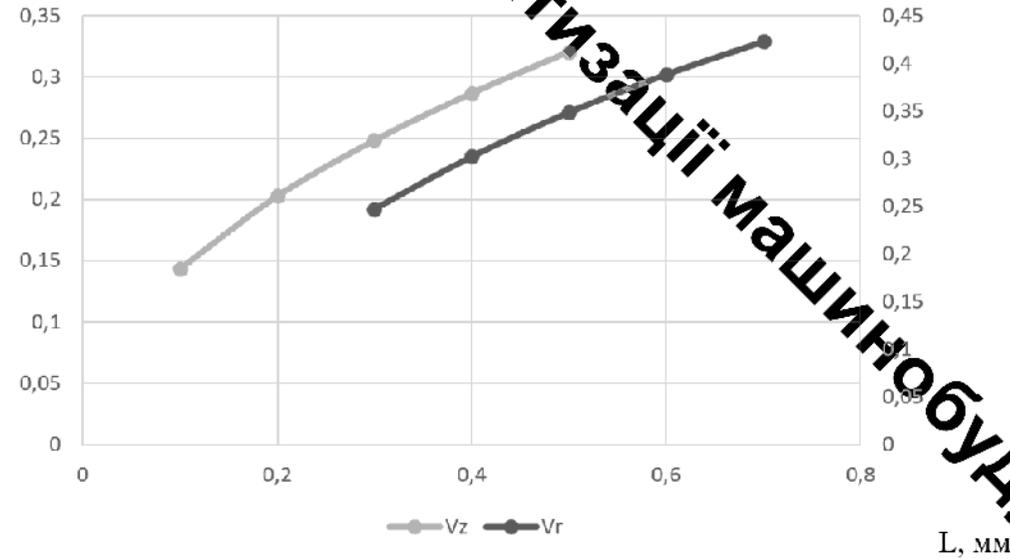
V, м/с



Залежність швидкості переміщення по осі X та Z від максимального вильоту

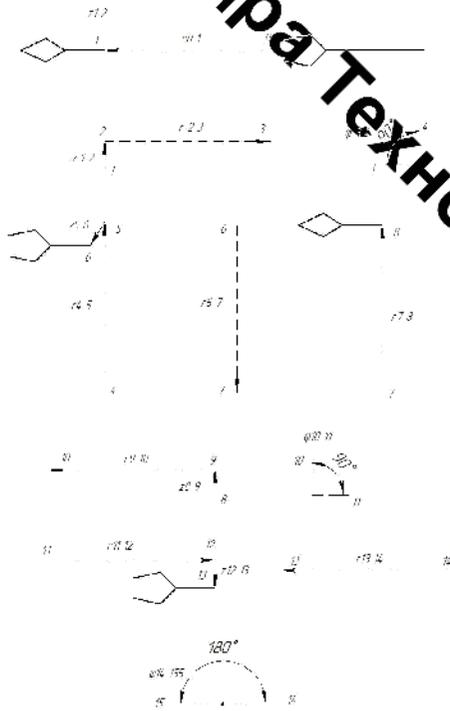
Залежність швидкості переміщення по осі X та Z від маси

t, м/с



Залежність часу переміщення по осям X та Z від максимального вильоту

Циклограма функціонування РМ



Алгоритм роботи РМ

Вид руку	Величина переміщення, мм(град)	Швидкість переміщення, м/с, °/с	Час, с		
РМ	Переміщення руки РМ вперед	1000	0,5	2,0	
	Затиск заготовки	-	-	0,2	
	Переміщення руки РМ вгору	200	0,5	1,0	
	Переміщення руки РМ назад	1000	0,5	2,0	
	Поворот руки РМ за годинниковою стрілкою	90°	24	3,75	
	Сума			9,45	
	Установка заготовки на верстат	Переміщення руки РМ вперед	1000	0,5	2,0
		Переміщення руки РМ вниз	200	0,5	1,0
		Розтиск заготовки	-	-	0,2
		Переміщення руки РМ назад	1000	0,5	2,0
Зимик заготовки на вертикальному пристосуванні			5,2	9,6	
Верстат	Обробка заготовки			124,2	
	Розтискання заготовки на вертикальному пристосуванні			9,6	
Сума			143,4		
РМ	Зняття заготовки з верстата	Переміщення руки РМ вперед	1000	0,5	2,0
		Затиск заготовки	-	-	0,2
		Переміщення руки РМ вгору	200	0,5	1,0
		Переміщення руки РМ вниз	1000	0,5	2,0
	Сума			5,2	
		Поворот руки РМ за годинниковою стрілкою	90°	0,5	3,75
	Переміщення заготовки до місця гнати	Переміщення руки РМ вперед	1000	0,5	2,0
		Переміщення руки РМ вниз	200	0,5	1,0
	Гнати заготовки	Розтиск заготовки	-	-	0,2
	Поворот заготовки	Переміщення руки РМ назад	1000	0,5	2,0
Поворот руки РМ за годинниковою стрілкою	180°	0,5	7,5		
Сума			16,45		
Тактовий стрі	Переміщення на плані виконання			2,5	
Сума				189,2	

Облаштування	Операції	Час, с												
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	
РМ	Затиск заготовки	■	■											
	Встановлення заготовки на верстат			■										
	Поворот заготовки з верстата													
	Переміщення заготовки до місця гнати													
Верстат	Поворот заготовки в пристосуванні													
	Обробка заготовки													
Інструмент	Поворот на плані виконання													
T _ц =189,2														

ВИСНОВКИ

1. На підставі аналізу типових засобів автоматизації встановлено, що основними напрямками автоматизації виробництва є використання промислових роботів і допоміжного обладнання у складі автоматизованих комплексів з верстатами з числовим програмним керуванням.
2. Автоматизовані та роботизовані елементи, як правило, призначені для виконання допоміжних операцій у технологічному процесі.
3. У межах автоматизованого робочого місця промислові роботи реалізують ключові завдання автоматизації, зокрема забезпечують механізацію та автоматизацію операцій завантаження і розвантаження заготовок та готових виробів.
4. Проведено аналіз технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі «Корпус К-25Т».
5. На підставі оцінки доцільності впровадження автоматизації обрана операція 015, оскільки автоматизація цієї операції дозволяє значно скоротити допоміжний час при обробці виробу.
6. Встановлено комплекс операцій та відповідного обладнання для виконання технологічних процесів на автоматизованому робочому місці.
7. Сформовано покроковий алгоритм роботи автоматизованого робочого місця для обробки деталі «Корпус К-25Т», що охоплює підготовку, обробку та переміщення заготовки.
8. Визначено промислового робота у робочому місці, як засобу для захоплення, установки та переміщення заготовок, що забезпечує підвищення продуктивності та точності процесу.
9. Проведено аналіз особливостей установки деталі на верстаті за умови використання промислового робота.
10. Розроблено верстатне пристосування для обробки деталі «Корпус К-25Т» на вертикально-свердлильному верстаті з ЧПК.
11. Виконано розрахунок складових похибки установки заготовки на пристосуванні. Точність позиціонування складає 17,26 мкм, що забезпечує дотримання всіх необхідних допусків операції.
12. Обрано промисловий робот моделі Taibot N-25 для інтеграції в автоматизоване робоче місце.
13. Визначено оптимальну схему захватного пристрою для роботи з деталлю «Корпус К-25Т».
14. Розраховані часові витрати та проаналізовано вплив швидкісних характеристик робота на продуктивність, враховуючи особливості маніпулятора та масу об'єкта.
15. З урахуванням масово-інерційних характеристик робота та алгоритму його роботи розрахунок часових витрат на виготовлення виробу стає більш точним, що дозволяє оцінити загальну продуктивність обробки.
16. Визначено параметри роботи автоматизованого робочого місця: загальний час циклу складає 182,2 с.
17. При оцінці економічної ефективності наукового дослідження було визначено комерційний потенціал дослідження та розраховано кошторис капітальних витрат на модернізацію дільниці механічної обробки, а також обчислено економічну ефективність інноваційного рішення.
18. Комерційний потенціал дослідження за результатами опитування експертів було визначено як вище середнього. Розраховані показники абсолютної та відносної ефективності свідчать, що даний інвестиційний проект може зацікавити інвестора, оскільки рівень доходності даного проекту перевищує депозитні доходи і є менш ризикованим. Термін окупності розробленого проекту складає 3,8 років.

ДОДАТОК Б

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування
СПЕЦИФІКАЦІЯ

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	к	Прим.
				<u>Документація</u>		
A1			08-64.МКР.018.01.000 СК	Складальне креслення		
				<u>Складальні одиниці</u>		
A2	1		08-64.МКР.018.02.000 СК	Гідроциліндр		
A2	2		08-64.МКР.018.03.000 СК	Затискний пристрій		
				<u>Деталі</u>		
		3	08-64.МКР.018.01.001	Корпус		
		4	08-64.МКР.018.01.002	Упор		
				<u>Стандартні вироби</u>		
		10		Втулка 7030-0125 ГОСТ 12214-66	1	
		11		Опора 7034-0276 ГОСТ 13440-68	1	
		12		Гвинт М8 х 25 ГОСТ 1491-80	3	
		13		Гвинт М6 х 15 ГОСТ 1491-80	2	
		14		Винт М5 х 18 ГОСТ 1491-80	2	
		15		Шпонка 7031-0857 ГОСТ 14737-69	2	

				08-64.МКР.018.00.000 СП				
зм.	Лист	№ док-м.	Підп.	Дата				
Разроб.	Тимощук А.О.			12.12.2025	складальне креслення	Лист.	Лист	Листів
Проб.	Лозінський Д.О.			12.12.2025		4	1	1
Н.контр.	Сердюк О.В.			16.12.2025	верстатного пристосування	ВНТУ, гр.1ПМ-24м		
Утв.	Козлов Л.Г.			16.12.2025				

Додаток В

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Автоматизація робочого місця технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі “ Корпус К-25Т”

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота
(бакалаврська кваліфікаційна робота / магістерська кваліфікаційна робота)

Розділ кафедра ТАМ, ФМТ, гр. 1ПМ-24м
(кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism (КПІ) 27.46 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

- Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту
- У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.
- У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

Ольга СЕРДЮК, доцент кафедри ТАМ, гарант ОПП
(ім'я, прізвище, посада) _____ (підпис)

_____ (прізвище, ініціали, посада) _____ (підпис)

Особа, відповідальна за перевірку _____
(підпис)

Ольга СЕРДЮК
(ім'я, прізвище)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник _____
(підпис)

Дмитро ЛОЗІНСЬКИЙ
(ім'я, прізвище, посада)

Здобувач _____
(підпис)

Андрій ТИМОЩУК
(ім'я, прізвище)