

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 "ФЛАНЕЦЬ Ф-25К"**

08-64. МКР.006.00.000.ПЗ

Виконав: студент 2-го курсу, групи 1ПМ-24м  
спеціальності 131 – Прикладна механіка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

  
Юрій КРАЄВСЬКИЙ

(прізвище та ініціали)

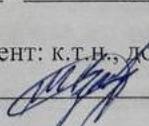
Керівний: к.т.н., доцент каф. ТАМ

  
Дмитро ЛОЗІНСЬКИЙ

(прізвище та ініціали)

« 24 » 10 2025 р.

Опонент: к.т.н., доц. каф. АТМ

  
Микола МИТКО

(прізвище та ініціали)

« 16 » 12 2025 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ТАМ

  
д.т.н., проф. Козлов Л.Г.

(прізвище та ініціали)

« 16 » 12 2025 р.

Вінниця ВНТУ - 2025 рік

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.

06.10 2025 року

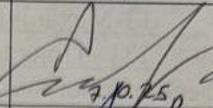
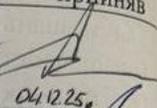
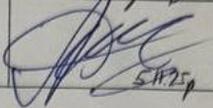
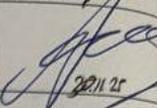
## **ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Краєвському Юрію Олеговичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи. Автоматизація робочого місця технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі “Фланець Ф-25К”  
керівник роботи Лозінський Дмитро Олександрович, к.т.н., доцент  
затверджені наказом вищого навчального закладу від 24.09.2025 року № 313
2. Строк подання студентом роботи 18 грудня 2025 року
3. Вихідні дані до роботи: креслення деталі “Фланець Ф-25К”, маршрут механічної обробки заготовки деталі “Фланець Ф-25К”, тип виробництва серійний
4. Зміст текстової частини:  
1 Огляд методів та засобів автоматизації виробництв. 2 Розробка схеми автоматизованого робочого місця механічної обробки деталі Фланець Ф-25К на фрезерній операції з ЧПК. 3 Алгоритм роботи автоматизованого робочого місця механічної обробки деталі Фланець Ф-25К на фрезерній операції з ЧПК. 4 Автоматизація елементів виробництва. 5 Економічна частина.
5. Перелік ілюстративного матеріалу  
мета та задачі роботи; креслення деталі, маршрут механічної обробки деталі Фланець Ф-25К, 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	 7.10.25р	 04.12.25р
Економічна частина	К.е.н., проф. Олександр ЛЕСЬКО	 5.11.25р	 20.11.25р

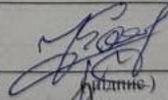
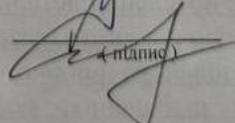
7. Дата видачі завдання 7 жовтня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	П. м.
1	Визначення об'єкту та предмету дослідження	25.10.2025р	bn
2	Аналіз відомих рішень, постановка задач	05.10.2025р	bn
3	Техніко-економічне обґрунтування методів досліджень	30.10.2025р	bn
4	Розв'язання поставлених задач	30.11.2025р	bn
5	Формулювання висновків по роботі, наукової новизни, практичної цінності результатів	30.11.2025р	bn
6	Виконання розділу «Економічна частина»	20.11.2025р	bn
7	Перевірка роботи на плагіат	04.12.2025р	bn
8	Попередній захист МКР	04.12.2025р	bn
9	Нормоконтроль МКР	16.12.2025р	bn
10	Рецензування МКР	16.12.2025р	bn
11	Захист МКР	22.12.2025р	bn

Студент

Керівник роботи

  
(підпис)  
  
(підпис)

Юрій КРАЄВСЬКИЙ

Дмитро ЛОЗІНСЬКИЙ

## АНОТАЦІЯ

Краєвський Ю.О. Автоматизація робочого місця технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі “Фланець Ф-25К”. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 131 – прикладна механіка. Вінниця ВНТУ, 2025, 97с.

На укр. мові. Бібліограф.: 28 назв; рис. 22; табл. 14.

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

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 пристосування 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, фланець, час роботи.

## ABSTRACT

Kraievskiy Yu.O. Automation of the workplace for the technological process of mechanical machining of the "Flange F-25K" workpiece. Master's qualification thesis on specialty 131 - applied mechanics. Vinnytsia VNTU, 2025, 97 p.

In Ukrainian speech Bibliography: 28 titles; Fig. 22; table 14.

The master's qualification thesis presents materials devoted to the development of an automated workplace for the technological process of machining the "Body" 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, flange, 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.....	13
2 РОЗРОБКА СХЕМИ АВТОМАТИВАНОГО РОБОЧОГО МІСЦЯ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ ФЛАНЕЦЬ Ф-25К НА ФРЕЗЕРНІЙ ОПЕРАЦІЇ З ЧПК.....	15
2.1 Аналіз технологічного процесу виготовлення деталі та конструктивних особливостей виробу.....	15
2.2 Принципова схема автоматизованого робочого місця.....	15
2.3 Висновки до розділу.....	16
3 АЛГОРИТМ РОБОТИ АВТОМАТИЗОВАНОГО РОБОЧОГО МІСЦЯ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ ФЛАНЕЦЬ Ф-25К НА ФРЕЗЕРНІЙ ОПЕРАЦІЇ З ЧПК.....	17
3.1 Алгоритм роботи автоматизованого робочого місця механічної обробки деталі Фланець Ф-25К на фрезерній операції з ЧПК.....	17
3.2 Висновки до розділу.....	19
4 АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕЛЕМЕНТІВ ВИРОБНИЦТВА.....	20
4.1 Вибір основного обладнання.....	20
4.2 Розробка компонування верстатного пристосування.....	22
4.3 Вибір промислового робота (ПР) для АРМ.....	31
4.4 Проектування (вибір) захватного пристрою.....	33
4.5 Аналіз точності позиціювання деталі.....	36
4.6 Побудова та розрахунок траєкторії руху елементів ПР.....	37
4.7 Вибір допоміжного устаткування для АРМ.....	39
4.8 Аналіз можливих варіантів компоновок АРМ.....	40
4.9 Розрахунок швидкостей переміщення заготовки.....	41

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

	5
4.10 Розробка циклограми функціонування АРМ.....	43
4.11 Визначення основних показників АРМ.....	47
4.12 Висновки до розділу.....	49
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	50
5.1 Проведення наукового аудиту науково-дослідної роботи.....	50
5.2 Оцінювання комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки.....	52
5.3 Прогноз попиту на інноваційне рішення.....	55
5.4 Вибір каналів збуту та післяпродажного обслуговування.....	55
5.5 Виявлення основних конкурентів.....	55
5.6 Обрання методу ціноутворення.....	56
5.7 Оцінка рівня якості інноваційного рішення.....	57
5.8 Оцінка конкурентоспроможності інноваційного рішення.....	59
5.9 Прогнозування витрат на виконання роботи.....	60
5.10 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки.....	66
5.11 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності.....	68
5.12 Висновки до розділу.....	71
Висновки.....	72
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	74
ДОДАТКИ.....	78
Додаток А. Ілюстративна частина.....	79
Додаток Б. Специфікація.....	95
Додаток В. Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень.....	97

Кафедра Технологій та Автоматизації Машинобудування

## ВСТУП

Розвиток виробництва та підвищення його ефективності є запорукою прогресу сучасної країни. Саме тому удосконалення технологічного оснащення та впровадження сучасних прогресивних технологій на підприємствах є надзвичайно актуальним завданням.

Для серійного виробництва особливо важливою є можливість виготовляти різноманітні замовлення та оперативно переналагоджувати обладнання на випуск типової продукції. Застосування автоматизації значною мірою дозволяє розв'язати ці завдання, забезпечуючи гнучкість, стабільність процесів та підвищення продуктивності. [1, 2].

### Актуальність теми.

Ось відредагований, стилістично узгоджений і більш науково сформульований варіант тексту:

Зі стрімким розвитком технологій виробництва «слабкою ланкою» у виробничому процесі все частіше виступає людський фактор. Це особливо проявляється під час виконання монотонних операцій або робіт в ускладнених умовах. Застосування автоматизованих засобів у виробництві дає змогу підвищити продуктивність, забезпечити стабільно високі темпи виготовлення продукції, а також скоротити витрати часу на виконання окремих операцій.

Питанням автоматизації виробництва та перспективам її розвитку присвячені роботи Козлова Л. Г., Муляра Ю. І. У працях Павленка І. І., Мажари Б. А. та інших наведені приклади використання промислових роботів для автоматизації процесів виготовлення виробів [1–5, 7].

Використання зазначених підходів є прогресивним і високотехнологічним способом удосконалення виробничих процесів, а їх подальше дослідження та розвиток залишаються актуальною науково-практичною задачею.

**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» (2024-2028 рр.).

**Метою роботи** є автоматизація робочого місця технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі "Фланець Ф-25К".

виконати огляд сучасних методів та засобів автоматизації, що застосовуються в технологічному виробництві;

проаналізувати маршрут механічної обробки заготовки та визначити операції, які доцільно автоматизувати;

розробити загальну структуру автоматизованого робочого місця та побудувати алгоритм його функціонування;

вибрати технологічне обладнання і спроектувати для нього автоматизоване пристосування;

виконати розрахунки основних параметрів автоматизованого робочого місця та дослідити їх вплив на ефективність роботи;

розробити компоновку автоматизованого робочого місця, забезпечивши раціональне розміщення обладнання;

провести розрахунок та аналіз економічної доцільності впровадження автоматизованої обробки деталі;

**Об'єкт дослідження** – автоматизоване робоче місце технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі "Фланець Ф-25К".

**Предмет дослідження** – технологічний процес механічної обробки деталі «Фланець Ф-25К».

**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 "Фланець Ф-25К" 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 фрезерної операції з ЧПК..
2. Розроблено компоновку автоматизованого робочого місця технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі "Фланець Ф-25К".
3. Розраховано часові витрати та побудовано циклограму функціонування автоматизованого робочого місця технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі "Фланець Ф-25К".
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 – тезах доповідей конференцій [26].

# 1 ОГЛЯД МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВ

## 1.1 Огляд існуючих методів та засобів автоматизації виробництва

Сучасне промислове виробництво не можливо уявити без застосування автоматизованих чи механізованих елементів (рис. 1.1). [1- 3].

Застосування елементів автоматизації дозволяє забезпечити ряд переваг:

- зменшення впливу людського фактору;
- зменшення кількості браку;
- покращення стабільності якості та темпів випуску продукції;
- можливість працювати в декілька змін.

Автоматизація та автоматизовані компоненти на виробництві можуть вирішувати різнопланові задачі. Останнім часом все більшого поширення набуває застосування на виробництві роботизованих елементів.

Промислові роботи в технологічних комплексах можуть виконувати подачу заготовок та забезпечувати обробку заготовок в автоматичному режимі (рис. 1.1).

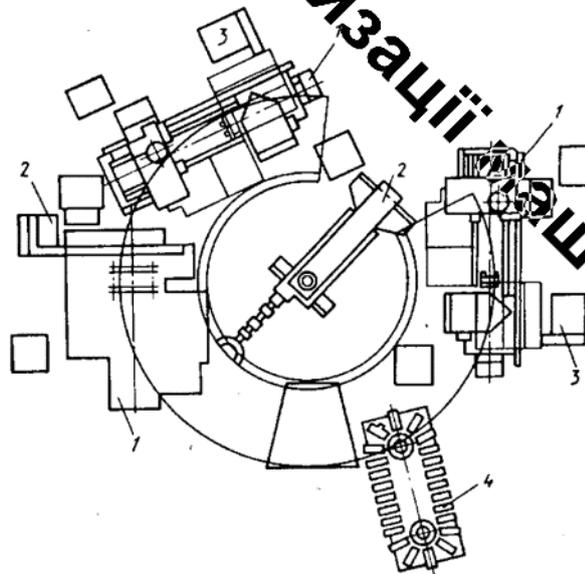


Рисунок 1.1 – Автоматизований технологічний комплекс для механічної обробки

Технологічний комплекс з використанням промислових роботів являє собою автоматизовану систему механічної обробки, в якій функції завантаження та вивантаження деталей виконуються без участі оператора. Досліджуване автоматизоване робоче місце (рис. 1.2) реалізоване на основі токарного верстата з числовим програмним керуванням 16K20Ф3 та промислового робота РБ-242, оснащеного двома незалежними захватними пристроями [5,6].

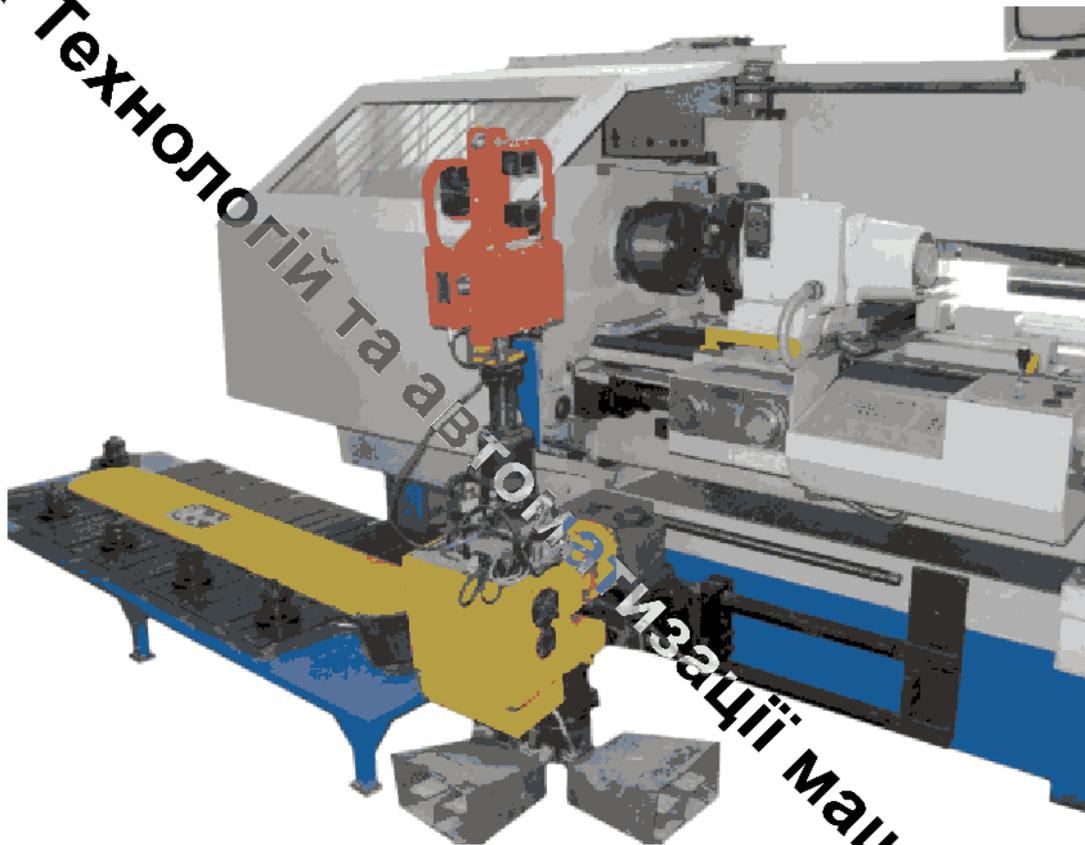


Рисунок 1.2 - АРМ на базі токарного верстату 16K20Ф3

Робот інтегрований безпосередньо в конструкцію верстата та закріплений на спеціальних напрямних, що забезпечує його точне позиціонування під час подачі заготовок у зону обробки та встановлення їх у патрон. Конструктивно-кінематична схема маніпулятора передбачає виконання просторових переміщень за рахунок поєднання двох обертових ступенів руху та одного поступального переміщення вздовж власної осі.

Використання двох захватів дозволяє організувати паралельність технологічних операцій: у той час як один захват подає нову заготовку, інший здійснює утримання та видалення вже обробленої деталі. Фіксація заготовок у процесі обробки виконується за допомогою трикулачкового патрона. Організація подачі деталей здійснюється через тактовий стіл, на якому заготовки попередньо орієнтуються та розміщуються у необхідному положенні.

В роботі [7] запропоновано токарний автоматизований технологічний комплекс (рис. 1.3), який призначений для обробки деталей, які є тілами обертання. АРМ складається з токарного оброблюваного центру моделі 1П732Ф4АМ. Верстат оснащений багаторізевою головкою, яка розміщена похилій станині, що полегшує автоматизоване відведення стружки та ЗОРу.

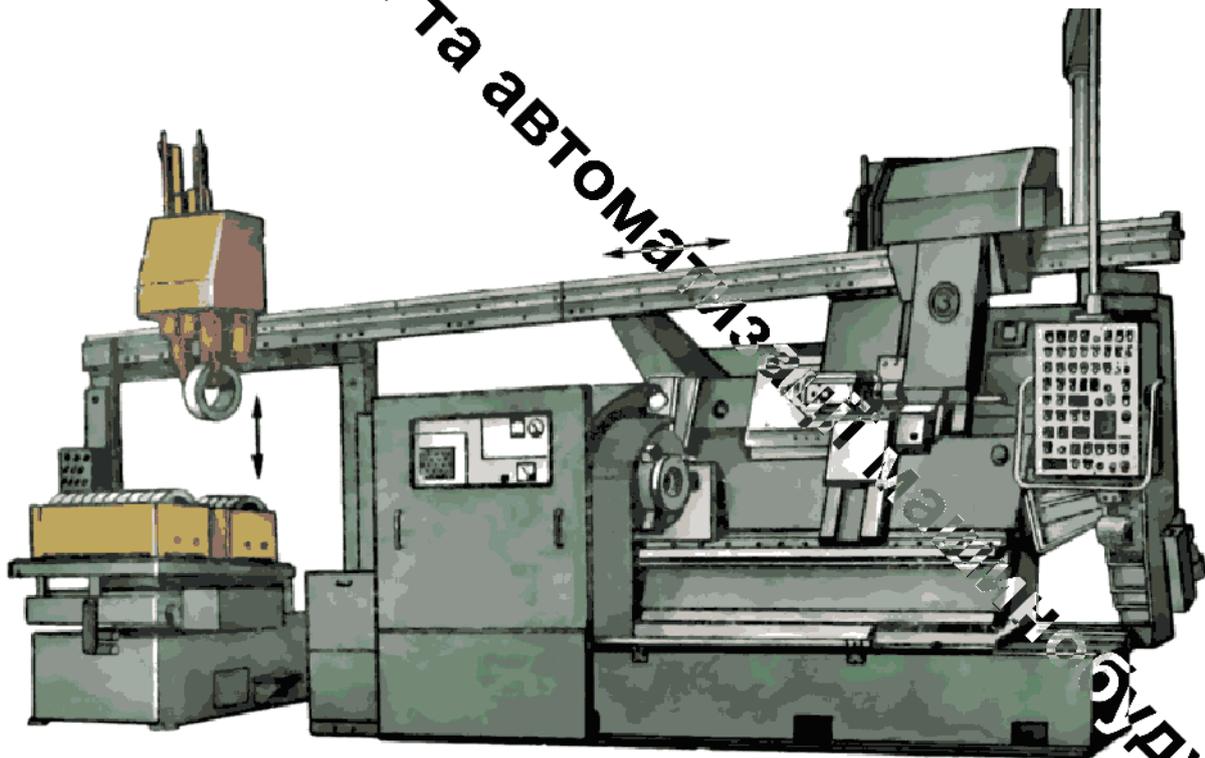


Рисунок 1.3 - АРМ на базі токарного оброблюваного центру моделі  
1П732Ф4АМ

Операції подачі заготовок у зону обробки та зняття готових деталей автоматизовані за рахунок використання промислового робота портального типу,

оснащеного двома маніпуляційними ланками. До складу технологічного комплексу також входить допоміжне обладнання для накопичення, орієнтації та зберігання заготовок і готових виробів, а саме тактовий магазин із поворотним столом, розташований з боку верстата.

Відмінною рисою розглянутого комплексу є портална схема компоновання робота, яка забезпечує компактне розміщення всього обладнання та суттєве зменшення займаної виробничої площі. Водночас така архітектура обмежує можливість подальшого розширення системи, оскільки робот здатний обслуговувати лише один технологічний верстат.

Автоматизоване робоче місце для реалізації фрезерних операцій наведено на рис. 1.4 [3–4]. До складу комплексу входить верстат фрезерної групи, обслуговування якого здійснюється промисловим роботом моделі M10П.62.01. З урахуванням вертикальної схеми установки заготовок кінематичні можливості робота та кількість його ступенів вільності є достатніми для виконання всіх допоміжних операцій у межах даного робочого місця.

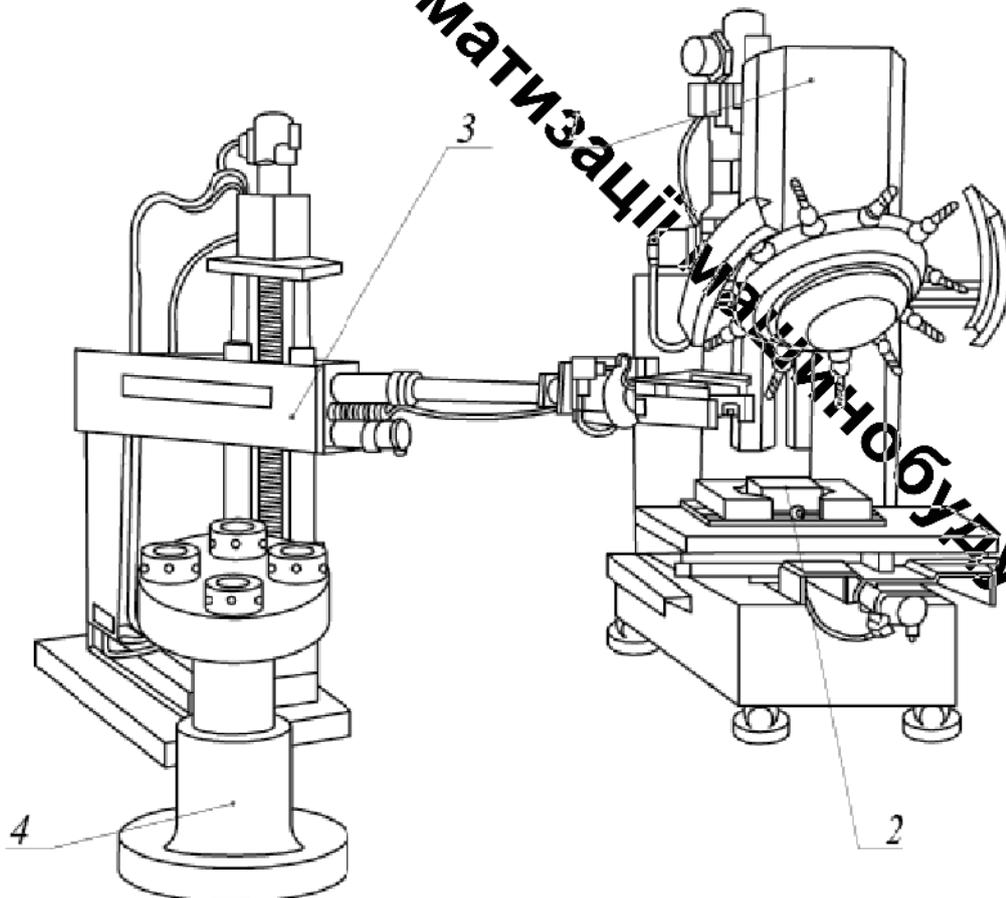


Рисунок 1.4 - Автоматизоване робоче місце для фрезерної обробки

При високому рівні автоматизації декілька промислових комплексів можуть бути об'єднані в гнучкі автоматичні лінії і таким чином організувати виробництво майже повністю без застосування людських ресурсів (рис. 1.4) [7 - 9].

Концепцію гнучкої автоматизованої ділянки — окрема автоматизована робоча комірка (місце), де роботизовані елементи та інше технічне обладнання розташовані так, щоб забезпечувати гнучку конфігурацію та переналагодження для різних технологічних операцій. Саме такі рішення застосовуються в сучасних гнучких виробничих системах (ГВС), де ділянка може змінювати послідовність використання обладнання відповідно до виробничої програми.

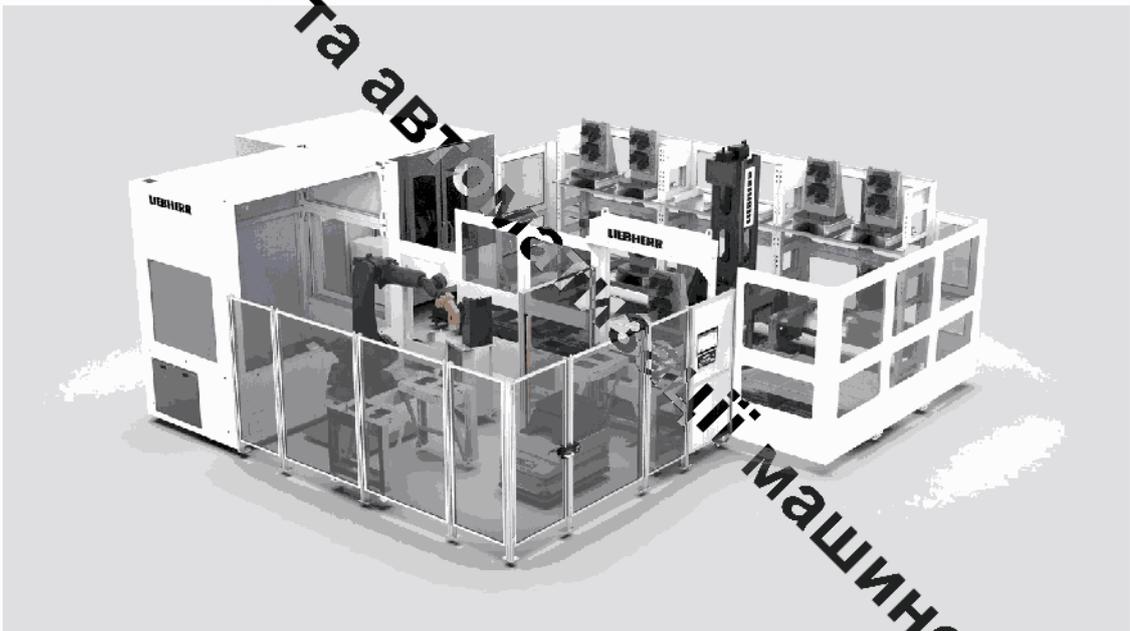


Рисунок 1.5 – Гнучка автоматизована ділянка

## 1.2 Висновки до розділу

1. Аналіз сучасних засобів автоматизації виробництва дозволяє встановити основні напрями їх застосування, серед яких визначальне значення має інтеграція

промислових роботів і допоміжного обладнання з металорізальними верстатами, оснащеними ЧПК.

2. Роботизовані та автоматизовані компоненти технологічних комплексів, як правило, залучаються до виконання допоміжних операцій у загальному виробничому процесі.

3. Для обслуговування верстатного обладнання переважно використовуються промислові роботи з кількістю ступенів вільності не менше чотирьох, конструктивно реалізовані на основі циліндричної системи координат.

4. У складі автоматизованого робочого місця промислові роботи виконують ключові функції автоматизації, забезпечуючи механізоване та автоматичне завантаження і вивантаження заготовок та оброблених деталей.

**Кафедра Технологій та Автоматизації Машинобудування**

## 2 РОЗРОБКА СХЕМИ АВТОМАТИВАНОВОГО РОБОЧОГО МІСЦЯ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ ФЛАНЕЦЬ Ф-25К НА ФРЕЗЕРНІЙ ОПЕРАЦІЇ З ЧПК

2.1 Аналіз технологічного процесу виготовлення деталі та конструктивних особливостей виробу

Використання автоматизації у виробничому процесі здатне суттєво підвищити ефективність, однак неправильне або необгрунтоване її впровадження не лише не принесе користі, а й може призвести до погіршення наявних показників.

Для оцінки доцільності автоматизації розглянемо маршрут механічної обробки. У ньому є операції з невеликою кількістю переходів — зокрема 010 та 015.

Саме на цих етапах частка допоміжного часу є найвищою, тому його скорочення може істотно покращити продуктивність виготовлення деталі.

Водночас операція 015 висуває певні вимоги до точності позиціювання, та має найменшу кількість основних переходів.

### 2.2 Принципова схема автоматизованого робочого місця

Згідно з проведеним у попередніх розділах аналізом, промисловий робот виконує допоміжні операції. Оскільки об'єктом виробництва є вироби, основною функцією робота буде їх транспортування до відповідних зон або до різних компонентів робочого місця.

Для подачі заготовок, а також їх складування або переміщення після завершення механічної обробки планується використовувати допоміжні пристрої.

У процесі обробки задіяний лише один верстат, тому доцільно розташувати робота так, щоб його робоча зона охоплювала всі ключові компоненти робочого місця. Існують декілька варіантів компоновки робочого простору, лінійна, паралельна чи кільцева, проте для нашого випадку найбільш оптимальним є

кільцеве розташування робота, що дозволяє ефективно обслуговувати всі елементи робочого місця. Загальна схема автоматизованого робочого поста наведена на рисунку 2.1.

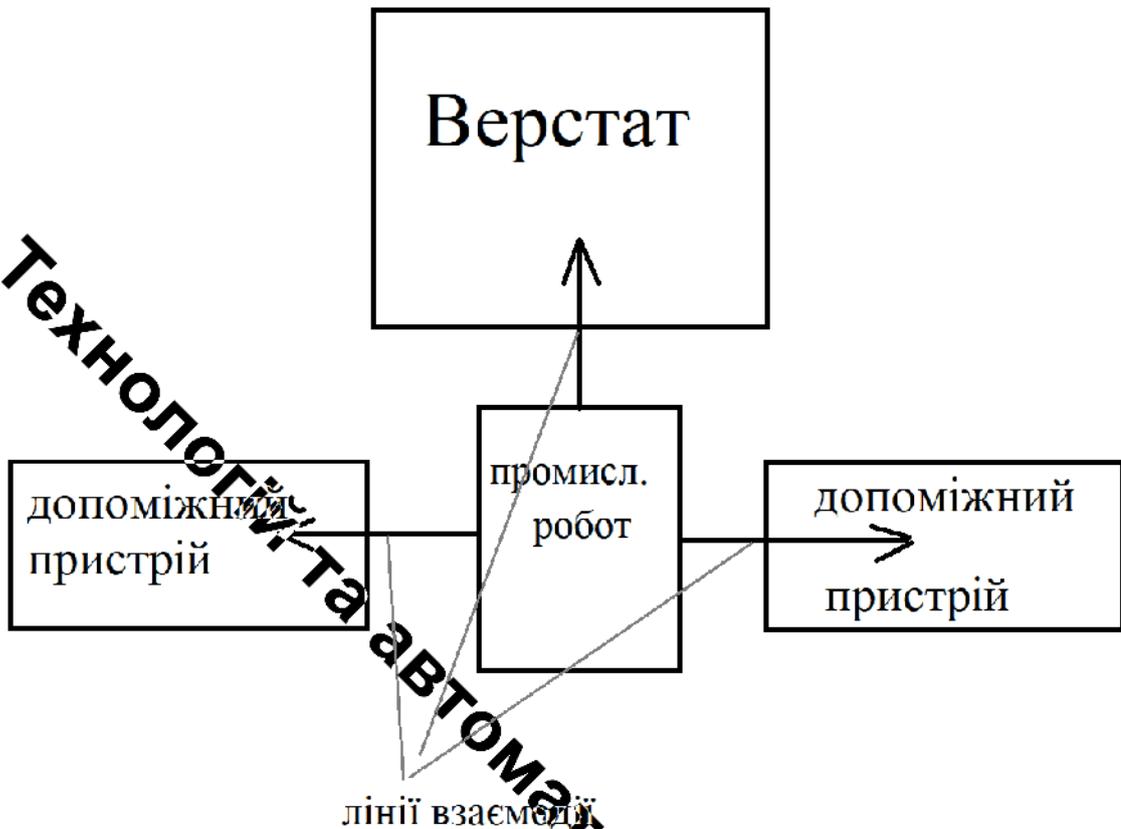


Рисунок 2.1 – Схема автоматизованого робочого місця

### 2.3 Висновки до розділу

1. Проаналізовано існуючий технологічний процес механічної обробки заготовки деталі «Фланець Ф-25К».

2. На основі аналізу для автоматизації обрано 015 операцію, оскільки вона має значний відсоток допоміжного часу і менші вимоги щодо точності базування заготовки

3. Як основу компоновки обрано кільцеву схему.

### 3 АЛГОРИТМ РОБОТИ АВТОМАТИВАНОВОГО РОБОЧОГО МІСЦЯ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ ФЛАНЕЦЬ Ф-25К НА ФРЕЗЕРНІЙ ОПЕРАЦІЇ З ЧПК

3.1 Алгоритм роботи автоматизованого робочого місця механічної обробки деталі Фланець Ф-25К на фрезерній операції з ЧПК

Алгоритм роботи визначає послідовність операцій та дій, яка повинна бути виконання на виробництві для досягнення основної мети, а саме забезпечення виготовлення продукції. Оскільки автоматизоване робоче місце має виготовляти декілька виробів, то його робота має бути циклічною. Саме тому після виконання одного циклу основні вузли компонентів робочого місця мають набути положення з якого починалася обробка.

Основні дії та елементи, які задіяні в процесі їх виконання представлені на рис. 3.1.

Кафедра Технологій та Автоматизації машинобудування

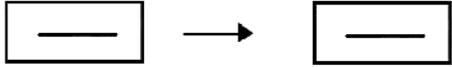
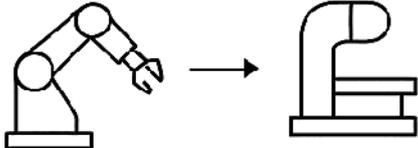
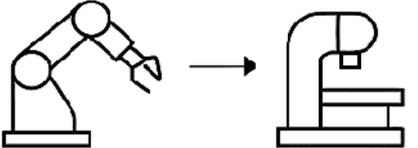
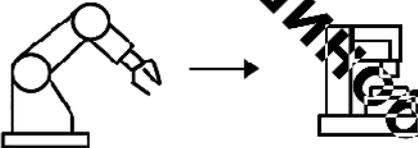
Вид роботи	Технологічний елемент
Підготовка заготовки, попереднє встановлення	 <p>Оснащення для попередньої орієнтації заготовок</p>
Захват заготовки	 <p>Промисловий робот      Верстатне оснащення</p>
Установка заготовки на верстат	 <p>Промисловий робот      Верстат</p>
Обробка заготовки на верстаті	 <p>Промисловий робот      Верстат</p>
Зняття заготовки з верстата	 <p>Промисловий робот      Верстатне оснащення</p>
Переміщення наступної заготовки	 <p>Тактовий стіл</p>

Рисунок 3.1 – Загальний алгоритм роботи автоматизованого робочого місця

### 3.2 Висновки до розділу

1. Складено перелік операцій та відповідного обладнання для їх виконання на автоматизованому робочому місці.

2. Створено загальний алгоритм функціонування автоматизованого робочого місця для технологічної обробки деталі «Фланець Ф-25К».

**Кафедра Технологій та Автоматизації машинобудування**

## 4 АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕЛЕМЕНТІВ ВИРОБНИЦТВА

### 4.1 Вибір основного обладнання

Верстати, що будуть використовуватися в РТК, не повинні зазнавати значних конструктивних змін. При цьому необхідно враховувати їх технологічні можливості. Верстати з повністю автоматизованим циклом роботи, оснащені затискачами для виробу та пристроями для автоматичної заміни інструменту, повністю відповідають вимогам для застосування в РТК.

Для обробки деталі «Фланець Ф-25К» верстат моделі 2P135Ф2 повністю задовольняє встановлені вимоги. Верстати 2P135Ф2 з ЧПК застосовуються для обробки корпусних деталей та деталей типу «фланець», «кришка», «плита», «важіль», «кронштейн». Вони дозволяють виконувати свердління, розточування, зенкування, цекування, нарізання різі та інші операції.

Ці верстати забезпечують точність міжосьових відстаней оброблюваних отворів у межах 0,10—0,15 мм і можуть працювати в автоматичному режимі, що дозволяє здійснювати багатоперацийну обробку деталей з великою кількістю отворів.

Верстати обладнані системою зворотного зв'язку щодо положення робочих органів по кожному з двох керованих переміщень.

#### 4.1.2 Розробка алгоритму виконання операцій

Функціонування основного обладнання є ключовим елементом роботи автоматизованого робочого місця, тому вивчення його особливостей є актуальним завданням.

При обробці деталей враховуються як основні, так і допоміжні рухи робочих елементів верстата [9–10]. Координати технологічних переміщень інструменту наведені на рис. 4.1.

Кафедра Технологій та Автоматизації машинобудування

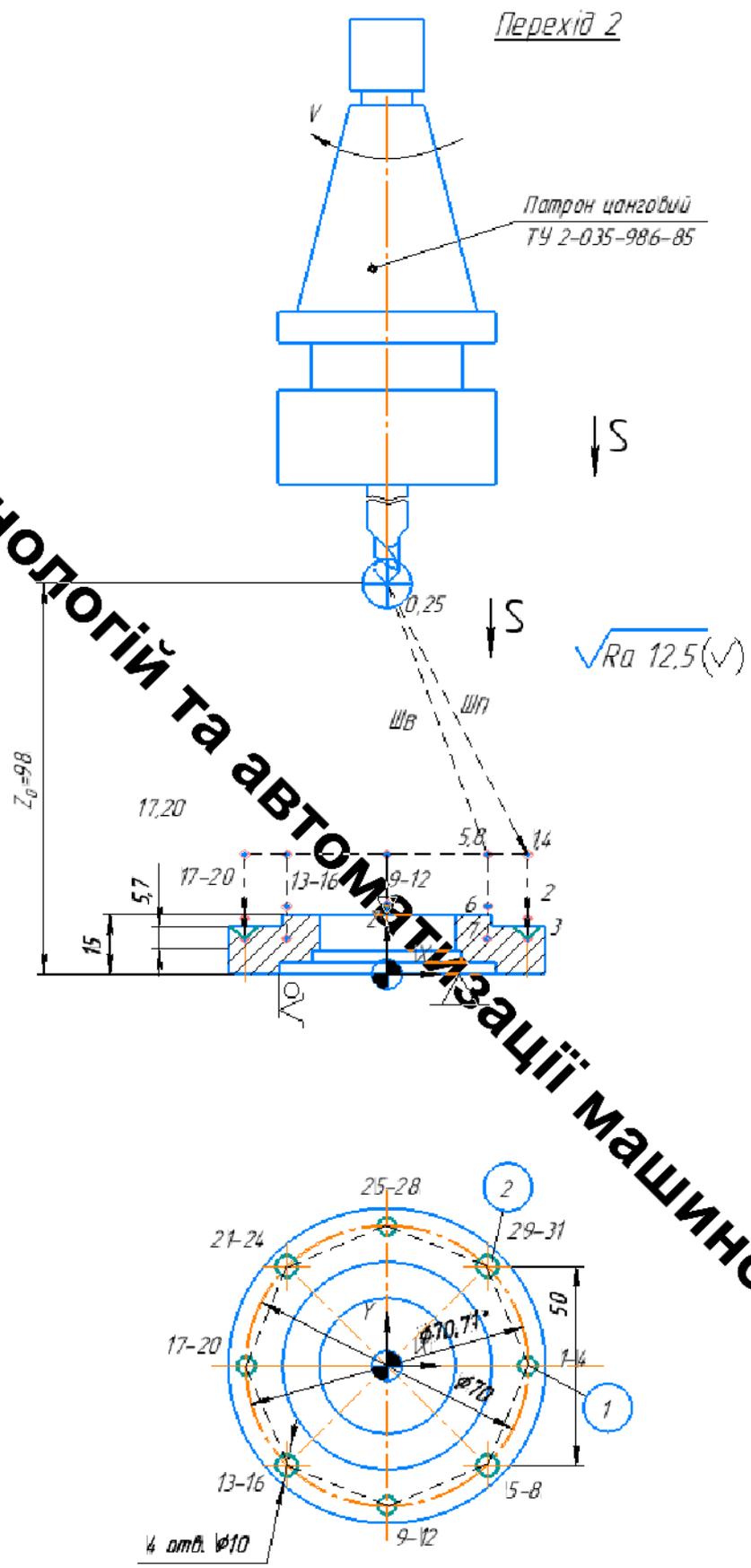


Рисунок 4.1 –Послідовність виконання переходів на операції

## 4.2 Розробка компонування верстатного пристосування

Оскільки основне обладнання є напівавтоматичним, виникає необхідність у використанні додаткових пристроїв для підвищення рівня його автоматизації. В нашому випадку автоматизоване верстатне оснащення застосовується для організації процесів затиску та розтиснення заготовки в автоматичному режимі.

Пристосування фіксується на робочому столі верстата в Т-подібних пазах (рис. 4.2). Базування заготовки на операції 015 технологічного маршруту здійснюється шляхом встановлення її на площину, застосування циліндричного пальця (оправки) у отворі  $\varnothing 34$  та опори деталі на упор.

Пристосування для орієнтації деталі «Фланець» на столі верстата має корпус, який закріплюється на столі. У корпусі передбачено центральний отвір для установки цанги чи оправки, що слугує направляючою та одночасно основною віссю для деталі й пристосування.

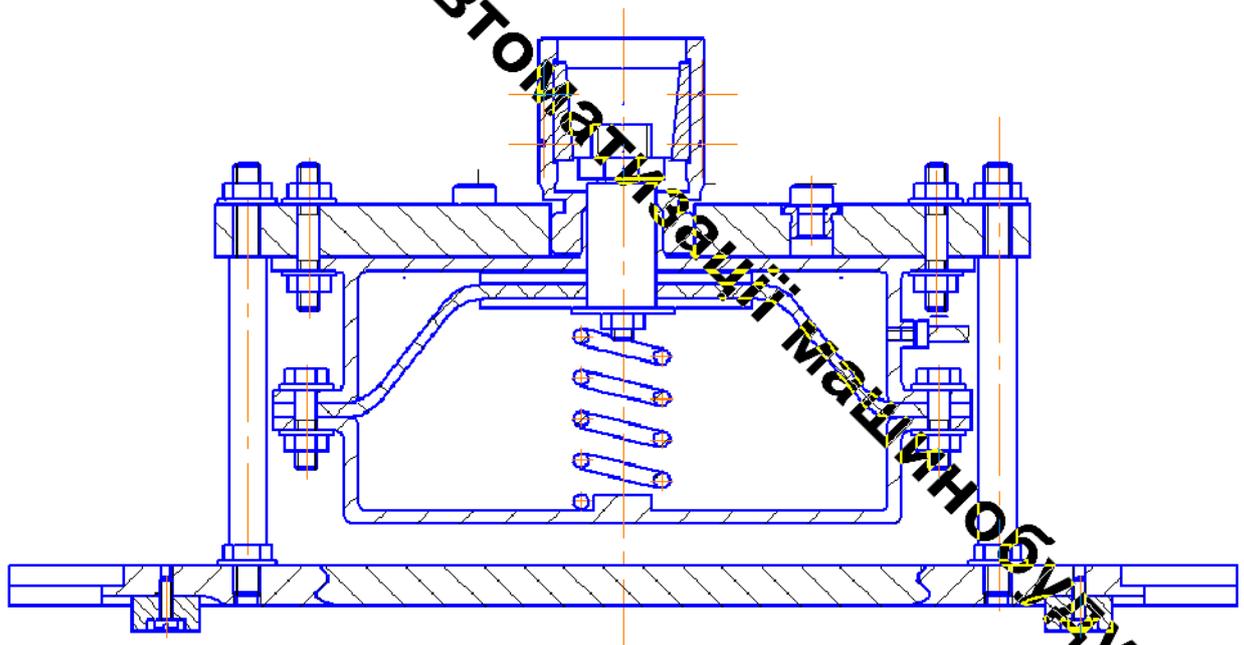


Рисунок 4.2– Схема оснащення

### 4.2.1 Розрахунок необхідної сили закріплення

Значні сили різання можуть виникати при фрезеруванні центральної лиски (рис. 4.3).

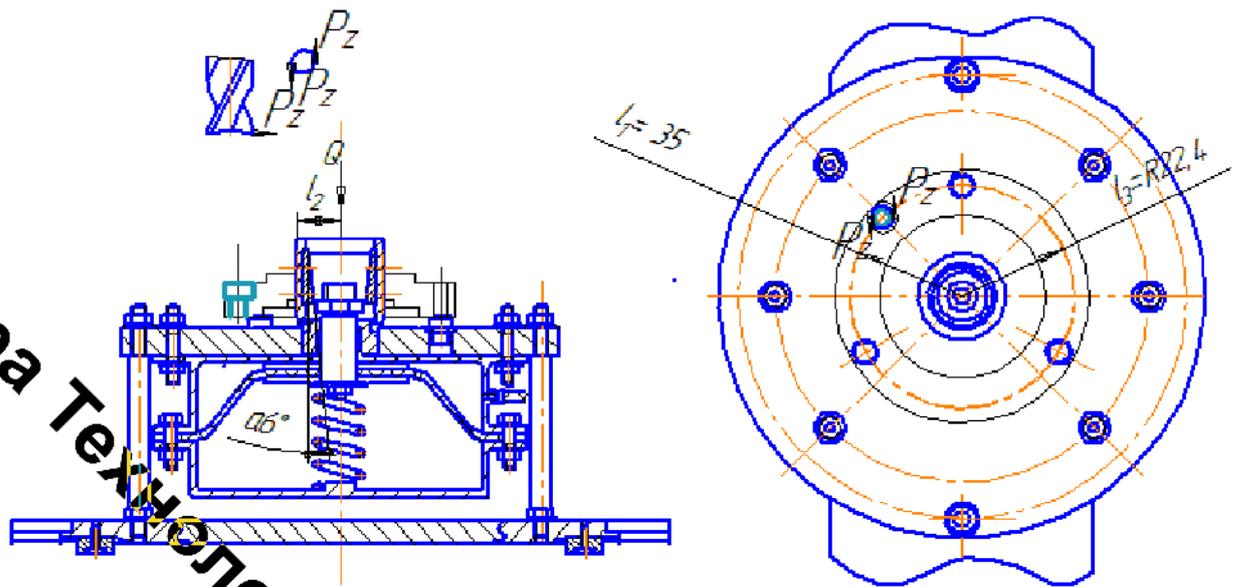


Рисунок 4.3 - Схема сил, що діють на деталь

Під впливом крутного моменту різання, що виникає через силу різання, деталь прагне обертатися навколо своєї осі. Протидією цьому моменту служить момент тертя  $M_{тр}$ , який формується осьовим зусиллям та силою закріплення  $Q$ .

На основі цього формуються схема дії сил різання та відповідні рівняння рівноваги.

$$(M/D)l_1 = 3F_{тр} * 3F_{тр} * l_2 \quad (4.1)$$

Звідси, сила закріплення складає:

$$P_{зат} = (M/D) * l_1 / (3(f * l_2 + f_1 * l_3)) \quad (4.2)$$

Розрахуємо тангенціальну силу різання:

$$M_{кр} = 10C_m D^q t^x S^y K_p, [H] \quad (4.3)$$

де  $C_m = 0,34$ ;  $D = 10\text{мм}$ ;  $q = 2,0$  у  $0,8$ ;  $K_p = 1,37$ .

$$M_{кр} = 10 \cdot 0,34 \cdot 10^2 \cdot 0,15^{0,8} \cdot 3 \cdot 1,37 = 306,33 \text{ (Нм)}$$

Отже, сила, що намагається вирвати заготовку із пристосування, складає 1889Н.

$F_1 = Qf_1$  та  $F_2 = Qf_2$  сили тертя між упором і деталлю, і між деталлю, і опорами відповідно.

$f_1 = f_2 = f_3 = 0,2$  – коефіцієнт тертя.

$R_1 = 25$  мм – відстань від вісі деталі до точки прикладання сили закріплення;

$R = 35$  мм – відстань від вісі деталі до найбільш віддаленої точки контакту деталі з опорою.

$l_1 = 35$  мм – відстань від вісі деталі до точки прикладаення сили.

Знаючи значення моменту різання, знайдемо силу закріплення  $Q$ :

$$Q = P_{зат} / (\eta * (\text{tg}(\alpha + \varphi_{пр}) + \text{tg} \varphi_1) = 180 / 0,9 * (\text{tg}(6 + 11) + \text{tg} 5,5) = 514,3 \text{ (Н)}$$

де  $K$ - коефіцієнт запасу;

$$K = K_0 K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 K_6 \quad (4.4)$$

де:  $K_0$ -гарантований коефіцієнт запасу,  $K_0 = 1,3$ ;

$K_1$  – враховує нерівномірність припуску,  $K_1 = 1,2$ ;

$K_2$  – враховує збільшення сили при затупленні інструменту,  $K_2 = 1,4$ ;

$K_3$  – враховує вплив переривчастого різання,  $K_3 = 1$ ;

$K_4$  – враховує умови стабільності сил закріплення для пневмоциліндра,  $K_4 = 1,1$ ;

$K_5$  – враховує ергономічність розташування рукояток керування,  $K_5 = 1,0$ ;

$K_6$  – враховує особливості розташування опор, їх форму та діючі на них сили.

$K_6 = 1,0$

Отже

$$K=1,3 \cdot 1,2 \cdot 1,4 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 2,4.$$

Приймаємо мінімальне значення 2,5.

$$P_{закр} = 2,5 \cdot 514,3 = 1286 \text{ (Н)}.$$

#### 4.2.2 Вибір силового приводу і розрахунок його параметрів

Для пристосування використовується пневмокамера, яка є вузлом односторонньої дії. Однією з ключових складових пристрою є шток, який взаємодіє із затискним механізмом пристосування.

Хід штока визначається через прогин діафрагми за формулою:

$$L = \frac{3pD^4(1-\mu^2)}{256ES^2} \quad (4.5)$$

де  $p$  – тиск зжатого повітря,  $p = 0,4$  МПа;

$D$  – діаметр діафрагми,  $D = 125$  мм;

$S$  – товщина діафрагми ; мм;

$t$  – модуль пружності матеріала діафрагми, МПа;

$\mu$  – коефіцієнт Пуассона матеріала діафрагми;

При розрахунку переміщення приймаємо до уваги тільки тканину основу діафрагми, значення  $S$  беремо по товщині цієї основи. Приймаємо  $\mu = 0,4$ ,

$E = 6 \cdot 10^6$  МПа, отримуємо спрощену формулу:

$$L = 1,7 \cdot 10^{-5} \frac{pD^4}{S^2} \quad (4.6)$$

Величину  $S$  визначаємо із умов міцності діафрагми:

$$S = \frac{D}{4} \sqrt{\frac{3p}{\sigma_{\max}}} \quad (4.7);$$

де  $\sigma_{\max}$  – найбільша допустима напруга в тканинній основі. Приймаємо

$$\sigma_{\max} = 35 \text{ МПа};$$

Тоді

$$S = \frac{125}{4} \sqrt{\frac{3 \cdot 0,4 \cdot 10^6}{35 \cdot 10^6}} = 5,78 (\text{мм}) \quad (4.8)$$

Проведемо розрахунок сили закріплення  $Q_3$  на штоці для того, щоб визначити, чи може дана пневмокамера з діаметром діафрагми  $D=125$  мм забезпечити потрібну силу закріплення.

$$Q_3 = 0,785(D+d)p, \quad (4.9)$$

де  $d$  – зовнішній діаметр опорної шайби

$$d = 0,7D = 0,7 \cdot 125 = 87,5 (\text{мм})$$

Тоді

$$Q_3 = 0,785 (125 + 87,5) 0,4 = 6672 (\text{Н.})$$

Отже

$Q_{3p} < Q_3$ , тому дана пневмокамера задовольняє всі умови.

#### 4.2.3 Розрахунок пристосування на точність

Розроблене оснащення має забезпечувати точність розмірів, яка викинується при установці на оснащення. Вданому випадку для розрахунків беремо розмір  $48,5 \pm 0,35$ . Сумарна похибка ( $\varepsilon_{\Sigma}$ ) повинна бути меншою, ніж допуск  $T_{дет}$  на відповідний розмір  $\varepsilon_{\Sigma} < T_{дет}$ .

##### 4.2.3.1 Визначення складових похибки установки

Похибка установки – визначається як відхилення фактично досягнутого положення заготовки від бажаного.

$$\varepsilon_{np} \leq T - K_T \sqrt{(K_{T_1} \cdot \varepsilon_\delta)^2 + \varepsilon_z^2 + \varepsilon_y^2 + \varepsilon_u^2 + \varepsilon_{п.п}^2 + (K_{T_2} \cdot \omega)^2}, \text{ [мкм]} \quad (4.10)$$

де  $\varepsilon_\delta$  – похибка базування для розміру 5,7мм.

$K_T$  – 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  $K_{T2}=0,6$  ( $K_{T2}=0,6...0,8$ );

$\omega$  – економічна точність обробки; приймаємо  $\omega = 0,12$  мм для фрезерування [19-20];

$\varepsilon_z$  – похибка закріплення заготовки в пристосуванні;

$\varepsilon_y$  – похибка установки заготовки в пристосуванні;

$\varepsilon_u$  – похибка заготовки через зношення установчих елементів оснащення;

$\varepsilon_{п.п}$  – похибка від зміщення інструменту

#### 4.2.3.2. Похибка базування

похибка базування для розміру 5,7мм. Рівна сумі допусків розмірів 3 та 15, складає  $0,36+0,06 = 0,42$ мм.

#### 4.2.3.3. Похибка закріплення

Величина  $\varepsilon_z$  відносно невелика. Відповідно до рекомендацій, приймаємо  $\varepsilon_z = 10$  мкм;

#### 4.2.3.4. Похибка установки пристосування на верстат

При правильному виборі зазорів між спряженими елементами і рівномірному затягуванню кріпильних деталей величину  $\varepsilon_c$  можна зменшити до 10...20 мкм.

$\varepsilon_b=0,01$  мм – за рекомендацією.

## 4.2.3.5. Похибка зношення

$\varepsilon_{\text{ш}}$  – похибка, що спричиняється зносом опор пристосування.

$$\varepsilon_{\text{ш}} = \frac{N}{C_{\phi}}, [\text{мкм}] \quad (4.11)$$

де  $N$  – програма випуску деталей;

$C_{\phi}$  – фактична зносостійкість.

Визначаємо зносостійкість  $c = m - m_1 p_1 - m_2 p_2$ ,

де  $m$  – коефіцієнти, які залежать від конструкції опор, їх матеріалу та інше :

$$m = 1818, m_1 = 1014, m_2 = 1309 [16-17]:$$

$p_1$  – критерій зносостійкості, залежить від матеріалу заготовки і опор;

$p_2$  – критерій зносостійкості враховує навантаження на опори.

$$p_2 = \frac{Q}{F \cdot H_v \cdot 10}, [\text{мм}] \quad (4.12)$$

де  $Q$  – сила закріплення;

$F$  – площа контакту опори і заготовки;

$H_v$  – твердість опори по Вікерсу

$$p_1 = 1.01 [16-17]$$

$$p_2 = \frac{55}{616 \cdot 615 \cdot 10} = 0,000014 \text{ (мм)}.$$

$$C_{\phi} = \frac{C}{K}, \quad (4.13)$$

де:  $K$  – коефіцієнт уточнення;

$$K = K_t K_1 K_y, \quad (4.14)$$

де  $K_t$  – враховує час безпосередньо контакту опори і заготовки,

$$K_t = 0,79 \cdot t_M = 0,79 \cdot 1,86 = 1,47.$$

$$C = 1818 - 1014 \cdot 1,01 - 1309 \cdot 0,001 = 792,5 \text{ (встановлень/мкм);}$$

$K_t$  – враховує величину зсуву заготовки відносно опор,  $K_t = 1,0$ ;

$K_y$  – враховує умови установки заготовки в пристосуванні,  $K_y = 1,12$ ;

$$\text{Отже, } K = 1,47 \cdot 1,12 \cdot 1,0 = 1,65$$

Тоді:

$$C_{\phi} = \frac{792,5}{1,65} = 480 \text{ (становок / мкм)}$$

$$\text{При } N = 6000 \text{ шт, } \varepsilon_{zn} = \frac{4500}{481} = 9,35$$

Величина допустимого зносу:

$$[\varepsilon_{zn}] = \beta \sqrt{N_n}, \text{ [мм]} \quad (4.15)$$

$\beta$ - коефіцієнт, який залежить від виду опори і стану технологічної бази, що контактує з цією опорою,  $\beta = 1,2$ ;

$N_n$  – кількість заготовок в партії;

Отже:

$$[\varepsilon_{zn}] = 1,2 \sqrt{4500} = 100,4 \text{ (мкм).}$$

Таким чином  $\varepsilon_{zn} = 14,5 \text{ мкм} < [\varepsilon_{zn}] = 80,5 \text{ мкм}$ .

Отже, установчі елементи при обробці партії деталей не потрібно замінювати, лише контролювати в процесі роботи.

#### 4.2.3.6 Похибка інструменту

Ця похибка  $\varepsilon_{н.и.} = 0$ , тому що відсутні напрямні елементи для інструменту.

Підставляємо отримані значення параметрів у вихідну формулу (4.2):

$$\varepsilon_{np} = 1,0 \sqrt{(0,8 \cdot 0,0)^2 + 10^2 + 10^2 + 14,5^2 + 0^2 + (0,6 \cdot 0,12)^2} = 20,2 \text{ (мкм)}.$$

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

Похибка пристосування не повинна перевищувати допуск на розмір, що забезпечуються в процесі механічної обробки.

Для оцінки непаралельності деталей проведемо розрахунок кутового розмірного аналізу. При цьому приймається, що економічно обґрунтовані допуски непаралельності відповідають шостому ступеню точності.

$$T(\alpha_1) = \frac{0,008}{63} = 0,000127; \quad T(\alpha_2) = \frac{0,006}{63} = 0,000095; \quad T(\alpha_3) = \frac{0,009}{63} = 0,000143;$$

$$T(\alpha_4) = \frac{0,019}{140} = 0,000135; \quad T(\alpha_5) = \frac{0,009}{140} = 0,0000634;$$

Допуски ланок в кутовій мірі складають

$$\delta_k(\alpha_1) = \text{arctg } 0,008/63 = 0,0073;$$

$$\delta_k(\alpha_2) = \text{arctg } 0,006/63 = 0,0054;$$

$$\delta_k(\alpha_3) = \text{arctg } 0,009/63 = 0,0082;$$

$$\delta_k(\alpha_4) = \text{arctg } 0,019/140 = 0,0027;$$

$$\delta_k(\alpha_5) = \text{arctg } 0,009/140 = 0,0037;$$

$$\delta_k(\alpha_{\Sigma}) = 0,0073 + 0,0054 + 0,0082 + 0,0027 + 0,0037 = 0,0319.$$

де

- 1 - зміщення упорів вісно втулок;
- 2 - зміщення втулок відносно посадочних місць;
- 3 - зміщення посадочних місць під втулки відносно плити;
- 4 - зміщення плити відносно різної довжини шпильок;
- 5 - зміщення що виникає внаслідок нерівності опорної плити;
- зміщення плити відносно втулок.

$$T_k(\alpha\Sigma) = 0,1$$

$$\delta_k(\alpha\Sigma) < T_k(\alpha\Sigma)$$

$$0,0319 < 0,1$$

Умови по точності пристосування виконуються.

Для забезпечення непаралельності рекомендується обробляти відповідальні поверхні в складі пристосування.

#### 4.2.5 Елементи роботи спроектованого пристосування

Корпус верстатного пристосування складається з нижньої плити, яка за допомогою чотирьох п'яльок кріпиться до верхньої плити. До нижньої сторони верхньої плити прикріплена пневмокамера, а зверху розташовані цанга та опори для встановлення деталі. Центральна частина верхньої плити має спеціальний отвір, що забезпечує вільний хід штока для виконання його функцій.

#### 4.3 Вибір промислового робота (ПР) для АРМ

Основні вимоги до промислового робота включають:

- забезпечення заданої вантажопідйомності;
- робоча зона робота повинна відповідати розмірам, формі та положенню робочих зон обслуговуваного обладнання;
- система керування обирається з урахуванням способу позиціонування робочого органу, кількості керованих координат та обсягу пам'яті;
- захватний пристрій підбирається відповідно до конструктивно-технологічних характеристик об'єкта маніпулювання;
- вантажопідйомність робота повинна перевищувати масу об'єкта маніпулювання не менше ніж на 10%.

Форма та розміри робочої зони повинні забезпечувати безперешкодне завантаження та вивантаження заготовок з робочих зон основного і допоміжного

обладнання.

Для промислового робота в складі РТК кількість ступенів вільності визначається формою, розмірами та положенням робочої зони обладнання, а також відносним розташуванням обмежувальних поверхонь, що формують зону завантаження-розвантаження.

Точність позиціонування робота істотно впливає на процес установки заготовки в пристосуванні як основного, так і допоміжного обладнання.

Для обслуговування робочого місця та технологічного обладнання відповідно до рекомендацій [5], обрано промисловий робот моделі “Універсал 5.02”, з наступним і характеристиками:

- вантажопідйомність – 5 кг;
- число ступенів руховості – 6;
- число рук -1;
- число захватних пристроїв на одній руці - 1;
- привод основних рухів - електричний;
- система управління - позиційна;
- число програмованих координат- 4;
- похибка позиціонування -  $\pm 0,3$  мм;
- найбільший виліт руки – 1300 мм;
- лінійні переміщення, мм/ швидкість, м/с:  
 $r = 700/0,9$ ;  
 $z = 400/0,8$ ;
- кутові переміщення, °/ кутова швидкість, °/с:  
 $\varphi = 330/60$ ;  
 $\alpha = 180/180$ ;  
 $\beta = 180/90$ ;
- маса, кг- 650.

Кафедра Технологій та Автоматизації Машинобудування

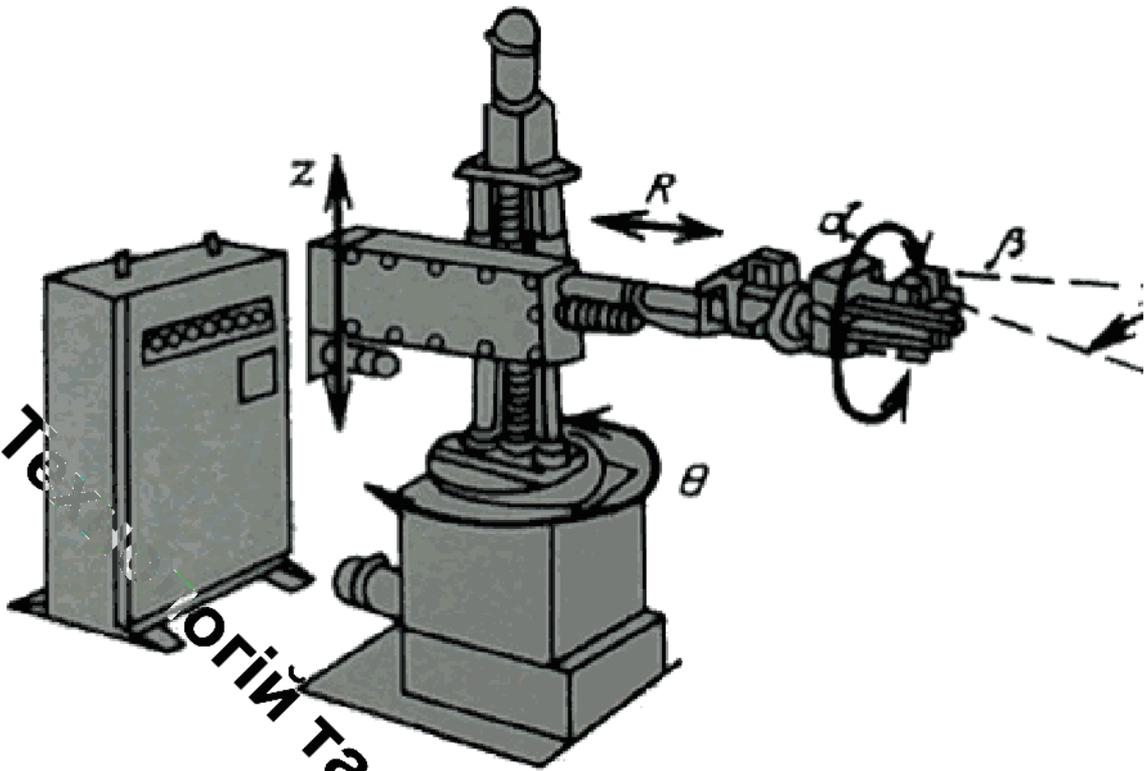
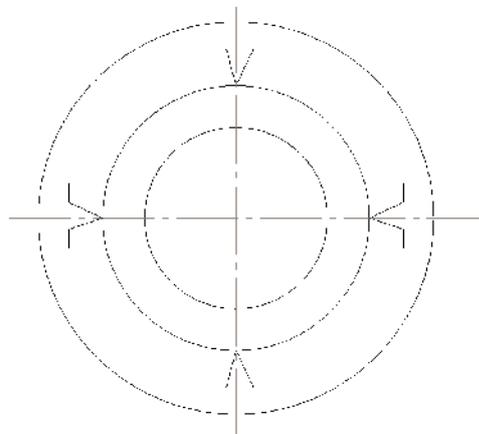


Рисунок 4.4 – Схема ПР

#### 4.4 Проектування (вибір) захватного пристрою

Оскільки заготовка позиціонується на верстатному пристосуванні за допомогою нижньої площини, то в якості поверхонь для затикання використаємо бокові плоскі поверхні (рис. 4.5).



Рисунку 4.5- Схема закріплення заготовки

#### 4.4.1 Розрахунок зусиль затиску захватного органу промислового робота

Зусилля захоплення визначають з припущення, що утримання об'єкту маніпулювання відбувається за рахунок сил тертя, створюваних цим 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,  $K_1=1,2 - 2,0$ . Приймаємо  $K_1=1,2$ ;

$K_2$  – коефіцієнт, залежний від максимального прискорення  $A$ , з яким ПР переміщає об'єкт. Для роботів з пневматичним приводом

$$A \approx g. K_2 = 1 + A/g = 1 + 1 = 2;$$

$K_3$  – коефіцієнт передачі, залежний від конструкції захоплення і розташування в ньому об'єкту маніпулювання, вибираємо згідно [22, 23].

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

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

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

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

$$F = 1,2 \cdot 2 \cdot 2,9 \cdot 0,6 \cdot 9,8 = 34,72 \text{ (Н)}$$

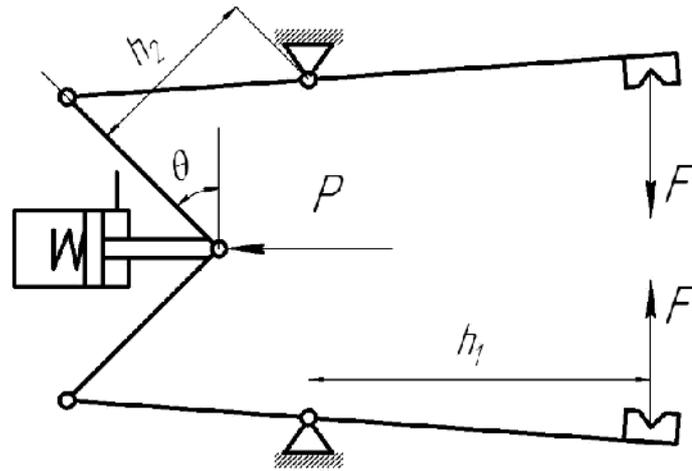


Рисунок 4.6 – Схема захватного пристрою

Зусилля затиску для вибраної схеми:

$$\frac{P}{F} = \frac{h_1}{h_2} \cdot 2 \sin \theta, \quad (4.18)$$

звідки

$$P = \frac{h_1}{h_2} \cdot 2 \sin \theta \cdot F \quad (4.19)$$

При конструюванні ЗП приймаємо  $h_1 = 80 \text{ мм} = 0,080 \text{ м}$  і  $h_2 = 0,04 \text{ м}$  кут  $\theta = 60^\circ$

$$P = \frac{0,08}{0,04} \cdot 2 \cdot \sin 45 \cdot 14,1 = 53,17 \text{ (Н)}$$

Визначимо діаметр поршня

Для циліндра односторонньої дії [4]

$$F = p_v \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} - F_T - F_{\text{тр}}$$

де  $p_v$  – робочий тиск повітря в системі. Приймаємо  $p_v = 0,6 \text{ МПа} = 0,6 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$ ,  
 $D$  – діаметр поршня;  $F_{TP}$  – сила тертя в ущільненнях (до 10% від зусилля, що

Кафедра Технологій та Автоматизації Машинобудування

розвивається). Приймаємо  $F_{TP}=3$  Н;  $F_{HP}$  – зусилля створюване пружиною (в кінці ходу до 10% від зусилля, що розвивається). Приймаємо  $F_{HP}=40$  Н.

Звідки

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F + F_T + F_{HP}}{\pi \cdot p_e}} = \sqrt{\frac{4 \cdot (53,17 + 40 + 40)}{\pi \cdot 0,6 \cdot 10^6}} = 28 \cdot 10^{-3} (\text{м})$$

Приймаємо найближчий стандартний діаметр поршня  $D=30$  мм.

#### 4.5 Аналіз точності позиціонування деталі

Розглянемо похибки, виникаючі при автоматичній установці заготовки на верстат (рисунок 4.7):

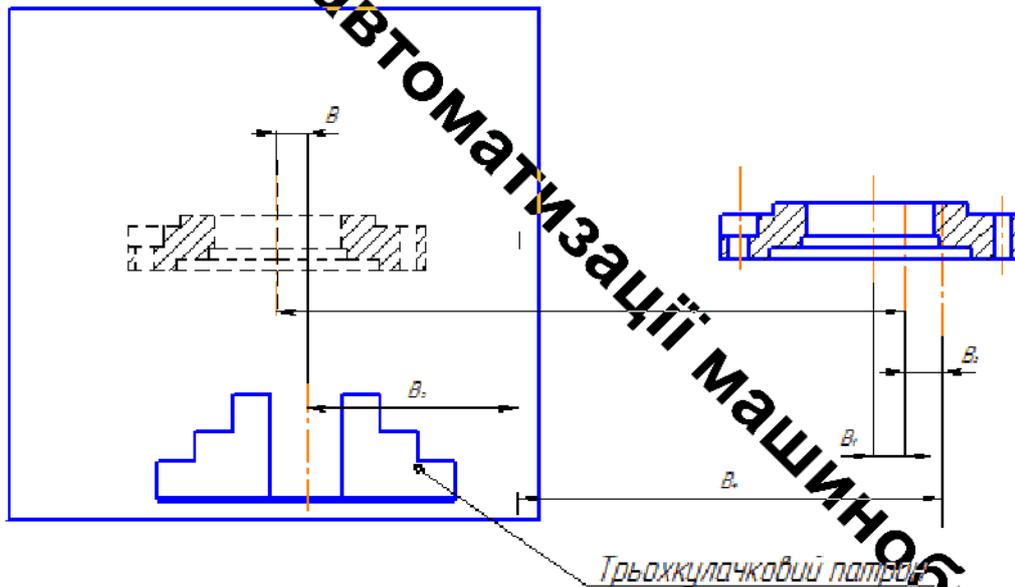


Рисунок 4.7 – Схема розмірних зв'язків

$B_{\Delta}$  – відхилення від положення затискного пристрою верстата і однієї з завантажувачів заготовки;

$B_1$  – похибка, що виникає через відхилення від співвісності заготовки;

$B_2$  – похибка програмованих переміщень маніпулятора;

V3 – похибка, що з'являється при базуванні деталі на місці складання заготовок;

V4 – похибка, пов'язана з відхиленням відстані між верстатом і роботом;

V5 – похибка відхилення розташування оснащення на робочому столі верстата.

Установка заготовки на оправку можлива за умови, що V не перевищує максимально допустиме значення [20-25]:

$$V_{max} = \frac{D-d}{2 \cdot K_3}, [\text{мм}] \quad (4.12)$$

де D – діаметр поверхні базування деталі;

d – менший діаметр конуса оправки пристосування;

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

$$V_{max} = \frac{18}{2 \cdot 1,1} = 8,2 \text{ (мм)},$$

$$V_{max} = \frac{54-49}{2 \cdot 1,2} = 6,25 \text{ (мм)},$$

$$V2 = 170 \pm 0,1 \text{ мм};$$

$$V1 = 0 \pm 0,3 \text{ мм};$$

$$V3 = 100_{-1,4} \text{ мм};$$

$$V4 = 1000_{-2,3} \text{ мм};$$

$$V5 = 3000_{-1,4} \text{ мм};$$

$$T\Delta = 0,2+0,6+1,4+2,3+1,4;$$

$$T\Delta = 5,9 \text{ мм.}$$

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

#### 4.6 Побудова та розрахунок траєкторії руху елементів ПР

Порядок дій робота наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2– Елементи траєкторії переміщення захватного пристрою

	Коментар	Величина переміщення, мм(град)
Захват заготовки	Переміщення руки ПР вперед	500
	Переміщення руки ПР вниз	100
	Затиск заготовки захватом ПР	–
	Переміщення руки ПР вгору	100
	Переміщення руки ПР назад	500
Сума		
Застановка заготовки на верстаті	Поворот руки ПР за год. стрілкою	90°
	Переміщення руки ПР вперед	500
	Переміщення руки ПР вниз	100
	Переміщення корпусу вліво	50
	Розтиск захвату ПР	
	Переміщення руки ПР вгору	100
	Переміщення руки ПР назад	500
Сума		
Верстат	Затиск заготовки на верстатному пристосуванні	–
	Обробка заготовки	
	Розтискання заготовки на верстатному пристосуванні	
Зняття заготовки з верстата	Переміщення руки ПР вперед	500
	Переміщення руки ПР вниз	100
	Затиск заготовки захватом ПР	
	Переміщення корпусу вправо	50
	Переміщення руки ПР вгору	100
	Переміщення руки ПР назад	500
Переміщення заготовки до місця складання готових деталей	Поворот руки ПР за год. стрілкою	90°
	Переміщення руки ПР вперед	500
	Переміщення руки ПР вниз	100
	Розтиск захвату ПР	–
	Переміщення руки ПР вгору	100
	Переміщення руки ПР назад	500
	Поворот руки ПР проти год. стрілки	180°
Тактовий стіл	Переміщення на одну позицію	

Кафедра Технологій та Автоматизації Машинобудування

Представимо на рисунку 4.8 фрагменти траєкторії переміщення ПР.

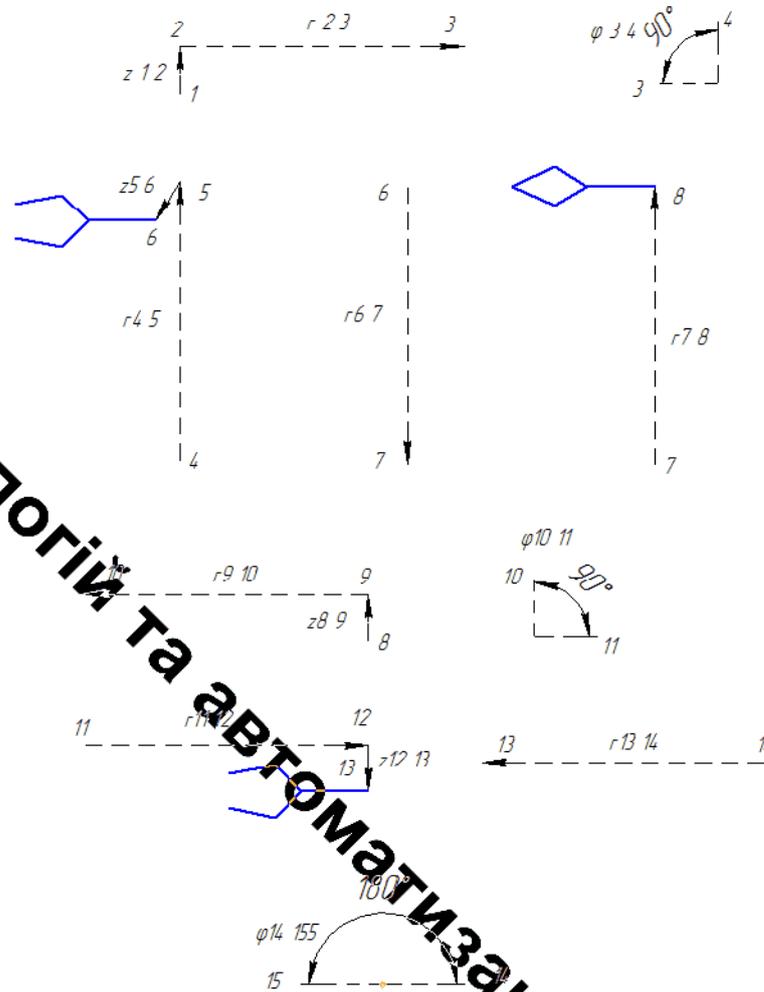


Рисунок 4.8 - Фрагменти траєкторії переміщення ПР

#### 4.7 Вибір допоміжного устаткування для АРМ

Основні функції допоміжного обладнання в автоматизованому робочому місці включають:

- накопичення виробів;
- транспортування виробів;
- поштучну видачу виробів;
- орієнтацію та переорієнтацію виробів.

У складі проектованого автоматизованого робочого місця передбачено використання тактового столу, оснащеного пристроями для встановлення деталі

[24-26] (рис. 4.9, 4.10).

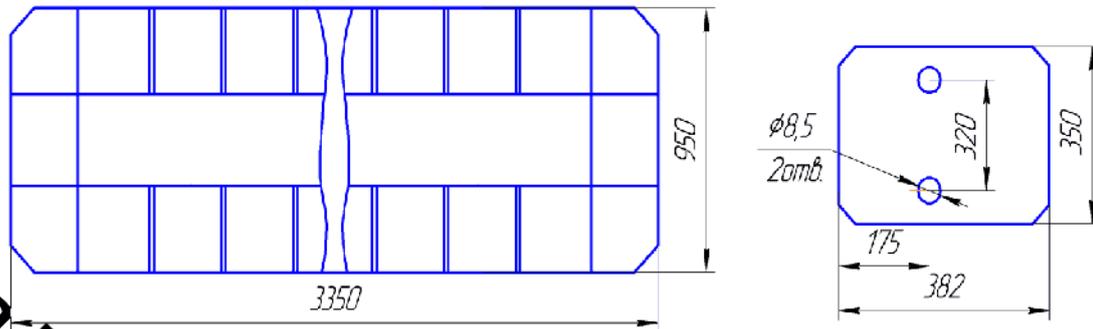


Рисунок 4.9 - Схема тактового столу СТ 350

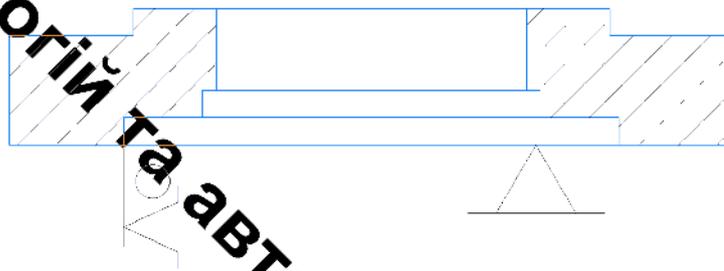


Рисунок 4.10 - Схема установки заготовки на тактовому столі

#### 4.8 Аналіз можливих варіантів компоновки АРМ

Розглянемо найпоширеніші схеми компоновки: лінійну, кільцеву та порталну [7].

При лінійній компоновці обладнання розташовується в один ряд. Технологічний комплекс може бути оснащений як порталними, так і напільними роботами.

Портальна компоновка займає меншу площу, однак частіше використовується для обслуговування декількох одиниць устаткування одночасно.

Кільцева компоновка передбачає розміщення обладнання безпосередньо навколо робота, що забезпечує зручність завантаження, розвантаження та обслуговування устаткування.

Для даного робочого місця обрана кільцева схема компоновки (рис. 4.11).

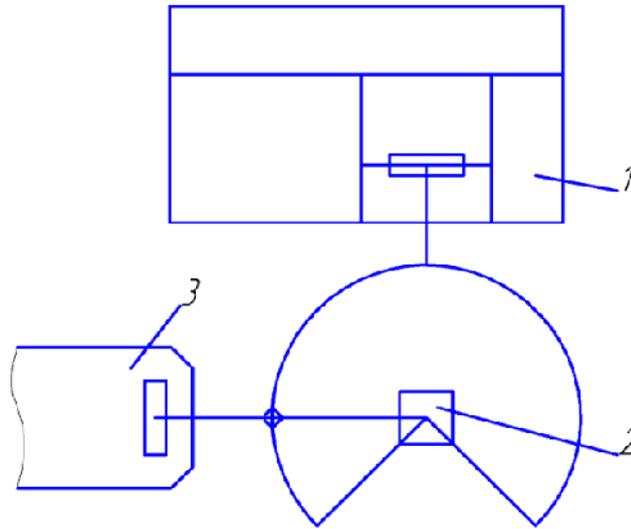


Рисунок 4.11 - Компоновальна схема кільцевого типу

#### 4.9 Розрахунок швидкостей переміщення заготовки

Для визначення швидкості лінійного позиціонування в діапазоні вильоту руки промислового робота використовуватимемо емпіричну формулу:

$$V_x = \frac{2 \cdot l_x \cdot \sqrt[4]{\Delta l}}{\sqrt[3]{M}}, [\text{м/с}] \quad (4.5)$$

де  $l_x$  - виліт руки ПР;

$\Delta l$  - похибка позиціонування;

$M$  - маса об'єкту маніпулювання (маса заготовки, деталі),  $m_{\text{зар.}} = 0,6 \text{ кг}$ ;

$m_{\text{дет.}} = 0,354 \text{ кг}$ ;

$$V_{\text{зар.}} = \frac{2 \cdot 0,5 \cdot \sqrt[4]{0,6}}{\sqrt[3]{0,6}} = 1,06 (\text{м/с})$$

Аналогічно для бокового переміщення:

$$V_{x\text{заг}} = \frac{2 \cdot 0,05 \cdot \sqrt[4]{0,6}}{\sqrt[3]{0,6}} = 0,1 (\text{м/с})$$

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

$$V_z = \frac{\alpha_z \cdot \sqrt{L_z} \cdot \sqrt[4]{\Delta l}}{\sqrt[3]{M}}, [\text{м/с}] \quad (4.6)$$

де  $\alpha_z$  - коефіцієнт залежний від конструкції приводу,  $\alpha_z = 4$ ;

$l_x$  - довжина дільця при вертикальному переміщенні, м;

$M$  - маса об'єкту маніпулювання (маса заготовки, деталі),  $m_{\text{заг.}} = 0,6$  кг,  
 $m_{\text{дет.}} = 0,354$  кг;

$$V_{z\text{заг}} = \frac{3 \cdot \sqrt{0,1} \cdot \sqrt[4]{0,6}}{\sqrt[3]{0,6}} = 0,56 (\text{м/с});$$

$$V_{z\text{дет}} = \frac{3 \cdot \sqrt{0,1} \cdot \sqrt[4]{0,6}}{\sqrt[3]{0,354}} = 1,56 (\text{м/с})$$

Кутова швидкість при повороті руки ПР щодо вертикальної осі:

$$\omega = \frac{0,5 \sqrt{\varphi} \cdot \sqrt[4]{\delta}}{\sqrt[3]{(2L_x)^4}}, [\text{рад/с}] \quad (4.7)$$

де  $\delta$  - похибка кутового позиціонування, с;

$\varphi$  - кут повороту руки, рад.;

Для визначення похибки кутового позиціонування використовують

Формулу:

$$\delta = \frac{\Delta l}{L_k} \cdot \frac{180}{\pi} \cdot 3600, [\text{с}]$$

де  $\Delta l$  - похибка лінійного позиціонування, м;

$L_k$  - виліт консолі руки робота, м.

$$\delta = \frac{0.0006}{0.5} \cdot \frac{180}{3.14} \cdot 3600 = 247,5 (\text{с}).$$

$$\omega = \frac{0,5\sqrt{3,14} \cdot \sqrt[4]{263,45}}{\sqrt[3]{(2 \cdot 0,47)^4}} = 3,86 (\text{рад} / \text{с}).$$

Приймаємо швидкості переміщення для обробленої і необробленої деталі, враховуючи параметри промислового робота та забезпечуючи плавність руху наступні: по вісі R - 0,3м/с, по вісі Z 0,8, а кутове переміщення 120 град/с.

#### 4.10 Розробка циклограми функціонування АРМ

Циклограма роботи АРМ відображає в обраній послідовності всі операції, що виконуються основним та допоміжним обладнанням, а також програмно-розрахункові дії (ПР), необхідні для обробки заготовки.

Час виконання кожного переміщення маніпулятора можна визначити за допомогою відповідних формул:

$$t_I = \frac{\varphi_I}{\omega_I}; [\text{с}] \quad (4.19)$$

$$t_I = \frac{l_I}{V_I}; [\text{с}] \quad (4.20)$$

де  $\varphi_I$  - кути поворотів механізмів;

$l_I$  - лінійні переміщення механізмів;

$\omega_I, V_I$  - визначаються швидкості кутового та лінійного переміщення механізмів по відповідних координатах.

З урахуванням формул 4.12–4.14 проводиться дослідження впливу параметрів маніпулятора робота на його швидкісні та інші експлуатаційні характеристики.

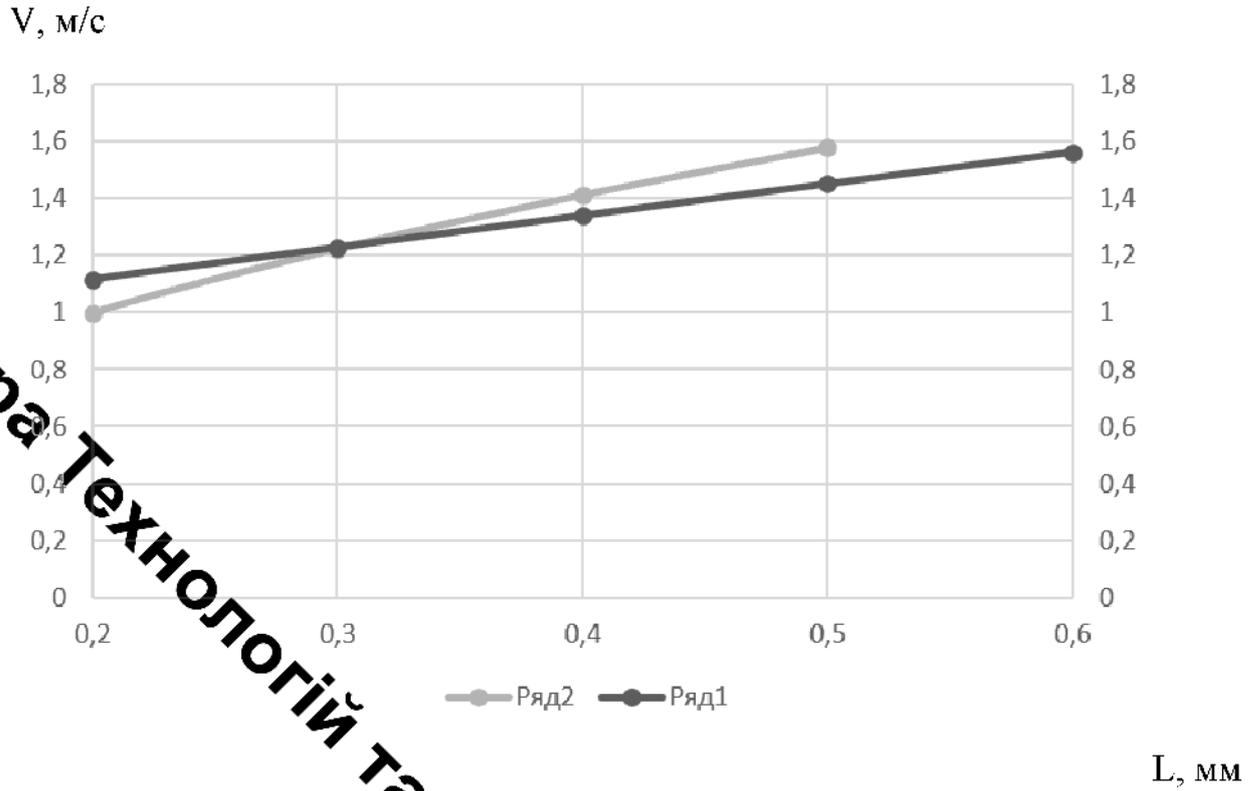


Рисунок 4.12 – Графік зміни швидкості переміщення по осях R та Z від максимального вильоту маніпулятора

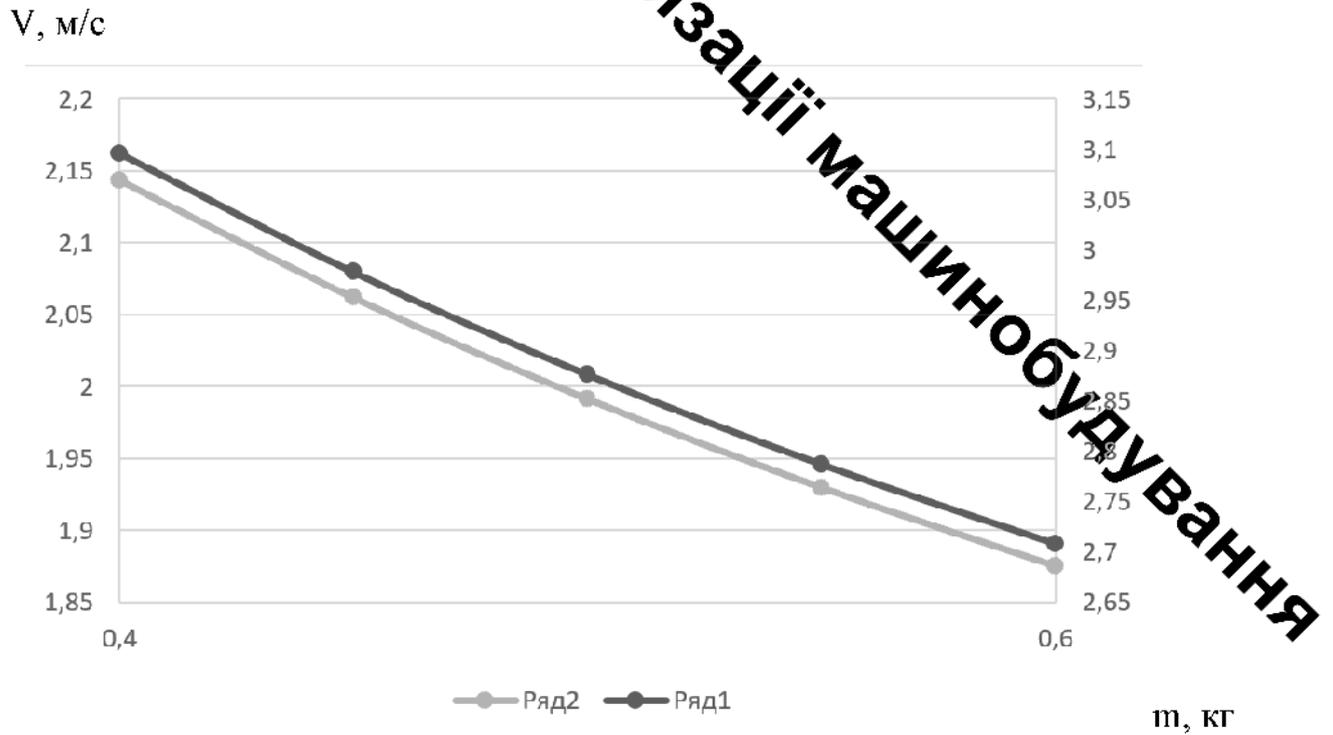


Рисунок 4.13 – Графік зміни швидкості переміщення по осях R та Z від маси

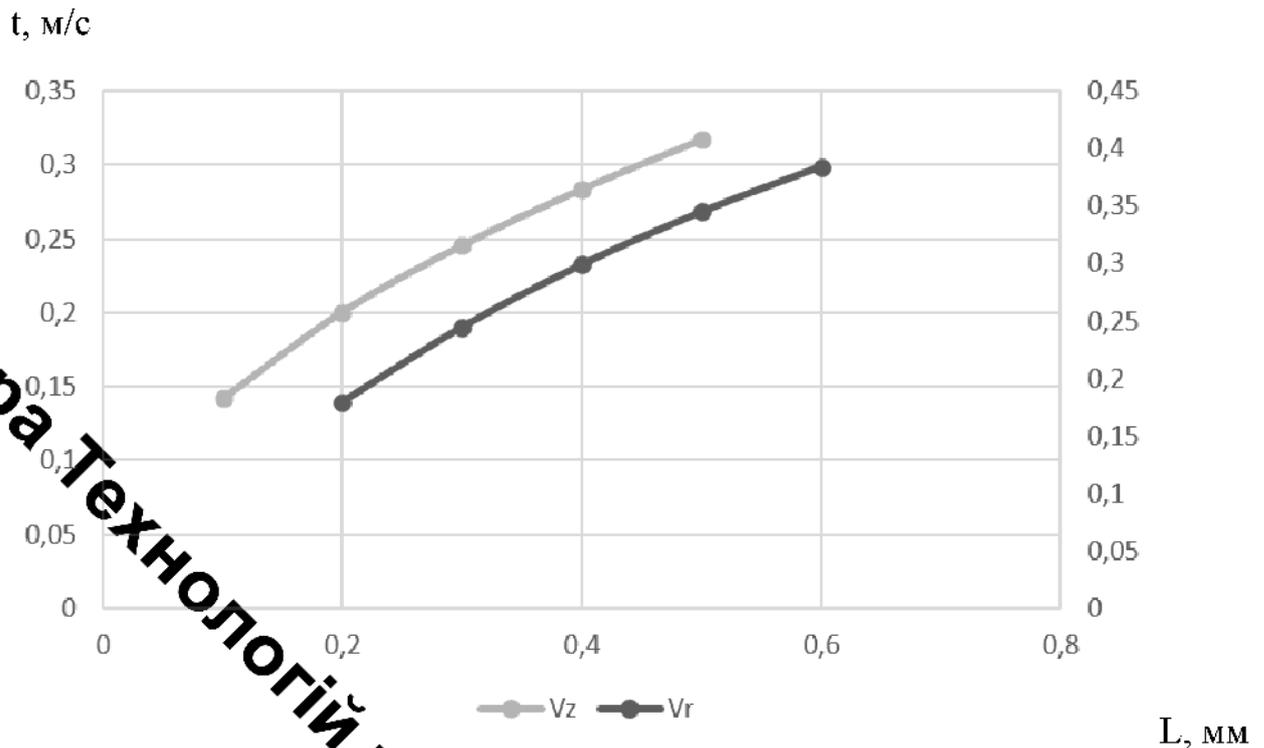


Рисунок 4.14 – Графік зміни часу виконання операції від максимального вильоту маніпулятора

Аналіз графічних залежностей, наведених на рис. 4.14–4.16, свідчить про те, що збільшення вильоту маніпулятора супроводжується підвищенням його лінійних швидкостей.

Підвищення лінійних швидкостей сприяє зростанню продуктивності роботи роботизованої системи.

Разом із тим, збільшення вильоту маніпулятора призводить до погіршення часових параметрів виконання операцій.

Подальшим етапом є визначення сумарних часових витрат на виконання всіх операцій, результати яких наведено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Алгоритм роботи АРМ

	<i>Коментар</i>	<i>Величина переміщення, мм(град)</i>	<i>Швидкість переміщення, м/с, °/с</i>	<i>Час, с</i>
<i>Захват заготовки</i>	<i>Переміщення руки ПР вперед</i>	500	0,3	1,66
	<i>Переміщення руки ПР вниз</i>	100	0,8	0,125
	<i>Затиск заготовки захватом ПР</i>	-		0,2
	<i>Переміщення руки ПР вгору</i>	100	0,8	0,125
	<i>Переміщення руки ПР назад</i>	500	0,3	1,66
<i>Сума</i>				3,77
<i>Установка заготовки на верстат</i>	<i>Поворот руки ПР за год. стрілкою</i>	90°	120	0,75
	<i>Переміщення руки ПР вперед</i>	500	0,3	1,66
	<i>Переміщення руки ПР вниз</i>	100	0,8	0,125
	<i>Переміщення корпусу вліво</i>	50	0,15	0,33
	<i>Розтиск захвату ПР</i>			0,2
	<i>Переміщення руки ПР вгору</i>	100	0,8	0,125
	<i>Переміщення руки ПР назад</i>	500	0,3	1,66
<i>Сума</i>				4,85
<i>Верстат</i>	<i>Затиск заготовки на верстатному пристосуванні</i>	-		3
	<i>Обробка заготовки</i>			39
	<i>Розтискання заготовки на верстатному пристосуванні</i>			3
				45
<i>Зняття заготовки з верстата</i>	<i>Переміщення руки ПР вперед</i>	500	0,3	1,66
	<i>Переміщення руки ПР вниз</i>	100	0,8	0,125
	<i>Затиск заготовки захватом ПР</i>			0,2
	<i>Переміщення корпусу вправо</i>	50	0,15	0,33
	<i>Переміщення руки ПР вгору</i>	100	0,8	0,125
	<i>Переміщення руки ПР назад</i>	500	0,3	1,66
				4,4
<i>Переміщення заготовки до місця складання готових деталей</i>	<i>Поворот руки ПР за год. стрілкою</i>	90°	120	0,75
	<i>Переміщення руки ПР вперед</i>	500	0,3	1,66
	<i>Переміщення руки ПР вниз</i>	100	0,8	0,125
	<i>Розтиск захвату ПР</i>	-		0,2
	<i>Переміщення руки ПР вгору</i>	100	0,8	0,125
	<i>Переміщення руки ПР назад</i>	500	0,3	1,66
	<i>Поворот руки ПР проти год. стрілки</i>	180°	120	1,5
				5,82
<i>Тактовий стіл</i>	<i>Переміщення на одну позицію</i>			2,7

Кафедра Технологій та Автоматизації Машинобудування

Циклограма є графічним зображенням послідовності роботи окремих елементів і підсистем (рис. 4.15).

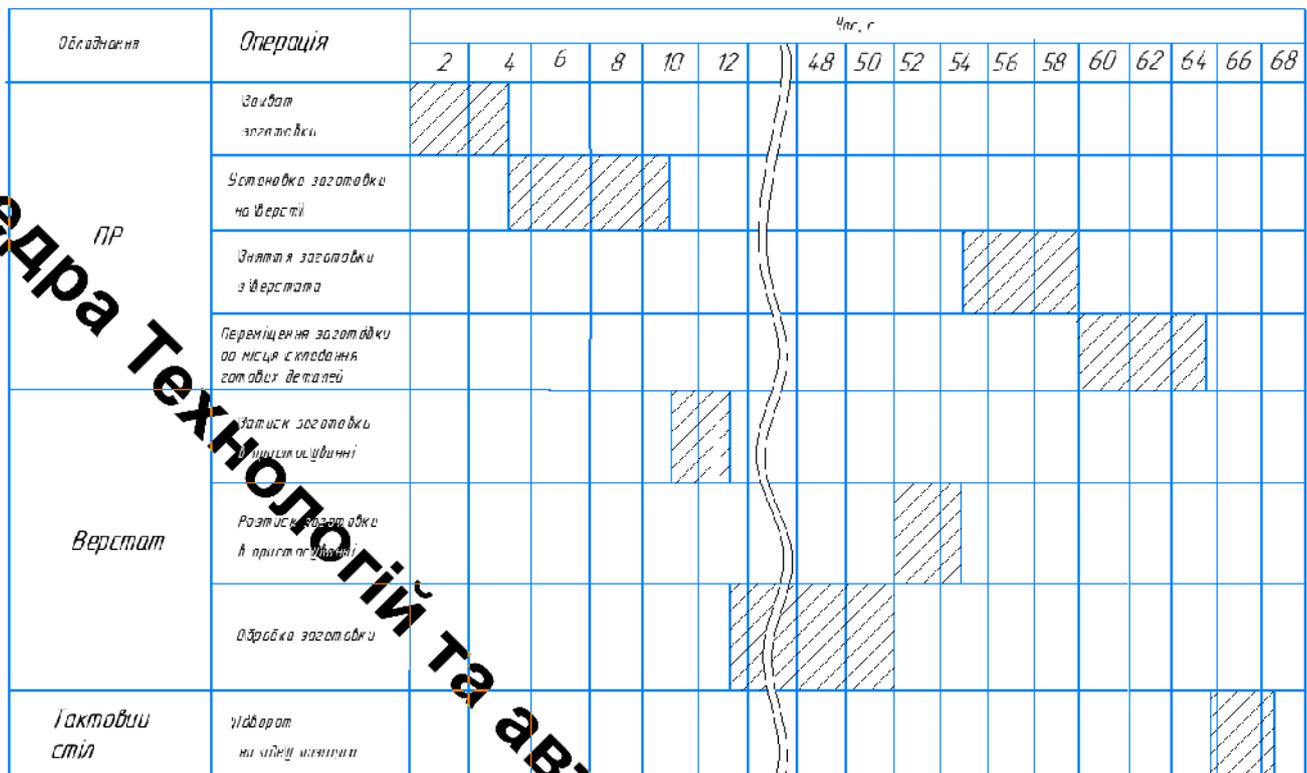


Рисунок 4.15 – Циклограма роботи робочого місяця

#### 4.11 Визначення основних показників АРМ

До основних показників, які характеризують роботу АРК можна віднести наступні:

циклова продуктивність  $Q_{ц}$ ;

коефіцієнт відносної завантаженості ПР  $K_{зр}$ ;

коефіцієнт використання ПР  $K_{вп}$ ;

коефіцієнт використання основного устаткування  $K_{во}$ ;

коефіцієнт завантаженості ПР  $K_{зв}$ ;

режим роботи робота.

Циклова продуктивність визначається по наступній формулі:

Циклова продуктивність визначається по наступній формулі:

$$Q_{\text{ц}} = \frac{1}{T_p}; \quad (4.8)$$

де  $T_p$  - тривалість робочого циклу,  $T_p = 66,52$  с;

$$Q_{\text{ц}} = \frac{1}{66,52} = 0,015(\text{с});$$

Коефіцієнт відносної завантаженості  $K_{\text{зр}}$

$$K_{\text{зр}} = \frac{P_{\text{ср}}}{P}; \quad (4.9)$$

де  $P_{\text{ср}}$  - середнє значення робочого навантаження,  $P_{\text{ср}} = 0,6$  кг;

$P$  - вантажопідйомність робота,  $P = 5$  кг;

$$K_{\text{зр}} = \frac{0,6}{5} = 0,12.$$

Коефіцієнт використання  $K_{\text{вр}}$

$$K_{\text{вр}} = \frac{T_{\text{пр}}}{T_p}; \quad (4.10)$$

де  $T_{\text{пр}}$  - час роботи ПР за робочий цикл,  $T_{\text{пр}} = 18,82$  с;

$$K_{\text{вр}} = \frac{18,82}{66,52} = 0,28;$$

Коефіцієнт використання основного устаткування  $K_{\text{во}}$

$$K_{\text{во}} = \frac{T_o}{T_p}; \quad (4.11)$$

Кафедра Технологій та Автоматизації Машинобудування

де  $T_O$  - час роботи основного устаткування за робочий цикл 39

$$K_{BO} = \frac{39}{66,52} = 0,58.$$

#### 4.12 Висновки до розділу

Проведено аналіз особливостей встановлення деталі на верстаті із застосуванням промислового робота.

Розроблено верстатне пристосування для обробки деталі «Фланець Ф-25К» на вертикальному фрезерному верстаті з ЧПК.

Виконані розрахунки складових похибки установки заготовки на пристосуванні; точність позиціонування складає 20,2 мкм, що забезпечує дотримання всіх необхідних розмірних допусків на даній операції.

Обрано модель промислового робота «Універсал 5.02» для інтеграції в автоматизоване робоче місце.

Визначено конструкцію захватного пристрою для роботи з деталлю «Фланець Ф-25К».

Розраховано часові витрати та проаналізовано залежність швидкісних і часових характеристик робота від параметрів маніпулятора та маси оброблюваного вантажу.

Встановлено параметри роботи робочого місця; загальний час циклу складає 66,52 с.

## 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 «Фланець Ф-25К»  $k_{\text{нов}} = 20$ . 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:

$$E_{\text{нау}} = 0,6 \cdot 20 + 0,4 \cdot 15 = 18.$$

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 "Фланець Ф-25К". 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 роботоздатність 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	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		
	Сухоруков С.І.	Дерібо О.В.	Сердюк О.В.
	Бали, виставлені експертами:		
1	2	2	2
2	2	2	2
3	2	2	3
4	2	2	2
5	2	2	2
6	3	3	2
7	2	2	2
8	3	2	2
9	3	2	2
10	3	3	3
11	3	3	2
12	3	3	2
Сума балів	СБ <sub>1</sub> =21	СБ <sub>2</sub> =29	СБ <sub>3</sub> =27
Середньоарифметична сума балів СБ	$(21 + 29 + 27)/3 = 23$		

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	5000	1,25
Час обробки на один виріб	хв.	1,66	1,11	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:

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

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

$n$  - кількість параметрів інноваційного рішення, що прийняті для оцінки;

$\alpha_i$  - 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	5000	1,25	0,4
Час обробки на один виріб	1,66	1,11	1,49	0,4
Економічні показники				
Собівартість комплексу	110000	90000	0,82	0,7
Капітальні вкладення	800000	850000	0,94	0,3

Відносний рівень якості інноваційного рішення визначаємо за формулою:

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

$$K_{яв} = 1 \cdot 0,3 + 1,25 \cdot 0,4 + 0,4 \cdot 1,49 = 1,4.$$

Відносний коефіцієнт показника якості інноваційного рішення більший одиниці, це означає, що інноваційний продукт якісніший базового товару конкурента на 40% (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:

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

де  $I_{mn}$  - 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.

$$I_{en} = (90000 \cdot 0,7 + 850000 \cdot 0,3) / (110000 \cdot 0,7 + 800000 \cdot 0,3) = 1,01;$$

$$K = 1,4 / 1,01 = 1,38 > 1.$$

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 [19, 20]:

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

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:

$$Z_o = \frac{35000}{22} \cdot 18 = 28636 \text{ (грн.)}.$$

Аналогічно розраховуємо заробітну плату інших розробників. При цьому необхідно врахувати, що найбільшу частину роботи виконує інженер-технолог. Результати розрахунків зведено до таблиці 5.8.

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	1591	18	28636
2.	Інженер-налагоджувальник	20000	909	22	20000
4.	Верстатник/слюсар	20000	909	22	20000
Всього					68636

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:

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

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  $T_p = 21 \div 22$ ;

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

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

$$C_4 = 8000 \cdot 1,5 \cdot 1,37 / (22 \cdot 8) = 93,41 \text{ (грн./год.)};$$

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	93,41	11209
Роботи верстатника/ слюсара	140	4	93,41	13077
Роботи налагоджувальника	90	4	93,41	8407
Всього				32693

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

$$З_д = (68636 + 32693) \cdot 12\% = 12159 \text{ (грн.)}$$

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

$$(68636 + 32693 + 12159) \cdot 0,22 = 32515 \text{ (грн.)}$$

Амортизація обладнання, які використовуються під час виготовлення пристосування.

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

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

де Ц – балансова вартість обладнання, грн;

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

$T_{нв}$  – 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	22000	4	12	5500
Промисловий робот	300000	10	12	30000
Слюсарне обладнання	120000	5	1	2000
Обладнання для компоновки і налаштування	240000	5	1	4000
Обладнання для розрахунків	80000	5	1	1333

Відповідно:

$$A = 5500 + 30000 + 2000 + 4000 + 1333 = 42833(\text{грн.}).$$

Витрати на матеріали розраховуються по кожному виду матеріалів за формулою:

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

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

$\Pi_i$  – вартість матеріалу  $i$ -го найменування, грн./кг.,

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

$V_i$  – маса відходів  $i$ -го найменування,

$\Pi_v$  – 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:

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

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

$$C_e = (5,099 + 2,674 + 0,421)(1 + 20\%/100\%) = 13,43 \text{ (грн)}.$$

Таблиця 5.11 – Результати розрахунків витрат електроенергії

Найменування обладнання	Час роботи, год.	Потужність, кВт.	Коефіцієнт використання
Комп'ютерне обладнання	20 днів = 20 · 8 = = 160 годин	0,4	1
Приміщення (освітлення)	140	0,9	1
Промисловий робот	100	10	1
Допоміжне обладнання	90	15	0,8

$$Ц_{e1} = 13,43 \cdot 0,4 \cdot 160 \cdot 1 = 860 \text{ (грн.)},$$

$$Ц_{e2} = 13,43 \cdot 0,9 \cdot 120 \cdot 1 = 1692 \text{ (грн.)},$$

$$Ц_{e3} = 13,43 \cdot 10 \cdot 100 \cdot 0,9 = 13430 \text{ (грн.)},$$

$$Ц_{e4} = 13,43 \cdot 15 \cdot 90 \cdot 0,8 = 14504 \text{ (грн.)},$$

$$Ц_e = 860 + 1692 + 13430 + 14504 = 30486 \text{ (грн.)}.$$

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

$$I_b = (1...3) (Z_o + Z_p), \quad (5.10)$$

$$I_b = 3 \cdot (68636 + 32693) = 303987 \text{ (грн.)}$$

Усі витрати складають:

$$B = 68636 + 32693 + 12159 + 32515 + 42833 + \\ + 30486 + 303987 = 523309 \text{ (грн.)}$$

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

Тоді

$$B_{\text{заг}} = 523309 / 0,95 = 550852 \text{ (грн.)}$$

Прогнозування загальних витрат здійснюється за формулою:

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

де  $\beta$  – 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  $\beta \approx 0,5$ .

Тоді:

$$ЗВ = 550852 / 0,5 = 1224116 \text{ (грн.)}$$

Тобто прогнозовані витрати на розробку способу суміщеної обробки та впровадження результатів даної роботи становлять приблизно 1224116 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 1500 шт. Середня ціна виготовлених виробів 90-150 тис. грн. Оскільки собівартість виготовлення фланців 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 2026 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 1500 шт.;

2-й рік після впровадження (2027 р.) – приблизно 1300 шт.;

3-й рік після впровадження (2028 р.) – приблизно 1000 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:

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

де  $\Delta C_0$  – покращення основного оціночного показника від впровадження результатів розробки у даному році. Зазвичай таким показником є зменшення ціни нового виробу, грн.; ми вважаємо, що  $\Delta C_0 = 7200$  грн;

$N$  – основний кількісний показник, який визначає обсяг діяльності у даному році до впровадження результатів розробки; було встановлено, що  $N = 1500$  шт.;

$\Delta N$  – 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;

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

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

$\vartheta$  – 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:

$$\Delta \Pi_1 = (1500 \cdot 7200) \cdot 0,8333 \cdot 0,25 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 1844926(\text{грн.})$$

$$\Delta \Pi_2 = (1300 \cdot 7200) \cdot 0,8333 \cdot 0,25 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 1598936(\text{грн.})$$

$$\Delta \Pi_3 = (1000 \cdot 7200) \cdot 0,8333 \cdot 0,25 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 1229951(\text{грн.})$$

$$\Delta \Pi_4 = (600 \cdot 7200) \cdot 0,8333 \cdot 0,25 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 737970(\text{грн.})$$

### 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  $E_{абс}$ . Для цього користуються формулою:

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

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

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

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

де  $\Delta\Pi_t$  – 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;

$\tau$  – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні. Для України приймемо, 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:

$$ПП = \frac{1844926}{(1+0.1)^2} + \frac{1598936}{(1+0.1)^3} + \frac{1229951}{(1+0.1)^4} + \frac{737970}{(1+0.1)^5} = 5411783 \text{ (грн.)}$$

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

$$E_{abc} = 5411783 - 1224116 = 4187667 \text{ (грн.)}$$

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:

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

де  $E_{абс}$  – абсолютна ефективність вкладених інвестицій,  $E_{абс} = 4187667$  грн.;

$PV$  – теперішня вартість інвестицій  $PV = 1224116$  грн.;

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

Для нашого випадку:

$$E_B = \sqrt[5]{1 + 4187667/1224116} - 1 = 0,35 = 35\%.$$

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  $E_b = 35\% > \tau_{\min} = 25\%$ , то інвестор у принципі може бути зацікавлений у фінансуванні нашої розробки.

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

$$T_{ок} = 1/E_b,$$

$$T_{ок} = 1/0,35 = 2,9.$$

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 2,9 років.

## ВИСНОВКИ

1. Аналіз сучасних засобів автоматизації виробництва дозволяє встановити основні напрями їх застосування, серед яких визначальне значення має інтеграція промислових роботів і допоміжного обладнання з металорізальними верстатами, оснащеними ЧПК.
2. Роботизовані та автоматизовані компоненти технологічних комплексів, як правило, залучаються до виконання допоміжних операцій у загальному виробничому процесі.
3. Для обслуговування верстатного обладнання переважно використовуються промислові роботи з кількістю ступенів вільності не менше чотирьох, конструктивно реалізовані на основі циліндричної системи координат.
4. У складі автоматизованого робочого місця промислові роботи виконують ключові функції автоматизації, забезпечуючи механізоване та автоматичне завантаження і вивантаження заготовок та оброблених деталей.
5. Проаналізовано існуючий технологічний процес механічної обробки заготовки деталі «Фланець Ф-25К».
6. На основі аналізу для автоматизації обрано 015 операцію, оскільки вона має значний відсоток допоміжного часу і менші вимоги щодо точності базування заготовки.
7. Як основу компоновки обрано кільцеву схему.
8. Складено перелік операцій та відповідного обладнання для їх виконання на автоматизованому робочому місці.
9. Створено загальний алгоритм функціонування автоматизованого робочого місця для технологічної обробки деталі «Фланець Ф-25К».
10. Проведено аналіз особливостей встановлення деталі на верстаті та застосуванням промислового робота.
11. Розроблено верстатне пристосування для обробки деталі «Фланець Ф-25К» на вертикальному фрезерному верстаті з ЧПК.

12. Виконані розрахунки складових похибки установки заготовки на пристосуванні; точність позиціонування складає 20,2 мкм, що забезпечує дотримання всіх необхідних розмірних допусків на даній операції.

13. Обрано модель промислового робота «Універсал 5.02» для інтеграції в автоматизоване робоче місце.

14. Визначено конструкцію захватного пристрою для роботи з деталлю «Фланець Ф-25К».

15. Розраховано часові витрати та проаналізовано залежність швидкісних і часових характеристик робота від параметрів маніпулятора та маси оброблюваного вантажу.

16. Встановлено параметри роботи робочого місця; загальний час циклу складає 66,52 с.

17. При оцінці економічної ефективності наукового дослідження було визначено комерційний потенціал дослідження та розраховано кошторис капітальних витрат на модернізацію цільниці 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 2,9 років.

Кафедра Технологій та Автоматизації Машинобудування

## 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. Karabegović, Isak & Karabegović, Edina & Husak, Ermin. (2011). Industrial Robots and their application in serving CNC machine TOOLS. 15th International Research/Expert Conference "Trends in the Development of Machinery and Associated Technology" TMT 2011, Prague, Czech Republic, 12-18 September 2011
4. Dzedzickis, Andrius & Subaciute-Zemaitiene, Jurga & Šutinys, Ernestas & Prentice, Urte & Bučinskas, Vytautas. (2021). Advanced Applications of Industrial Robotics: New Trends and Possibilities. Applied Sciences. 12. 135. 10.3390/app12010135.
5. Pratikkumar R. Hingu, et. al. "Industrial Robot and Automation." The International Journal of Engineering and Science (IJES), 10(02), (2021): pp. 15-23.  
DOI:10.9790/1813-1002011523
6. Роботизовані технологічні комплекси / Г.Г. Костюк, О.О. Баранов, І.Г. Левченко, В.А. Фадєєв - Учеб. Посібник. - Харків. Нац. аерокосмічний університет "ХАІ", 2013. - 214с.
7. Павленко І.І., Мажара В.А. Роботизовані технологічні комплекси: Навчальний посібник. – Кіровоград: КНТУ, 2010. – 392 с.
8. О.С.Піменов, М.М. Компанець Застосування роботизованих комплексів технологічного процесу // XLVI Науково-технічна конференція факультету комп'ютерних систем і автоматики (2017) – Електрон. текст. дані. 2017. <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2017/paper/view/2724/2604>.
9. М.О.Годунко, М.М. Сотник Роботизовані технологічні комплекси в сучасному виробництві // Наукові записки КНТУ, вип.11, ч.ІІІ, 2011. С100-103.

10. Karabegović, I, Jurković, M.; Doleček, V.: Primjena industrijskih robota u Europi i svijetu // Conference on Production Engineering. 2005. 29-46, Vrnjačka Banja, 2005.

11. Jurković, M, Karabegović, I.: Napredne tehnologije za zemlje u tranziciji // Development and Modernization of Production / RIM-2003, Karabegović, Isak ; Jurković, Milan ; Doleček, Vlatko (ur.). University of Bihać ; International Biographical Centre Cambridge, Bihać, 2003. 23-38, ISBN 9958-624-16-8 (pozvano predavanje, znanstveni rad).

12. Park Y-K, Park J, Kim S, Lee D, Lee S, Um J. Development of Digital twin for Plug-and-Produce of a Machine tending system through ISO 21919 interface. International Journal of Computer Integrated Manufacturing. 2023:1-16.

13. M. Miscevic and Dj. Dihovieni. APLICATION OF ROBOTICS AND CNC MACHINES IN PRODUCTION / Applied Engineering Letters Vol.5,No.4, 2020. p.135-141.

14. Цвіркун Л.І. Робототехніка та мехатроніка: навч. посіб. / Л.І.Грулер; під заг. ред Л.І. Цвіркуна; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т.– 3-тє вид., переробл. і доповн. – Дніпро: НГУ, 2017. – 224 с.

15. Гідроприводи та гідропневмоавтоматика. Підручник./ В.О. Федорець, М.Н. Педченко, В.Б.Струтинський та ін,- К.: Вища шк., 1995,- 463с.

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

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

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

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

20. 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.

21. 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.

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

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

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

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

26. 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).

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

28. 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)****ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА****АВТОМАТИЗАЦІЯ РОБОЧОГО МІСЦЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ  
МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ "ФЛАНЕЦЬ Ф-25К"***(Назва магістерської кваліфікаційної роботи)***Кафедра Технологій та Автоматизації машинобудування**

## Мета та задачі роботи

**Метою роботи** є автоматизація робочого місця технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі "Фланець Ф-25К".

виконати огляд сучасних методів та засобів автоматизації, що застосовуються в технологічному виробництві;

проаналізувати маршрут механічної обробки заготовки та визначити операції, які доцільно автоматизувати;

розробити загальну структуру автоматизованого робочого місця та побудувати алгоритм його функціонування;

вибрати технологічне обладнання і спроектувати для нього автоматизоване пристосування;

виконати розрахунки основних параметрів автоматизованого робочого місця та дослідити їх вплив на ефективність роботи;

розробити компоновку автоматизованого робочого місця, забезпечивши раціональне розміщення обладнання;

провести розрахунок та аналіз економічної доцільності впровадження автоматизованої обробки деталі;

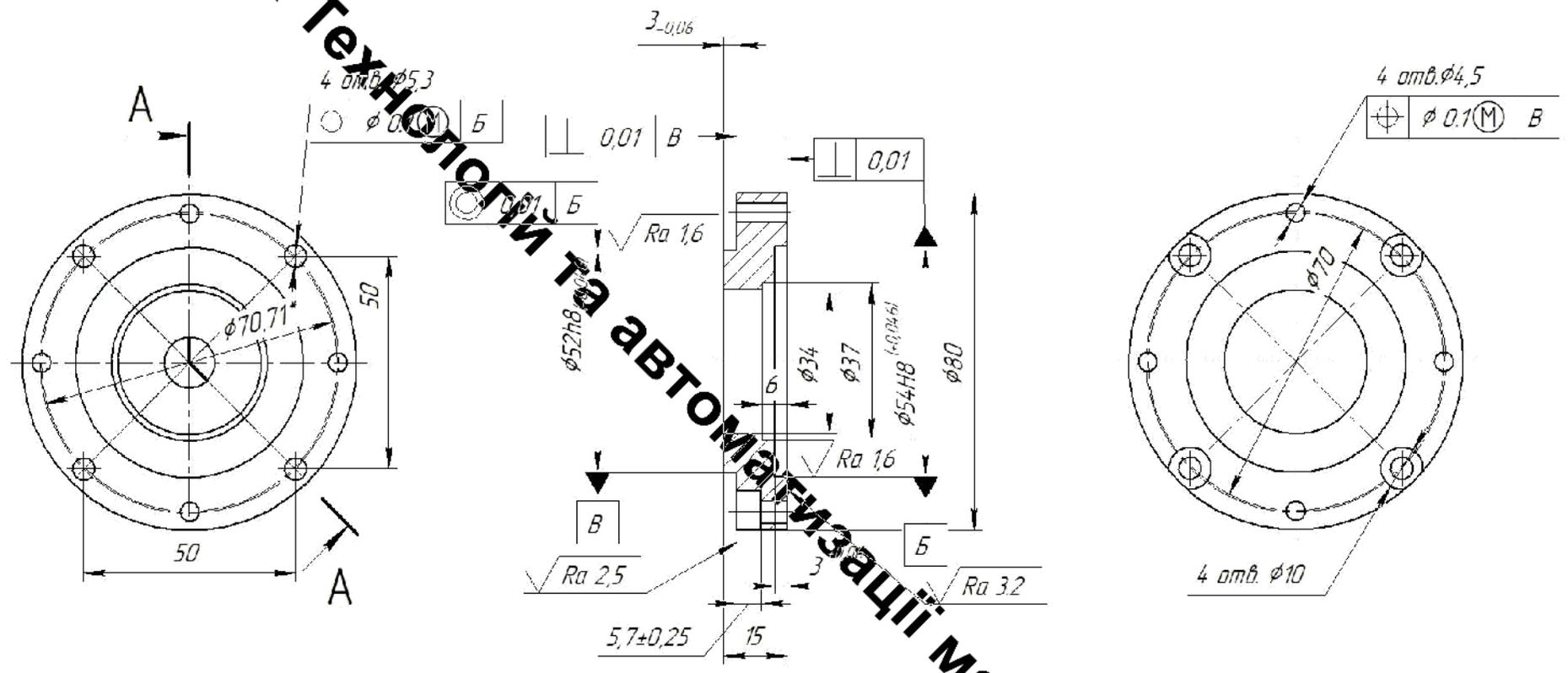
**Об'єкт дослідження** – автоматизоване робоче місце технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі "Фланець Ф-25К".

**Предмет дослідження** – технологічний процес механічної обробки деталі «Фланець Ф-25К».

**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.

08-64.МКР.006.00.001

√ Ra 12,5 (√)



- Невказані граничні відхилення отворів Н14, валів h14, IT 14/2
- Гострі кромки притупити фасками 0,5x45° мм.

				08-64.МКР.006.00.001		
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Лист	Лист	Масса
Разробл.	Козловський В.О.			02.12.2025	1	0.354
Проб.	Лозинський В.О.			02.12.2025	1	1:1
Т.контр.					Лист	Листов 1
Н.контр.	Сердюк О.В.			04.12.2025	Сталь 30 ГОСТ 1050-88	
Утв.	Козлов В.И.			04.12.2025	ВНТУ, гр.ІПМ-24М	

Копіяридел

Формат А3

Меню армен

Сторінка №

Листів у докум.

Всього листів №

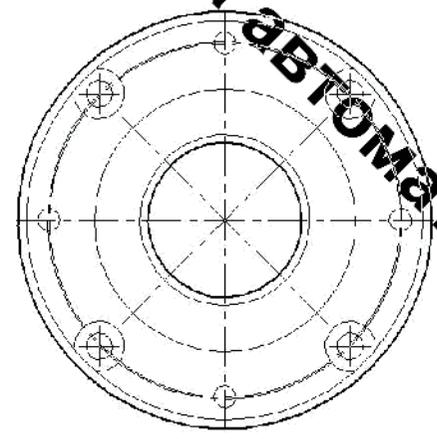
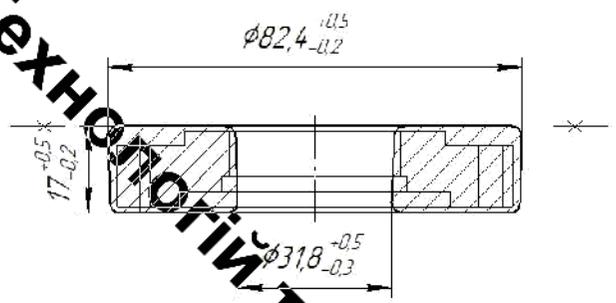
Всього сторінок №

Листів у докум.

Листів у докум.

08-64.МКР.006.00.002

✓ Ra 20



1. 10-М1-С1 ГОСТ 7505-89.
2. Невказані штампувальні нахили 2-4°, радіуси 2,0 мм.
3. Допускається заусенець 2 мм.
4. Невказані допуски радіусів заокруглень 0,5 мм
5. Допускаємо зміщення по площині роз'єму 0,3 мм.
6. Допуск на вигнутість та відхилення від площ. 0,2мм.
7. Величина остаточного відлю 0,5.

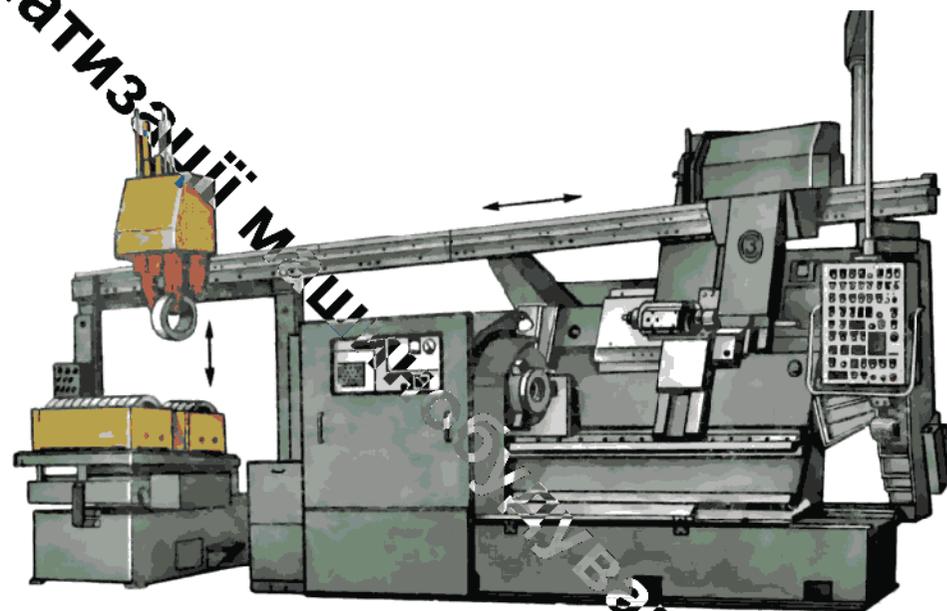
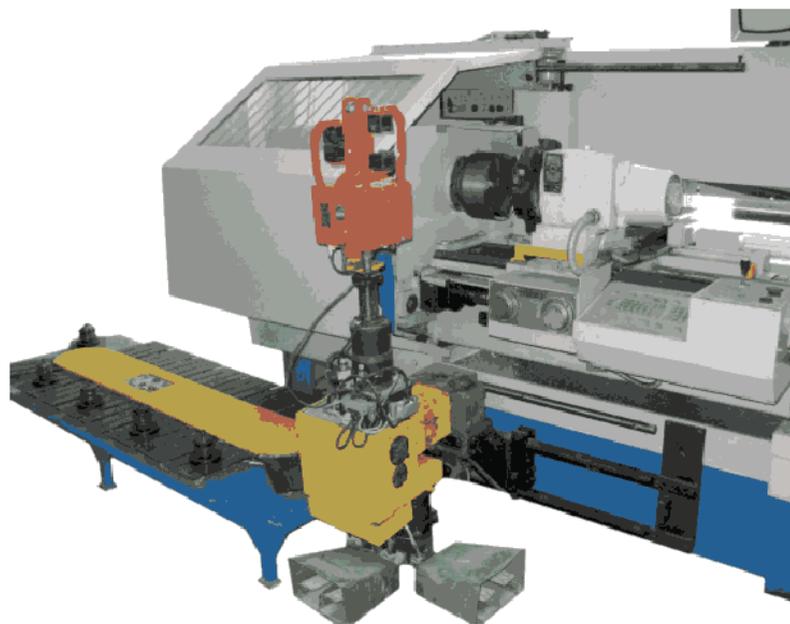
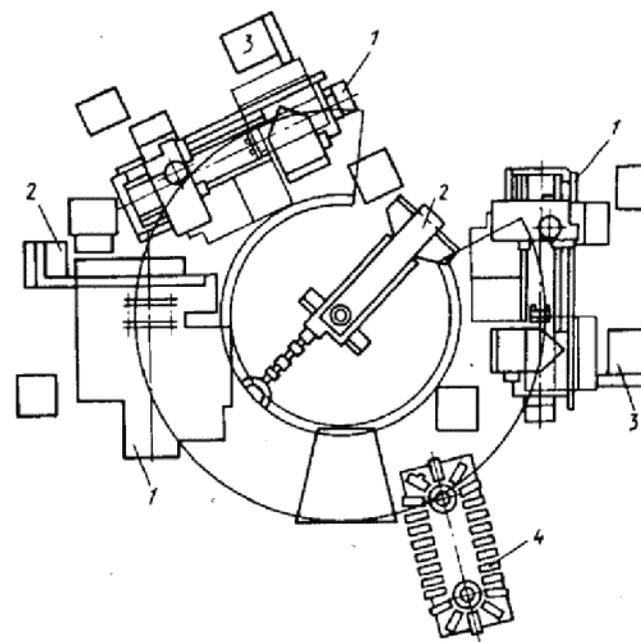
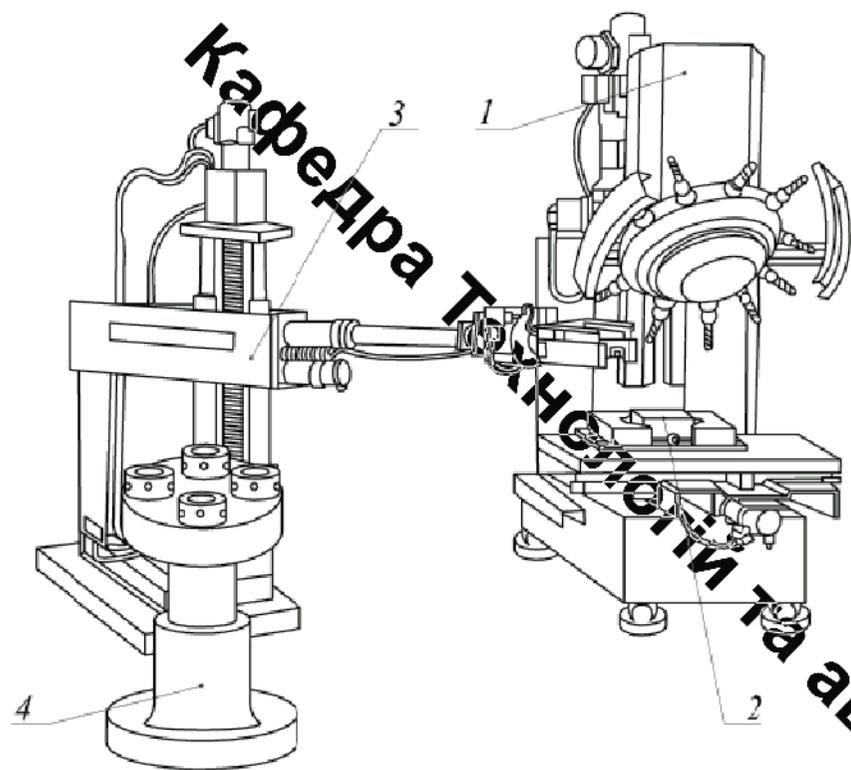
Мат. пр. армен.	
Станд. №	
Підп. і дата	
Взам. зваб. №	
Підп. і дата	
Мат. пр. армен.	
Взам. зваб. №	
Підп. і дата	
Мат. пр. армен.	
Взам. зваб. №	
Підп. і дата	

				08-64.МКР.006.00.002		
Изм	Лист	№ док-м.	Підп.	Лист	Лит.	Масса
Разроб.	Козловський В.О.			02.12.2025	Фланець Ф-25К	0.603
Проб.	Лозинський В.О.			02.12.2025	(покавка)	1:1
Т.контр.					Лист	Листов
Н.контр.	Сердюк О.В.			04.12.2025	Сталь 30 ГОСТ 1050-88	ВНТУ, зр.1ПМ-24М
Утв.	Козлов В.И.			04.12.2025		

Копія

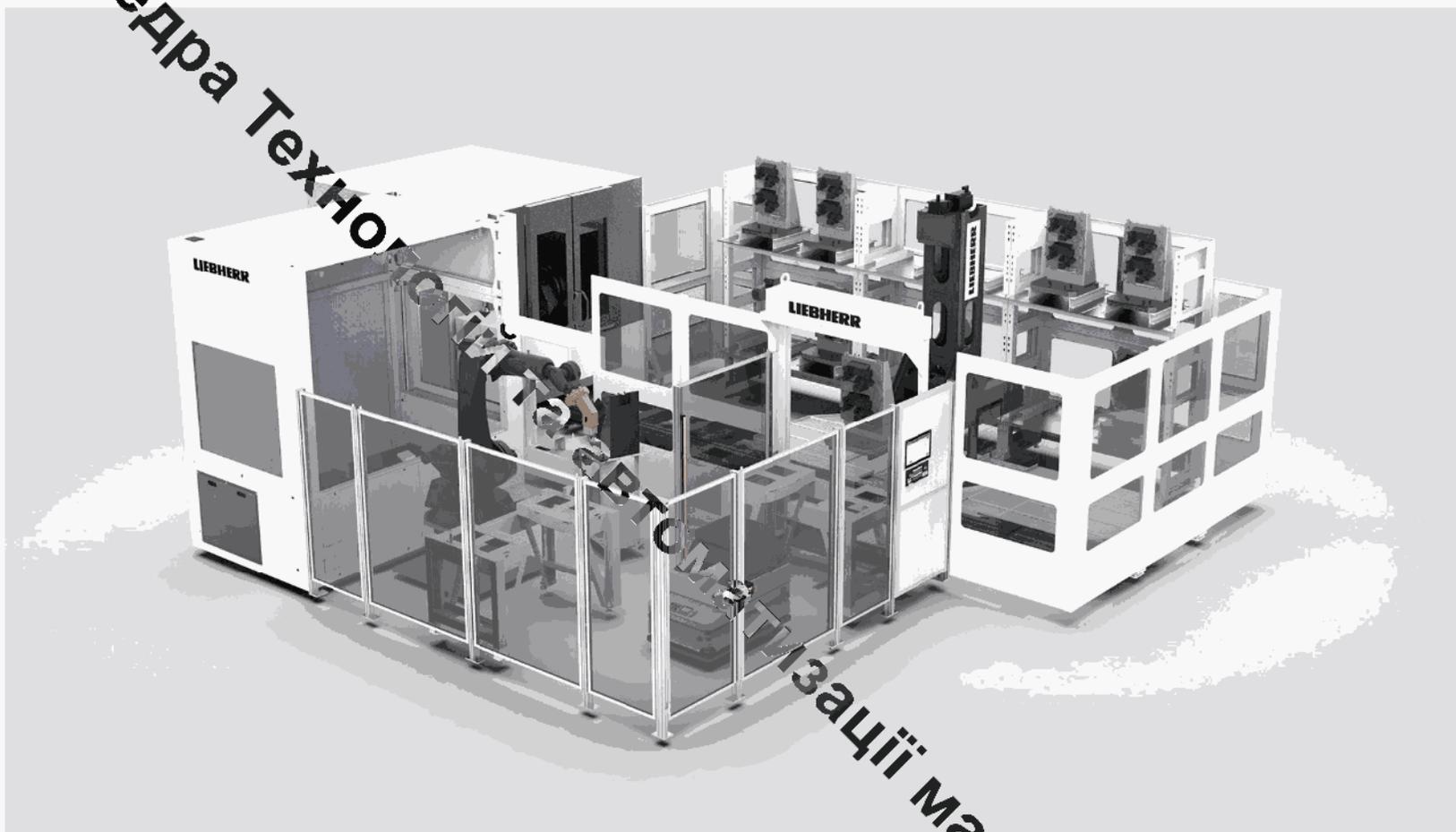
Формат А3





Автоматизоване робоче місце

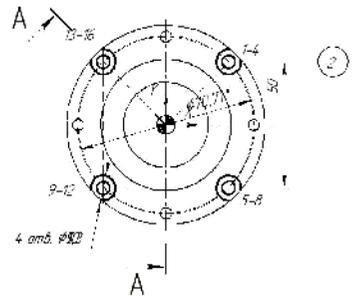
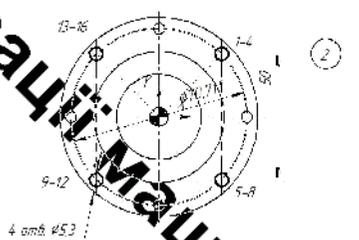
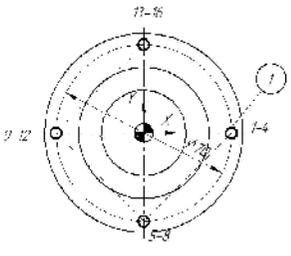
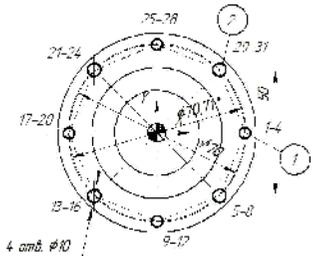
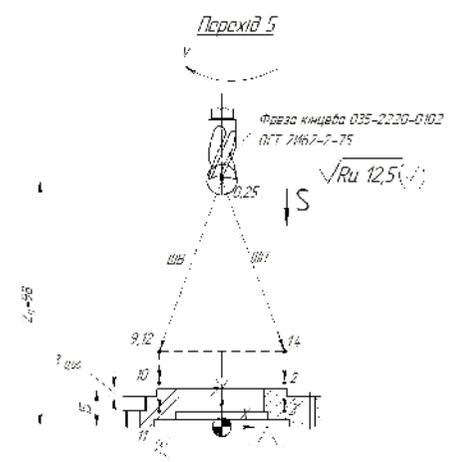
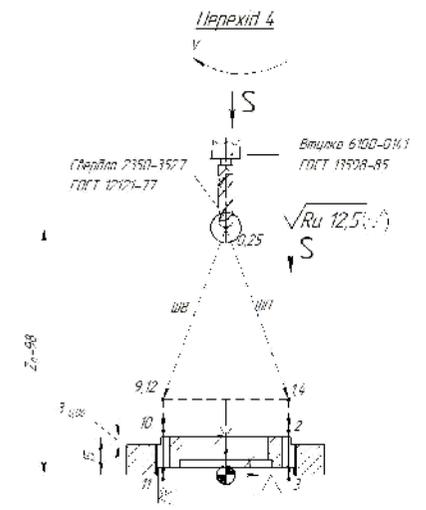
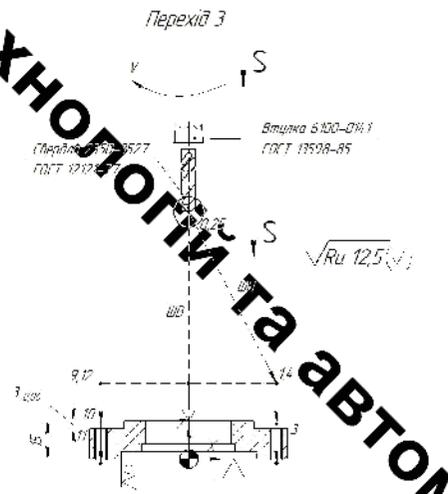
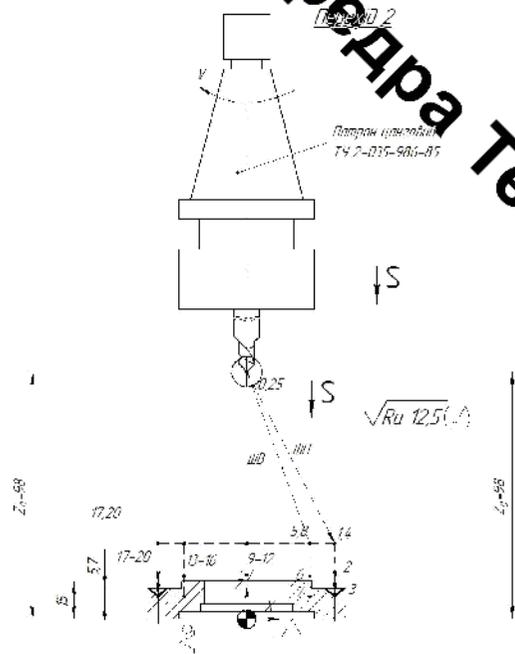
Кафедра Технологій



Автоматизоване робоче місце

Автоматизації машинобудування

# Кафедра Технології та Автоматизації Машинобудування



1. Встановити заготовку
2. Центрувати 4 отвори 1 та 4 отвори 2
3. Свердлити 4 отвори 1
4. Свердлити 4 отвори 2
5. Іеківати 4 отори 2 з цієї заготовки

		08-64.МКР.006.00.003	
Відп.	Проєкт.	Висл.	Висл.
Викон.	Деталь.	Висл.	Висл.
Висл.	Висл.	Висл.	Висл.
		Карта налагоджень	
Висл.	Висл.	Висл.	Висл.
		ВНТУ	
		вд. 1011-2411	
		Лист 01	

Кафедра Технологій та Автоматизації машинобудування

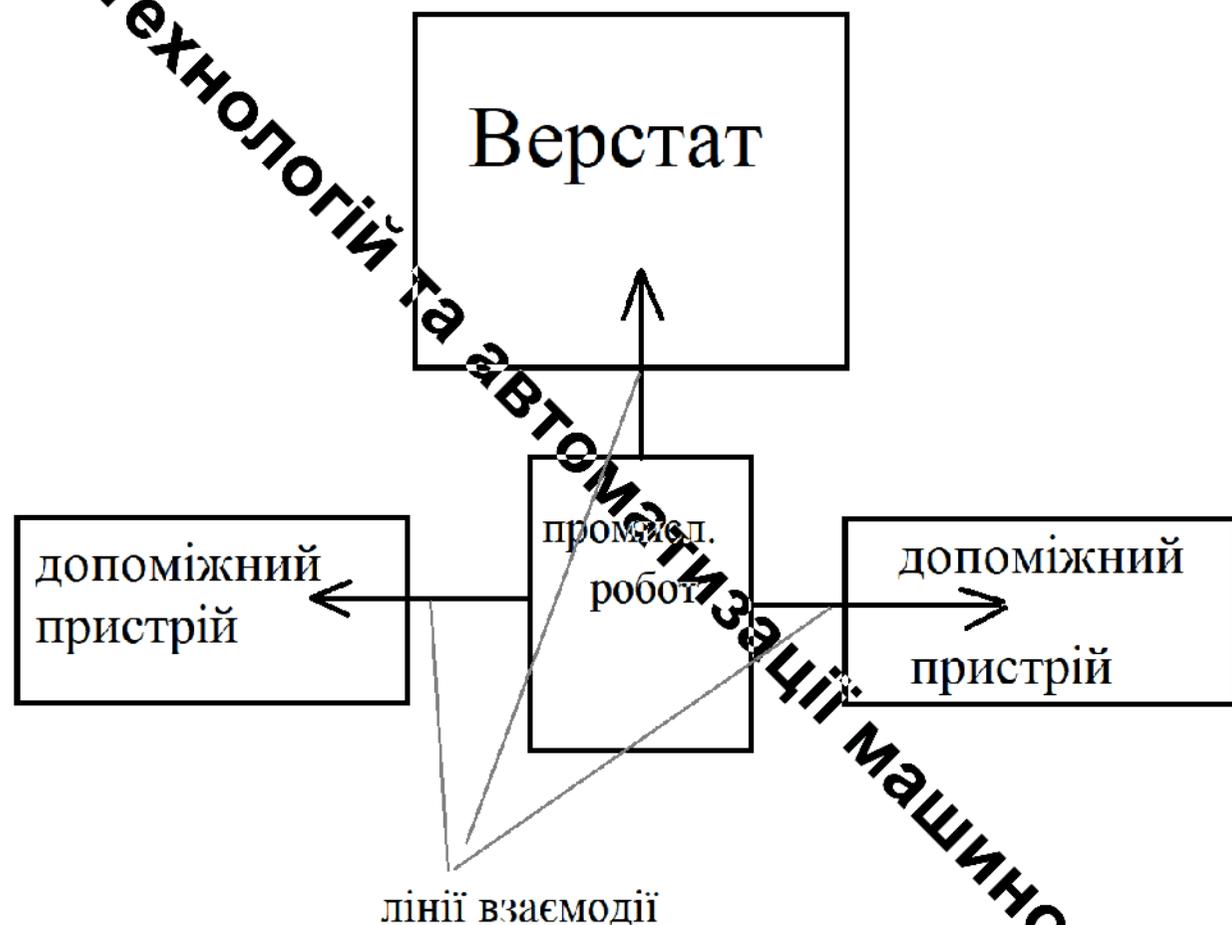
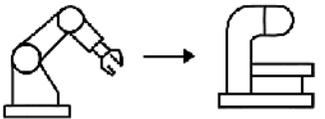
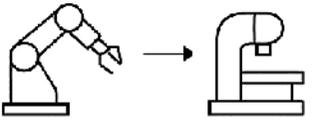
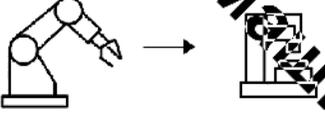
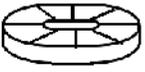


Схема автоматизованого робочого місця

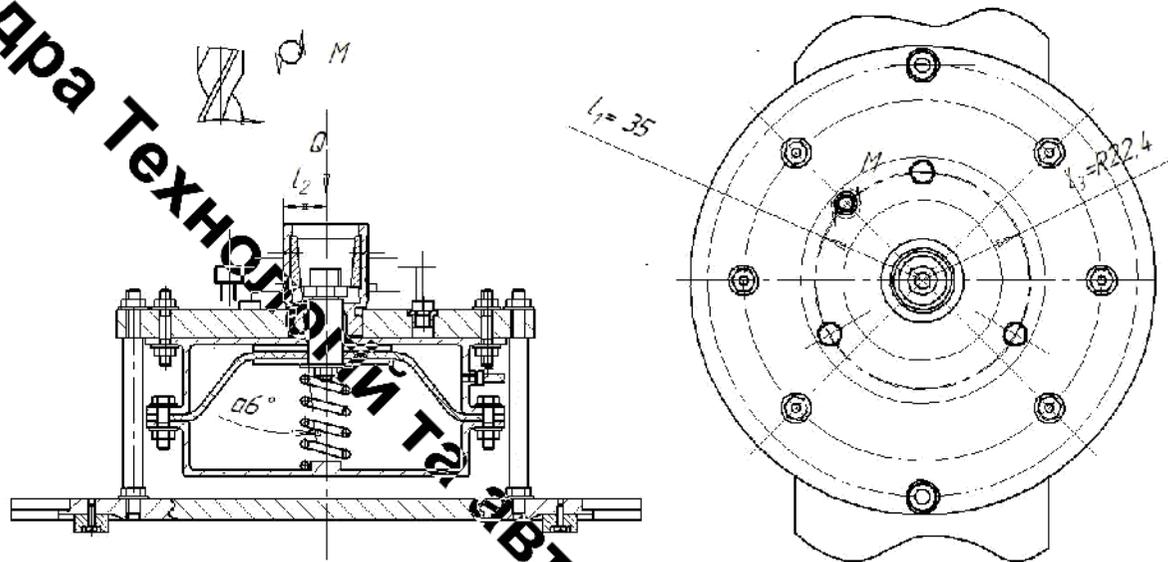
Кафедра Технологій та Автоматизації Машинобудування

Вид роботи	Технологічний елемент
Підготовка заготовки, попереднє встановлення	 Оснащення для попередньої орієнтації заготовок
Захват заготовки	 Промисловий робот      Верстатне оснащення
Установка заготовки на верстат	 Промисловий робот      Верстат
Обробка заготовки на верстаті	 Промисловий робот      Верстат
Зняття заготовки з верстата	 Промисловий робот      Верстатне оснащення
Переміщення наступної заготовки	 Тактовий стіл

Загальний алгоритм роботи автоматизованого робочого місця

# Розрахункова схема визначення сили закріплення

Кафедра Технологій та Автоматизації машинобудування



$$(M/D) \cdot l_1 = 3F_{\text{уп}} \cdot l_2 + 3F_{\text{уп1}} \cdot l_3$$

$$(M/D) \cdot l_1 = 3P_{\text{зат}} \cdot f \cdot l_2 + 3P_{\text{зат}} \cdot f_1 \cdot l_3$$

$$P_{\text{зат}} = (M/D) \cdot l_1 / (3(f \cdot l_2 + f_1 \cdot l_3))$$

$$P_{\text{зат}} =$$

$$P_{\text{зат}} = 306 \cdot 0,008 / (3 \cdot (0,2 \cdot 0,017 + 0,25 \cdot 0,035)) = 67,16 \text{ (H)}$$

$$P_3 = 67,16 \cdot 2,69 = 180 \text{ (H)}$$

$$Q = P_{\text{зат}} \cdot (\eta \cdot (\operatorname{tg}(\alpha + \varphi_{\text{по}}) + \operatorname{tg} \varphi_1))$$

$$Q = \frac{180}{0,9} \cdot (\operatorname{tg}(6+11) + \operatorname{tg} 5,5) = 514,3 \text{ (H)}$$

де  $F_{\text{уп}}$  та  $F_{\text{уп1}}$  – сили тертя між упором і деталю і між деталю і опорою відповідно;

$f = 0,2$ ,  $f_1 = 0,35$  – коефіцієнт тертя;

$l_1 = 35$  мм – відстань від вісі деталі до точки прикладання сил різання;

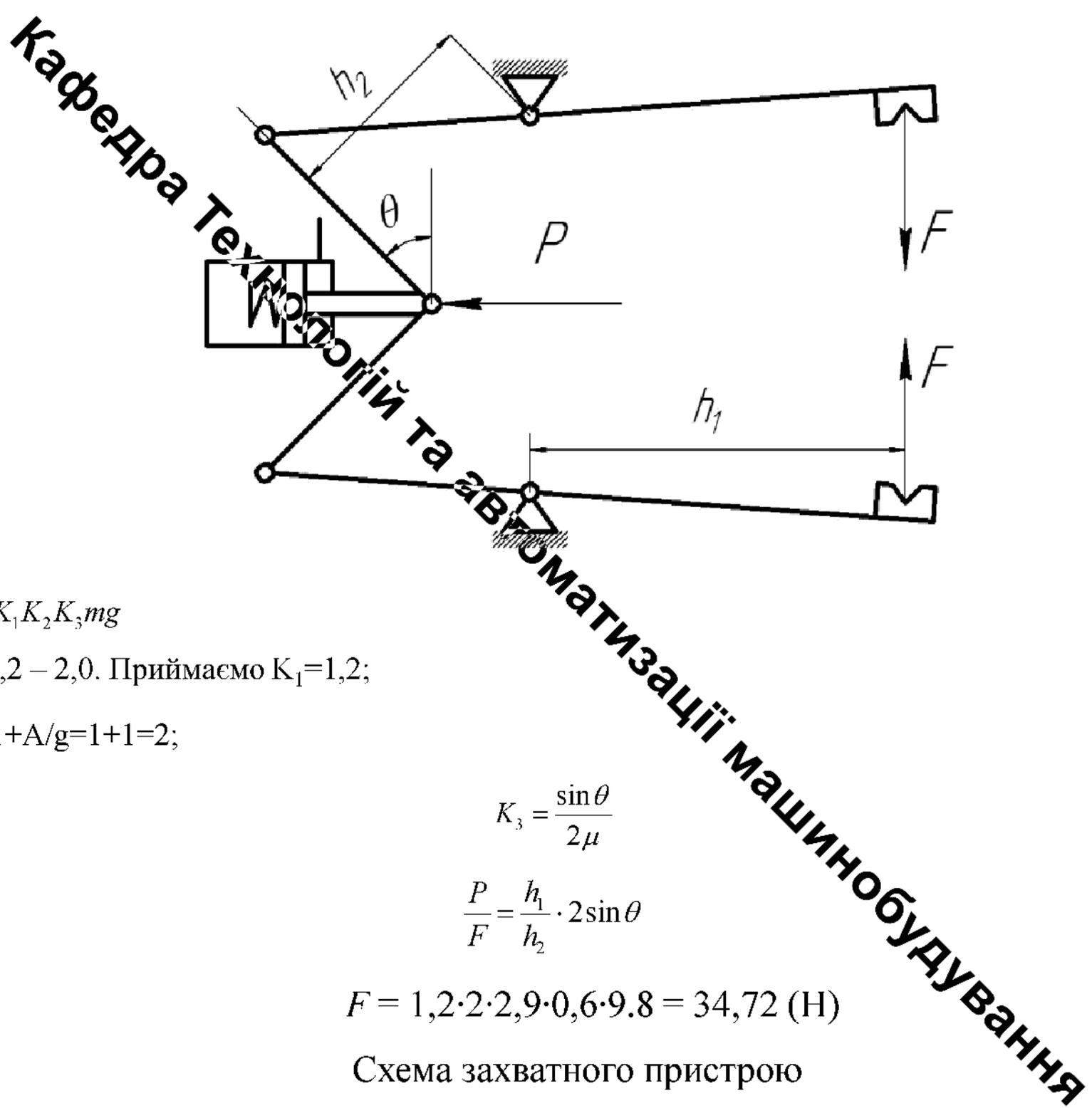
$l_2 = 25$  мм – відстань від вісі деталі до точки прикладання сил закріплення;

$l_3 = 35$  мм – відстань від вісі деталі до найбільш віддаленої точки контакту деталі з опорою;





Загальний вигляд робота Універсал 5.02



$$F = K_1 K_2 K_3 mg$$

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

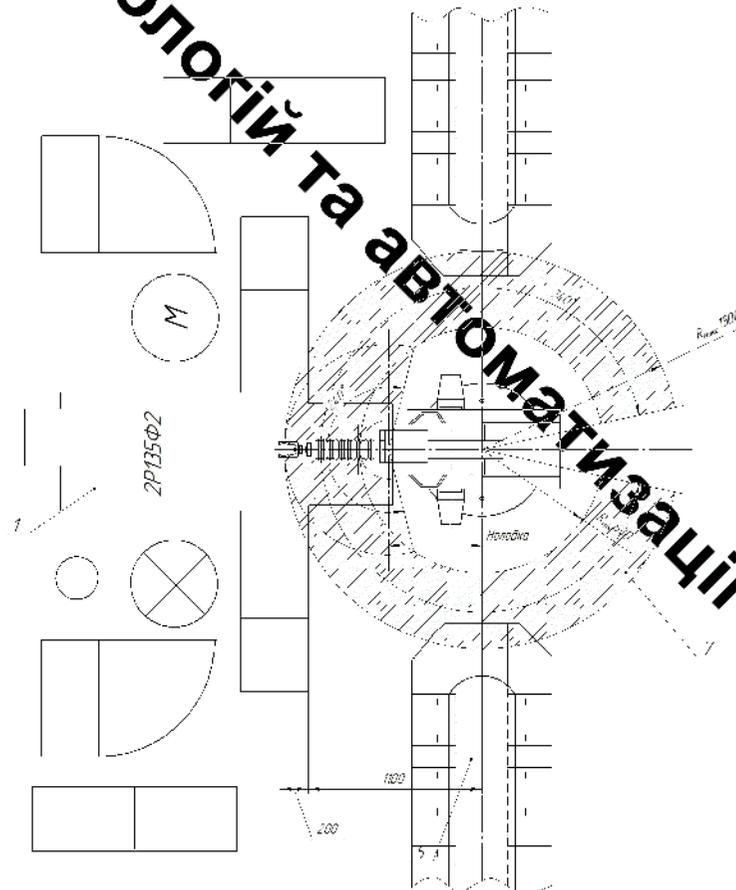
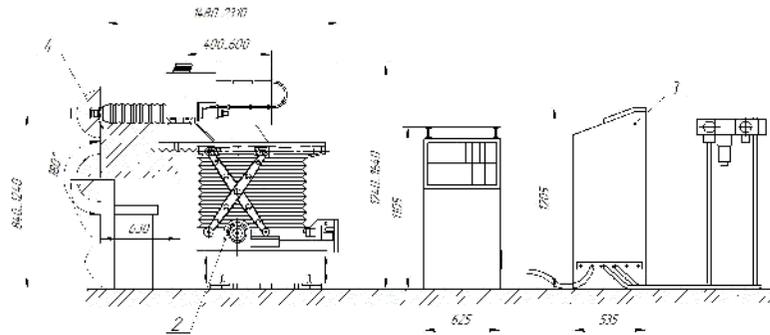
$K_2 = 1 + A/g = 1 + 1 = 2$ ;

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

$$\frac{P}{F} = \frac{h_1}{h_2} \cdot 2 \sin \theta$$

$$F = 1,2 \cdot 2 \cdot 2,9 \cdot 0,6 \cdot 9,8 = 34,72 \text{ (H)}$$

Схема захватного пристрою

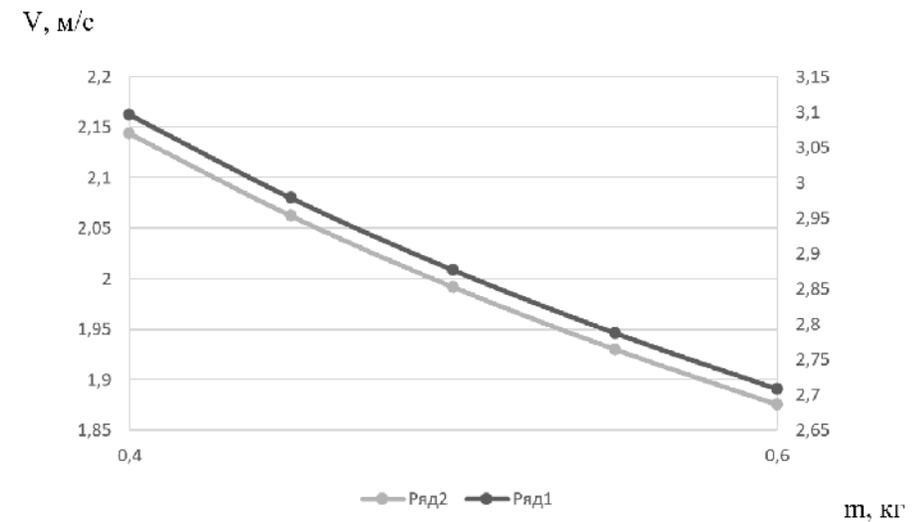
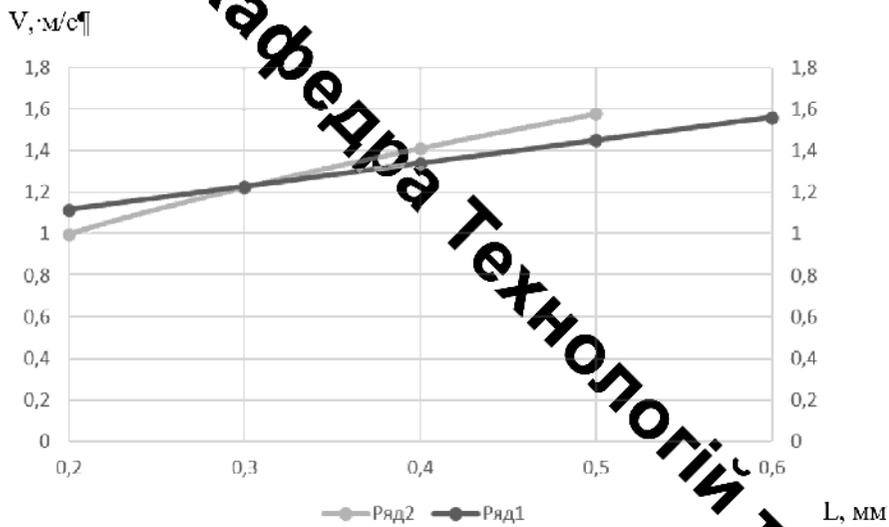


- 1. Перстат моделі 2Р135Ф2
- 2. ПР моделі Чіверсал 5.02
- 3. Пристрій керування
- 4. Захисний пристрій
- 5. Пристрій надічі зигнотивок (індикатори світл СІ 350)
- 6. Пристрій приймання готових деталей (тактовий стіл СТ 350)
- 7. Робоча зона ПР

- Характеристика робочого місця
- 1. Приклад зручності, Нц 0.015
  - 2. Коefіцієнт відносного навантаження, Кz 0.67
  - 3. Режим рідкісний ПР легким

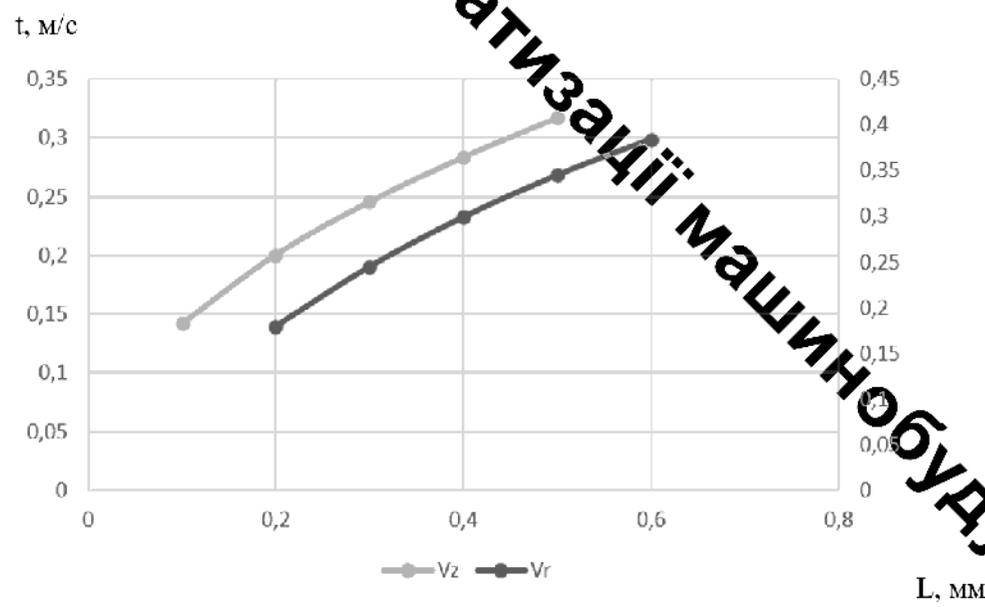
Кафедра Технологій та Автоматизації машинобудування

**Кафедра Технологій та Автоматизації машинобудування**



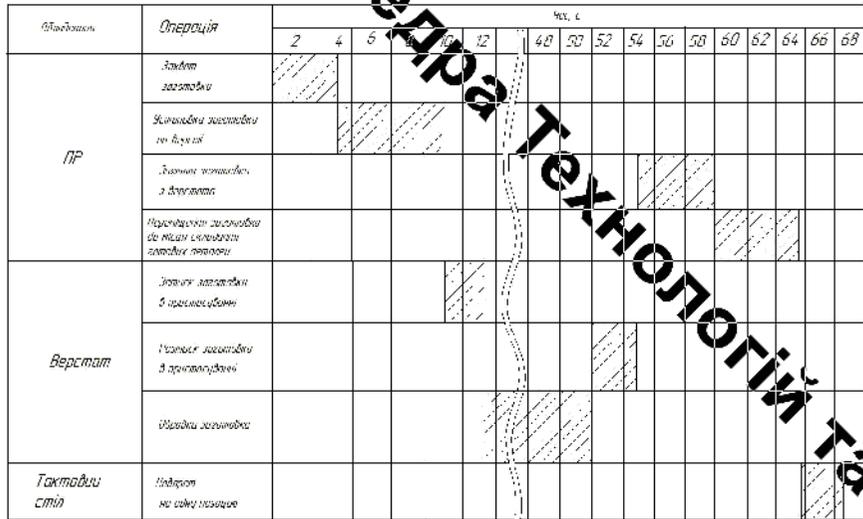
Залежність швидкості переміщення по осі X та Z від максимального вильоту

Залежність швидкості переміщення по осі X та Z від маси

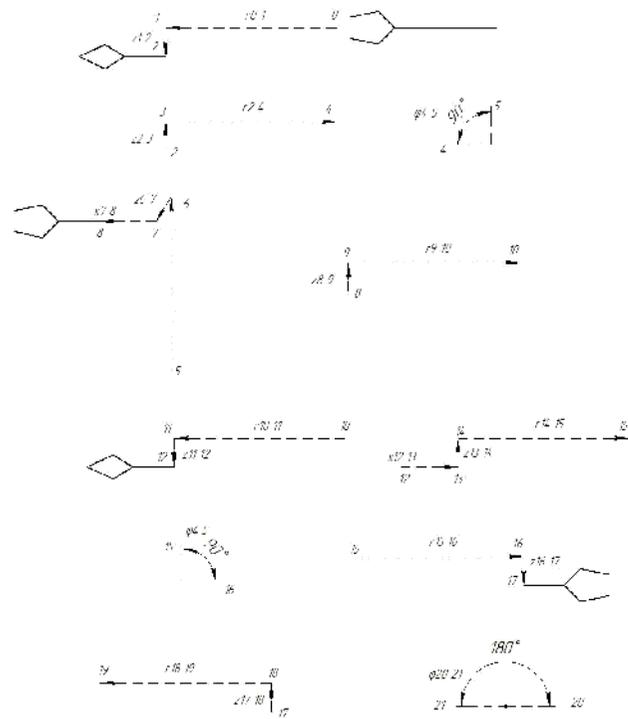


Залежність часу переміщення по осям X та Z від максимального вильоту

Циклограма функціонування АРМ



Коментар	Величина переміщення, мм(град)	Швидкість переміщення, м/с, °/с	Члг, с	
Переміщення руки ПР вперед	500	0,3	1,66	
Переміщення руки ПР вниз	100	0,8	0,125	
Затиск заготовки захватом ПР	-		0,2	
Зняття заготовки	Переміщення руки ПР вгору	100	0,8	0,125
	Переміщення руки ПР назад	500	0,3	1,66
<b>Сума</b>			<b>3,77</b>	
Підготовка руки ПР зп гад. стрілкою	90°	120	0,75	
Переміщення руки ПР вперед	500	0,3	1,66	
Переміщення руки ПР вниз	100	0,8	0,125	
Переміщення корпусу вліво	50	0,15	0,33	
Розтиск захвату ПР			0,2	
Переміщення руки ПР вгору	100	0,8	0,125	
Переміщення руки ПР назад	500	0,3	1,66	
<b>Сума</b>			<b>4,05</b>	
Знижок згинувки на виконаному прикладуванні	-		3	
Обробка заготовки			39	
Розміщення заготовки на верстатному пристосуванні			3	
			4,5	
Переміщення руки ПР вперед	500	0,3	1,66	
Переміщення руки ПР вниз	100	0,8	0,125	
Затиск заготовки захватом ПР			0,2	
Переміщення корпусу вправо	50	0,15	0,33	
Переміщення руки ПР вгору	100	0,8	0,125	
Переміщення руки ПР назад	500	0,3	1,66	
			4,4	
Підготовка руки ПР зп гад. стрілкою	90°	120	0,75	
Переміщення руки ПР вперед	500	0,3	1,66	
Переміщення руки ПР вниз	100	0,8	0,125	
Розтиск захвату ПР	-		0,2	
Переміщення заготовки до місця складання гтових деталей	Переміщення руки ПР вгору	100	0,8	0,125
	Переміщення руки ПР вниз	500	0,3	1,66
Підготовка руки ПР проти гад. стрілки	180°	120	1,5	
			5,02	
Тактовий стіл	Переміщення на обрн позицію		2,7	



## ВИСНОВКИ

1. Аналіз сучасних засобів автоматизації виробництва дозволяє встановити основні напрями їх застосування, серед яких визначальне значення має інтеграція промислових роботів і допоміжного обладнання з металорізальними верстатами, оснащеними ЧПК.
2. Роботизовані та автоматизовані компоненти технологічних комплексів, як правило, залучаються до виконання допоміжних операцій у загальному виробничому процесі.
3. Для обслуговування верстатного обладнання переважно використовуються промислові роботи з кількістю ступенів вільності не менше чотирьох, конструктивно реалізовані на основі циліндричної системи координат.
4. У складі автоматизованого робочого місця промислові роботи виконують ключові функції автоматизації, забезпечуючи механізоване та автоматичне завантаження і вивантаження заготовок та оброблених деталей.
5. Проаналізовано існуючий технологічний процес механічної обробки заготовки деталі «Фланець Ф-25К».
6. На основі аналізу для автоматизації обрано 015 операцію, оскільки вона має значний відсоток допоміжного часу і менші вимоги щодо точності базування заготовки.
7. Як основу компоновки обрано кільцеву схему.
8. Складено перелік операцій та відповідного обладнання для їх виконання на автоматизованому робочому місці.
9. Створено загальний алгоритм функціонування автоматизованого робочого місця для технологічної обробки деталі «Фланець Ф-25К».
10. Проведено аналіз особливостей встановлення деталі на верстаті із застосуванням промислового робота.
11. Розроблено верстатне пристосування для обробки деталі «Фланець Ф-25К» на вертикальному фрезерному верстаті з ЧПК.
12. Виконані розрахунки складових похибки установки заготовки на пристосуванні; точність позиціонування складає 20,2 мкм, що забезпечує дотримання всіх необхідних розмірних допусків на даній операції.
13. Обрано модель промислового робота «Універсал 5.02» для інтеграції в автоматизоване робоче місце.
14. Визначено конструкцію захватного пристрою для роботи з деталлю «Фланець Ф-25К».
15. Розраховано часові витрати та проаналізовано залежність швидкісних і часових характеристик робота від параметрів маніпулятора та маси оброблюваного вантажу.
16. Встановлено параметри роботи робочого місця; загальний час циклу складає 66,52 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.
19. 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 2,9 років.

## ДОДАТОК Б

**Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування**

**СПЕЦИФІКАЦІЯ**

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	к	Прим.
				<u>Документація</u>		
A1			08-64.МКР.006.01.000 СК	Складальне креслення		
				<u>Складальні одиниці</u>		
A2	1		08-64.МКР.006.02.000 СК	Пневмокамера	1	
				<u>Деталі</u>		
A3	3		08-64.МКР.006.01.001	Верхня плита	1	
A4	4		08-64.МКР.006.01.004	Шайба	1	
A4	5		08-64.МКР.006.01.005	Оправка	1	
A4	6		08-64.МКР.006.01.006	Втулка	1	
A4	7		08-64.МКР.006.01.007	Нижня плита	1	
	8		08-64.МКР.006.01.008	Оправка	1	
				<u>Стандартні вироби</u>		
	10			Шпилька М10 ГОСТ 10549-80	4	
	11			Шпилька М8 ГОСТ 7805-70	4	
	12			Гайка М10 ГОСТ 5915	8	
	13			Шайба М10 ГОСТ 11371	8	
	14			Гайка М8 ГОСТ 5915-70	8	
	15			Шайба М8 ГОСТ 6958-68	8	
	16			Шпонка ГОСТ 23360-78	8	
	17			Опора 7034-0276 ГОСТ 13440-68	3	

08-64.МКР.006.00.000 СП

зм. / лист	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.	Красівський Ю.О.		12.12.2025
Проб.	Лозінський Д.О.		12.12.2025
Н.контр.	Сердюк О.В.		16.12.2025
Утв.	Козлов Л.Г.		16.12.2025

Верстатне пристосування

(Складальне креслення)

Лист.	Лист	Листів
	1	2

ВНТУ, зр.1ПМ-24м

## Додаток В

## ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Автоматизація робочого місця технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі «Фланець Ф-25К»

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

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

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism (КПІ) 22,25 %

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) Юрій КРАЄВСЬКИЙ  
(ім'я, прізвище)