

**Міністерство освіти і науки України**

**Луцький національний технічний університет**

---

(повне найменування вищого навчального закладу)

**Факультет транспорту та механічної інженерії**

---

(повне найменування факультету)

**Кафедра прикладної механіки та мехатроніки**

---

(повна найменування кафедри)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «МАГІСТР»**

**Роботизований технологічний комплекс для виготовлення деталей  
типу корпус**

спеціальність 131 Прикладна механіка  
(шифр і назва спеціальності)

освітня програма «Прикладна механіка»  
(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти  
групи ІМм-21  
Думанський Ярослав Володимирович

---

(підпис)

Керівник:  
к.т.н., доцент  
Самчук Людмила Михайлівна

---

(підпис)

Кваліфікаційну роботу  
допущено до захисту  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.  
к.т.н., доцент  
Гарант освітньої програми:  
Четвержук Тарас Іванович

---

(підпис)

Луцьк – 2025 року

Луцький національний технічний університет  
Факультет Транспорту та механічної інженерії  
Кафедра Прикладної механіки та мехатроніки  
Другий (Магістерський) рівень вищої освіти  
Спеціальність 131 Прикладна механіка

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**  
**Завідувач кафедри**

\_\_\_\_\_ *Редько Р.Г.*

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 р.

## **ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Думанському Ярославу Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Роботизований технологічний комплекс для виготовлення деталей типу корпус, керівник роботи Самчук Людмила Михайлівна, к.т.н., доцент, затверджені наказом вищого навчального закладу від «14» червня 2025 р. № 391/01-07
2. Строк подання студентом роботи 1.12.2025 року.
3. Вихідні дані до роботи: креслення деталі, базовий технологічний процес, річна програма випуску, нормативно-технічна документація, довідникові дані
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ. Розділ 1. Аналіз вихідних даних. Технологічна частина. Розділ 2. Детальна розробка технологічного процесу виготовлення деталі. Розділ 3. Розробка роботизованого технологічного комплексу. Розділ 4. Програмування керуючих пристроїв. конструювання затискного механізму. Висновки. Перелік посилань.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Креслення деталі – 1 лист (ф. А2), Компоновка роботизованого технологічного комплексу – 1 лист (ф.А1), Циклограма роботи РТК – 1 лист (ф.А3), Програма керування промисловим роботом – 1 лист (ф.А1), Схеми керування РТК на базі контролера IRC5 – 1 лист (ф.А1).

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 04.03.2025р.

Керівник

\_\_\_\_\_ (підпис)

Завдання прийняв до виконання

\_\_\_\_\_ (підпис)

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Термін виконання етапів кваліфікаційної роботи магістра	Примітка
1.	Аналіз вихідних даних. Технологічна частина	14.04.2025р.	
2.	Детальна розробка технологічного процесу	18.05.2025р.	
3.	Вибір основного та допоміжного обладнання.	18.07.2025р.	
4.	Вибір промислового робота для роботизованого технологічного комплексу	12.09.2025р.	
5.	Компонування роботизованого технологічного комплексу	17.10. 2025р.	
6.	Розробка програмного забезпечення	10.11.2025 р.	
7.	Розрахунок основних показників продуктивності РТК	20.11.2025 р.	
8.	Вибір типу затискного пристрою. Розрахунок та проектування	27.11.2025 р.	
9.	Електронний варіант роботи	01.12.2025р.	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

(Думанський Я.В.)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

(Самчук Л.М.)

## АНОТАЦІЯ

Думанський Я.В. Роботизований технологічний комплекс для виготовлення деталей типу корпус. – Рукопис.

Кваліфікаційна робота магістра на здобуття кваліфікації другого (магістерського) рівня вищої освіти із спеціальності 131 Прикладна механіка – Луцький національний технічний університет. – Луцьк, 2025.

В роботі розглянуто процеси виготовлення корпусних деталей. Розглянуто шляхи підвищення ефективності технології виготовлення в результаті впровадження маловідхідного процесу отримання заготовок, раціональних режимів, високопродуктивних пристроїв, різального і вимірювального інструмента, нових автоматичних ліній. Наведено особливості комплексних технологічних процесів обробки деталей типу корпус.

Під час виконання роботи проведено широкий спектр завдань, спрямованих на створення автоматизованого виробничого комплексу для виготовлення деталей типу «корпус». Було розроблено технологічний процес виготовлення деталі, спроектовано технічні засоби для його впровадження та виконано всі необхідні розрахунки.

Розроблений технологічний процес є унікальним і гарантує якісне виготовлення деталі відповідно до технічного завдання. Завдяки застосуванню РТК та комбінованого інструменту для виготовлення деталей з'являється можливість залучати працівників із нижчим рівнем кваліфікації порівняно з наявним технологічним процесом. Розроблено алгоритм роботи та схему керування опозиціонером, схему алгоритму перевірки готовності затискного пристрою до завантаження, схему алгоритму перевірки готовності верстата до запуску. Кожен з алгоритмів виключає можливість зіткнення робочих органів обладнання чи заготовки.

Ключові слова: Корпус, технологія, обробка, технологічна система, автоматизація, роботизований технологічний комплекс.

## ANNOTATION

Dumansky Ya.V. Robotic technological complex for the manufacture of housing-type parts. – Manuscript.

Master's qualification work for obtaining the qualification of the second (master's) level of higher education in specialty 131 Applied Mechanics - Lutsk National Technical University. - Lutsk, 2025.

The work examines the processes of manufacturing body parts. Ways of increasing the efficiency of manufacturing technology as a result of the introduction of a low-waste process for obtaining blanks, rational modes, high-performance devices, cutting and measuring tools, and new automatic lines are considered. The features of complex technological processes for processing body-type parts are presented.

During the work, a wide range of tasks were carried out aimed at creating an automated production complex for the manufacture of "housing" type parts. The technological process for manufacturing the part was developed, technical means for its implementation were designed, and all necessary calculations were performed.

The developed technological process is unique and guarantees high-quality manufacturing of parts in accordance with the technical specifications. Thanks to the use of RTK and a combined tool for manufacturing parts, it is possible to attract workers with a lower level of qualification compared to the existing technological process. An algorithm of work and a control scheme for the oppositionist have been developed, a scheme for checking the readiness of the clamping device for loading, a scheme for checking the readiness of the machine tool for starting. Each of the algorithms eliminates the possibility of collision of the working parts of the equipment or the workpiece.

Key words: Housing, technology, processing, technological system, automation, robotic technological complex.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ВИХІДНИХ ДАНИХ. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	12
1.1. Призначення деталі та аналіз її конструкції.....	12
1.2. Аналіз технологічності конструкції деталі.....	13
1.3. Попереднє визначення типу виробництва.....	15
1.4. Вибір заготовки.....	16
РОЗДІЛ 2 ДЕТАЛЬНА РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ.....	18
2.1. Побудова технологічного маршруту обробки частини.....	18
2.2 . Розрахунок режимів різання аналітичним методом.....	19
2.3 Розрахунок режимів різання за нормативами.....	22
2.4. Розрахунок норми часу на операцію 010 - Розточна з ЧПУ.....	26
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА РОБОТИЗОВАНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ.....	30
3.1. Вибір основного обладнання.....	30
3.2. Вибір промислового робота для роботизованого технологічного комплексу.....	33
3.3. Вибір допоміжного обладнання для роботизованого технологічного комплексу.....	35
3.4. Аналіз компонування роботизованого технологічного комплексу.....	36
3.5. Побудова та розрахунок елементів траєкторії захватного пристрою промислового робота.....	37
РОЗДІЛ 4 ПРОГРАМУВАННЯ КЕРУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ. КОНСТРУЮВАННЯ ЗАТИСКНОГО МЕХАНІЗМУ.....	44
4.1. Розробка програмного забезпечення для програмованого логічного контролера (ПЛК).....	44
4.2. Розрахунок основних показників продуктивності РТК.....	46

4.3. Вибір типу затискного пристрою. Розрахунок та проектування.....	47
4.4. Силовий розрахунок затискного пристрою.....	48
4.5. Конструювання та розрахунок на міцність деталей затискного пристрою.....	49
ВИСНОВКИ.....	52
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	54

## ВСТУП

Автоматизація виробничих процесів - основний напрямок науково-технічного прогресу, що забезпечує підвищення продуктивності праці в машинобудуванні, якості продукції та зниження трудомісткості виробництва, зменшенню ручної праці. Створення та впровадження спеціальних та спеціалізованих автоматів та автоматичних ліній для конкретних видів виробів застосовується для підвищення продуктивності та якості продукції, що випускається протягом тривалого періоду в масовому і крупносерійному виробництві. Переналагодження таких високопродуктивних складних автоматів та автоматичних ліній на випуск нової продукції або сприяє широкому їх використанні у промисловості.

Роботизовані технологічні комплекси (РТК) являють собою автономні системи, що базуються на технологічних засобах виробництва. Вони включають набір основного та допоміжного обладнання, серед якого можуть бути один або кілька промислових роботів, що виконують допоміжні операції. Такі комплекси забезпечують повністю автоматизований виробничий цикл у межах самого комплексу, а також його інтеграцію з вхідними та вихідними потоками виробництва.

РТК створюють основу для переходу до принципово нового рівня автоматизації, що передбачає формування автоматизованих виробничих систем із мінімальною участю людини. На сьогодні такі комплекси використовуються практично у всіх сферах виробництва, однак найбільше поширення вони отримали у галузі машинобудування. Однією з ключових переваг РТК є їхня здатність швидко переналаштовуватися для виконання різних завдань, які відрізняються послідовністю та характером операцій.

Інтенсивний розвиток найпрогресивніших галузей техніки викликає часте оновлення продукції. Останнім часом практично у всьому світі з'явилися тенденції збільшити різноманітність виробів, що випускаються і скоротити серійність виробництва. В даний час технологічне обладнання з ЧПУ об'єднують у єдині виробничі комплекси за допомогою транспортної та керуючої систем.

**Актуальність теми.** Автоматизація виробничих процесів у сфері машинобудування є складним і багатогранним завданням, яке охоплює створення сучасного обладнання, розробку технологій, а також впровадження ефективних виробничих систем. Усе це спрямоване на забезпечення стабільного збільшення прибутковості, покращення умов праці та зменшення залежності від людської робочої сили. Реалізувати масштабні організаційно-технічні заходи заради одноразового впровадження промислового робота економічно недоцільно. Лише широкомасштабне використання промислових роботів у рамках складних роботизованих технологічних систем є обґрунтованим як з технічної, так і з економічної та соціальної точок зору. Проблему комплексної автоматизації середньосерійного багатомоделного виробництва найбільш ефективно можна вирішити шляхом створення типових робототехнічних комплексів (РТК) із різним технологічним призначенням. У таких комплексах промисловий робот виконує одиничне або групове обслуговування обладнання. РТК повинні забезпечувати реалізацію найбільш поширених у машинобудуванні операцій, включаючи заготівельні та складальні процеси. Їхні конструктивно-технологічні параметри слід планувати таким чином, щоб забезпечити можливість інтеграції в гнучкі виробничі системи, засновані на принципах групової технології. Розроблення таких типових РТК, орієнтованих на обробку найпоширеніших деталей машинобудування та виконання великої номенклатури операцій, дозволяє створювати автоматизовані виробничі дільниці й автоматичні лінії різних типів. Це сприяє формуванню складних виробничих систем із варіативністю призначення, спектру виконуваних операцій і рівня автоматизації процесів обробки та керування.

**Метою роботи** є розробка гнучкого, швидко переналагоджуваного та уніфікованого роботизованого комплексу (РТК) спрямована на підвищення якості продукції та збільшення обсягів її виробництва. Це досягається за рахунок скорочення часу виконання операцій, забезпечення постійного режиму випуску, збільшення коефіцієнта змінності роботи обладнання, інтенсифікації існуючих та стимулювання створення нових високошвидкісних процесів і обладнання для обробки й управління.

**Об'єкт дослідження** – технологічний процес виготовлення деталі корпус редуکتора.

**Предмет дослідження** – процеси виготовлення деталі корпус.

**Для досягнення мети поставлені наступні завдання:** розрахувати та спроектувати роботизований комплекс з виробництва певної номенклатури деталей; розробити компонування гнучкої автоматизованої системи механічної обробки деталей; розробити структуру програмного забезпечення автоматизованої системи; спроектувати захватний пристрій.

**Методи дослідження.** Здійснено аналіз конструкції деталі, матеріалу з якого вона виготовляється, вимог до якості поверхонь та інше. Відповідно до заданої програми випуску та трудомісткості виготовлення виробу було визначено тип і організаційну форму виробництва. За рахунок визначення коефіцієнту використання матеріалу та аналізу конструкції на предмет можливості обробки стандартним інструментом визначено, що деталь досить технологічна, допускає застосування високопродуктивних режимів обробки, має хороші базові поверхні для початкової операції та досить проста по конструкції.

Тип виробництва визначали орієнтовно, користуючись рекомендаціями методичних вказівок та виходячи з фактичного завантаження обладнання. Розрахунок режимів різання здійснювали аналітичним методом та за нормативами. Вибір основного обладнання здійснено з врахуванням технологічних можливостей цих верстатів. Верстати мають повністю автоматизований цикл роботи, затискні елементи а також пристрої для автоматичної зміни інструменту. Обрано додаткове устаткування. Форми та розміри робочої зони забезпечують завантаження та вивантаження заготовки з робочої зони основного та допоміжного обладнання безперешкодно. Для промислового робота працюючого у складі РТК, число ступенів рухливості найбільше залежить від форми, розмірів та положення робочої зони обладнання та відносного положення обмежувальних поверхонь, що утворюють зону завантаження-розвантаження. До складу проектованого РТК як допоміжне обладнання входить кроковий транспортер.

Для програмування переміщень ПР розроблено траєкторію переміщення захвату. Вона містить інформацію про координатні опорні точки і додаткові рухи.

Циклограма функціонування РТК включає у вибраній послідовності всі переходи (дії), що виконуються основним та допоміжним обладнанням, а також ПР, необхідні для обробки заготовки.

Побудовано схему алгоритму керування опозиціонером, схему алгоритму перевірки готовності затиску до завантаження та схему алгоритму перевірки готовності верстата до запуску. Розрахувавши значення коефіцієнтів завантаженості основного обладнання та пристроїв РТ, встановили, що режим роботи ПР "легкий".

Алгоритм роботи РТК спрямований на виконання заданого маршруту механічної обробки деталей. Для досягнення максимальної продуктивності передбачено, що основний час функціонування верстатів перевищує тривалість процесів, які виконуються допоміжним обладнанням.

**Новизна одержаних результатів.** Розроблений технологічний процес є унікальним і гарантує якісне виготовлення деталі відповідно до технічного завдання. Завдяки застосуванню РТК та комбінованого інструменту для виготовлення деталей з'являється можливість залучати працівників із нижчим рівнем кваліфікації порівняно з наявним технологічним процесом. Розроблено алгоритм роботи та схему керування опозиціонером, схему алгоритму перевірки готовності затискного пристрою до завантаження, схему алгоритму перевірки готовності верстата до запуску. Кожен з алгоритмів виключає можливість зіткнення робочих органів обладнання чи заготовки

**Практичне значення одержаних результатів.** Розроблений РТК підходить для виготовлення деталей типу корпус масою заготовки до 6,5 кг., що робить його універсальним. Алгоритм роботи можна змінювати в залежності від типу деталі та послідовності обробки. За рахунок використання універсального обладнання та устаткування можна додавати до 3-х одиниць обладнання без суттєвої зміни розташування верстатів.

**Апробація результатів роботи.** Я. Думанський Роботизований технологічний комплекс для виготовлення корпусних деталей / Я. Думанський, Л. Самчук /Тези V студентської науково-технічної конференції факультету транспорту та механічної інженерії “ Інноваційні технології в транспорті та механічній інженерії ”. Луцьк: ЛНТУ – 2025р.– с.164-166.

**Особистий внесок магістранта.** У процесі виконання магістерської кваліфікаційної роботи магістрант здійснив конструкторсько-технологічну підготовку до виробництва. Зокрема, було економічно обґрунтовано метод отримання заготовки, розроблено технологічний процес виготовлення деталі, виконано розрахунки припусків для механічної обробки та режими різання для кожної операції, а також проведено нормування технологічного процесу. Проведено аналіз наявного обладнання та устаткування та обрано найбільш продуктивне з точки зору потреби. Для програмування переміщень ПР розроблено траєкторію переміщення захвату з детальним позначенням траєкторії переміщення захвату. Побудовано циклограму функціонування РТК яка включає у вибраній послідовності всі переходи, що виконуються основним та допоміжним обладнанням. Розроблено алгоритм роботи та схему керування опозиціонером, схему алгоритму перевірки готовності затискного пристрою до завантаження, схему алгоритму перевірки готовності верстата до запуску.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ ВИХІДНИХ ДАНИХ. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

#### 1.1. Призначення деталі та аналіз її конструкції

Деталь «Корпус» є несучою деталлю для монтажу інших деталей складального вузла з рухомими механізмами. Матеріал та конструкція деталі повинна витримувати динамічні навантаження від передачі крутного моменту шестернями та валами. Найточніша поверхня деталі має 7 квалітет точності та шорсткість Ra 3,2 мкм. Поверхня слугує для монтажу підшипника кочення і відхилення є недопустимими. Деталь "Корпус" виготовляється з матеріалу – сталь С10 EN 10277-2

Хімічний склад та механічні властивості сталі С10 за EN 10277-2 наведено в таблиці 1.1

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі С10 EN 10277-2

C	Si	Mn	Cr, не більше	Ni, не більше	Cu, не більше	S, не більше	P, не більше	As, не більше
0,07- 0,14	0,17- 0,37	0,35- 0,65	0,15	0,25	0,25	0,04	0,035	0,08

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сталі С10 за EN 10277-2

Термообробка	Твердість	Граничний опір, $\sigma_b$	Межа текучості, $\sigma_T$	Межа міцності		
				Розтягу вання $\sigma_{1p}$	Згина ння $\sigma_1$	Кручення $\tau_1$
Нормалізація	НВ 140	335	205	125	155	95
Покращення	НВ 160	375	215	140	170	100
Гартування, відпуск	НВ 57...63	390	240	160	195	120

Матеріал вирізняється гарною пластичністю, підходить для хіміко-термічної обробки. Постачається у вигляді різних гарячекатаних та холоднокатаних сортових та фасонних профілів, зварних та безшовних труб, листа, стрічки, дроту та смуги.

За складом сталь відноситься до маловуглецевих і нелегованих, за ступенем розкислення може бути спокійною, киплячою та напівспокійною. У складі сплаву кількість домішок сірки та фосфору характерна для якісних сталей і не перевищує 0,040% та 0,035% відповідно. Масова частка азоту залежить від способу виплавки, але у будь-якому разі не перевищує 0,010%. Невисокий вміст вуглецю, кремнію і марганцю, обмеження по домішках хрому та інших елементів визначають невисокі властивості міцності, хорошу пластичність і відмінну зварюваність [1].

## 1.2. Аналіз технологічності конструкції деталі

Деталь «Корпус» виготовлена зі сталі С10 EN 10277-2 і проходить термічну обробку, що має велике значення щодо короблень можливих при нагріванні та охолодженні деталі.

Заготовкою для цієї деталі служить прокат сталевий гарячекатаний за EN 10216, тому припуски на механічну обробку будуть мінімальними, оскільки конфігурація заготовки близька до форми готової деталі [1].

Ознаки технологічності деталі:

- Прості форми оброблюваних поверхонь;
- Поверхні можна обробляти із застосуванням простих інструментів та мінімальною кількістю переходів;
- Поверхні можна використовувати як технологічні бази;
- Наявні поверхні для розміщення затискних елементів при закріпленні деталі в верстатних пристосуваннях;
- Достатня жорсткість для багатоінструментальної обробки.

Здійснимо кількісну оцінку технологічності конструкції деталі за точністю обробки та шорсткістю її поверхонь.

Визначаємо коефіцієнт використання матеріалу [2]:

$$K_{BM} = \frac{M_D}{M_3}, \quad (1.1)$$

де  $M_D$  – маса деталі, кг;

$M_3$  – маса заготовки, кг.

Орієнтовна маса прокату [2]:

$$m = V \cdot \rho = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \cdot l_1, \quad (1.2)$$

де  $V$  – об'єм фігури, м<sup>3</sup>;

$\rho$  – густина матеріалу заготовки;

$d$  – діаметр заготовки;

$l$  – довжина заготовки.

$$m = \left( \frac{3,14 \cdot 115^2}{4} \cdot 165 \right) \cdot 7,5 \cdot 10^{-6} = 12,8 \text{ кг}.$$

Тоді:

$$K_{BM} = \frac{5,36}{12,8} = 0,42$$

Таблиця 1.3 – Точність обробки деталі

Квалітет точності IT	7	14
Кількість розмірів n	2	36

Середній квалітет точності розмірів деталі  $IT_{ср}$  визначаємо з формули [2]:

$$T_{ср} = \frac{\sum IT_i \cdot n_i}{\sum n_i}, \quad (1.3)$$

де  $IT_i$  – квалітет точності;

$n_i$  – кількість розмірів відповідного квалітету точності.

$$T_{сер} = \frac{7 \cdot 2 + 14 \cdot 36}{2 + 36} = 11,7$$

За набутих значенням  $IT_{сер}$  розрахуємо коефіцієнт точності обробки  $K_{мч}$  [2]:

$$K_{мч} = 1 - \frac{1}{IT_{сер}} \quad (1.4)$$

$$K_{м.ч.} = 1 - \frac{1}{11,7} = 0,915$$

Оскільки значення коефіцієнта точності більше 0,85 деталь вважається технологічною.

Для розрахунку коефіцієнта шорсткості складаємо розрахункову таблицю зі значеннями шорсткості 1.4.

Таблиця 1.4 – Шорсткість поверхонь деталі

Шорсткість $Ra$ , мкм	2,5	3,2	6,3
Кількість поверхонь $n$	2	6	30

Середня шорсткість поверхонь деталі  $Ra_{сер}$  визначається за формулою [3]:

$$Ra_{сер} = \frac{\sum Ra_i \cdot n_i}{\sum n_i}, \quad (1.5)$$

де  $Ra_i$  – шорсткість поверхні;

$n_i$  – кількість поверхонь відповідної шорсткості.

$$Ra_{сер} = \frac{2,5 \cdot 2 + 3,2 \cdot 6 + 6,3 \cdot 30}{2 + 6 + 30} = 5,4$$

За набутих значенням  $Ra_{сер}$  розрахуємо коефіцієнт шорсткості  $K_{ш}$  [3]:

$$K_{ш} = \frac{1}{Ra_{сер}} \quad (1.6)$$

$$K_{ш.} = \frac{1}{5,4} = 0,18.$$

Оскільки значення коефіцієнта шорсткості менше – 0,32 то деталь вважається технологічною. Деталь досить технологічна, допускає застосування високопродуктивних режимів обробки, має хороші базові поверхні для початкової операції та досить проста по конструкції [3].

### 1.3. Попереднє визначення типу виробництва

Зважаючи на відсутність даних, необхідних для визначення коефіцієнта закріплення операцій на початковій стадії проектування, тип виробництва визначаємо орієнтовно, користуючись рекомендаціями методичних вказівок. Згодом буде розраховано тип виробництва виходячи з фактичного завантаження обладнання [4].

Річна програма випуску виробів складає 5000 шт.

Розрахуємо розмір партії деталей за формулою [4]:

$$n = \frac{N \cdot a}{\Phi}, \quad (1.7)$$

де  $N$  – річний обсяг випуску деталей, шт;

$a$  – кількість днів запасу деталей на складі (приймаємо,  $a=5$ );

$\Phi$  – кількість робочих днів у році ( $\Phi = 255$  днів на 2025 рік).

$$n = \frac{5000 \cdot 5}{255} = 98 \text{ шт.}$$

Таким чином, при масі деталі  $m_d = 5,36$  кг та кількості деталей у партії, яку приймаємо 98 штук, приймаємо тип виробництва – середньосерійний. Після розрахунку норм часу на операції здійснимо уточнення типу виробництва та визначимо організаційну форму.

### 1.4. Вибір заготовки

Виходячи з річної програми випуску деталей, типу виробництва, конфігурації та параметрів даної деталі, методів обробки, технологічності та

гнучкості обладнання вважаємо найбільш доцільним використовувати як заготовки прокат.

Допуски та припуски на прокат регламентуються EN 10216 [5].

Розрахуємо вартість заготовки з прокату.

Вартість заготовок з прокату [5]:

$$S_{заг} = M + \sum C_{0.3}. \quad (1.8)$$

Розрахунки витрат на матеріали та технологічної собівартості виконуються за формулами [5]:

$$M = Q \cdot S - (Q - q) \cdot S_{відх}, \quad (9)$$

де  $Q$  – маса заготовки,  $Q = 12,8$  кг;

$S$  – ціна одного кілограму матеріалу заготовки,  $S = 150$  грн;

$q$  – маса деталі,  $q = 5,36$  кг;

$S_{відх}$  – ціна одного кілограму відходів, грн.,  $S_{відх} = 25$  грн.

$$M = 12,8 \cdot 150 - (12,8 - 5,36) \cdot \frac{25}{1000} = 1,734 \text{ грн.}$$

Технологічна собівартість [5]:

$$\sum C_{0.3} = \frac{C_{н.з.} \cdot t_{ум-к}}{60}, \quad (1.10)$$

де  $C_{н.з.}$  – наведені витрати на робочому місці,  $C_{н.з.} = 67$  грн/год;

$t_{ум-к}$  – штучний та штучно-калькуляційний час виконання заготівельної операції.

Штучний або штучно-калькуляційний час розраховується за формулою [5]:

$$t_{ум-к} = \frac{L_{різ} + y}{S_M} \cdot \varphi, \quad (1.11)$$

де  $L_{різ}$  – довжина різання при різанні прокату на заготовки,  $L_{різ} = 115$  мм;

$$t_{ум-к} = \frac{115 + 5}{60} \cdot 1,84 = 3,7 \text{ хв.}$$

Визначаємо технологічну собівартість [5]:

$$C_{\text{оз}} = \frac{67 \cdot 3,7}{60} = 4,13 \text{ грн.}$$

Тоді вартість заготовок із прокату [5]:

$$S_{\text{заг}} = 1,734 + 0,413 = 2,147 \text{ грн.}$$

Виходячи з розрахунків, у проектованому технологічному процесі як заготовку приймаємо прокат.

Висновки. Здійснено аналіз конструкції деталі враховуючи призначення, матеріал та конструктивні особливості деталі. Матеріал вирізняється гарною пластичністю, підходить для хіміко-термічної обробки. Деталь є технологічною, має прості форми оброблюваних поверхонь які можна обробляти із застосуванням простих інструментів та мінімальною кількістю переходів. Поверхні можна використовувати як технологічні бази. Коефіцієнт використання матеріалу – 0,85. Визначено тип виробництва – середньосерійний. Обрано метод отримання заготовки – прокат.

## РОЗДІЛ 2

### ДЕТАЛЬНА РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

#### 2.1. Побудова технологічного маршруту обробки частини

Для розробки технологічного процесу виготовлення деталі спочатку потрібно проаналізувати визначений тип виробництва. Оскільки у нашому випадку середньо серійне виробництво, є можливість використовувати автоматичні та напівавтоматичні машини, машини з ЧПУ, а також РТК.

Технологічний процес виготовлення деталі представлений у таблиці 2.1

Таблиця 2.1 – Технологічний маршрут виготовлення деталі "корпусу"

№	Найменування та короткий зміст операції	Модель верстату	Ріжучий інструмент	Технологічна база
1	2	3	4	5
005	<p>Фрезерний з ЧПУ</p> <ol style="list-style-type: none"><li>Фрезерувати один бік корпусу розміром 115 мм;</li><li>Фрезерувати другий бік корпусу розміром 111 мм;</li><li>Перевстановити деталь;</li><li>Фрезерувати 3-тю сторону корпусу в розмір 165 мм;</li><li>Фрезерувати 4-ту сторону корпусу в розмір 160 мм;</li><li>Перевстановити деталь;</li><li>Фрезерувати 5-ту сторону корпусу в</li></ol>	Фрезерний з ЧПУ FANUCR OBODRI LLa- T14IEL	Фреза торцева (Ø160, T15K6). Фреза торцева зі зйомними ножами PNEA-110416 Фреза торцева зі	Зовнішня поверхня, торець деталі

	<p>розмір 95 мм;</p> <p>8. Фрезерувати 6-ту сторону корпусу в розмір 90 мм;</p> <p>9. Перевстановити деталь;</p> <p>10. Фрезерувати деталь з одного боку в розмір 31,5 мм;</p> <p>11. Фрезерувати деталь з іншого боку в розмір 97 мм;</p> <p>12. Зняти фаски з 2х сторін, розмір 12x45°;</p> <p>13. Перевстановити деталь;</p> <p>14. Фрезерувати ступінь розміром 49 мм, витримуючи розмір 3мм;</p>		<p>зйомними ножами PNEA- 110416 Фреза кінцева зі зйомними ножами P6M5</p>	
--	---	--	---	--

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5
010	<p>Розточний з ЧПУ</p> <p>1. Центрувати 8 отворів з однієї сторони;</p> <p>2. Свердлити 7 отворів. Ø8 мм, витримуючи розміри Ø82, 68 т 16 мм;</p> <p>3. Свердлити отвір Ø15 мм, витримуючи розміри 61 мм на прохід;</p> <p>4. Свердлити отвір Ø30 мм, витримуючи розмір 61 мм на прохід;</p> <p>5. Свердлити отвір Ø45, витримуючи розміри 61 мм на прохід;</p> <p>6. Свердлити отвір Ø58, витримуючи</p>	<p>Горизонтально-розточний 2A636Ф4</p>	<p>Різець розточний з пластиною з твердого сплаву T15K6 Мітчик P6M5 ГОСТ 3266-91 Свердло P6M5/HSSDI N 345R</p>	<p>Зовнішня поверхня, торець деталі, центрові отвори</p>

<p>розмір 61 мм на прохід;</p> <p>7. Розточити отвір Ø61,5 мм;</p> <p>8. Розточити отвір Ø69,5 мм на довжину 55 мм;9. Зняти 2 фаски 1x45°;</p> <p>10. Переустановить деталь;</p> <p>11. Центрувати 3 отвори;</p> <p>12. Свердли 3 отвори Ø8 на глибину 12 мм;</p> <p>13. Свердли 2 отвори Ø16 на глибину 65 мм;</p> <p>14. Фрезерувати 2 отвори Ø18 на глибину 75 мм;</p> <p>15. Розточити отвори Ø69,5 мм на довжину 5 мм;16. Зняти 2 фаски 1x45°;</p> <p>17. Переустановить деталь;</p> <p>18. Центрувати 7 отворів;</p> <p>19. Свердли отвір Ø10,2 мм на довжину 25 мм;</p> <p>20. Нарізати різьбу M12, витримуючи розмір 48 мм;</p> <p>21. Фрезерувати отвір Ø18 мм на глибину 5 мм;</p> <p>22. Свердли 6 отворів Ø18 на прохід, витримуючи розмір 60 мм;</p> <p>23. Переустановить деталь;</p> <p>24. Центрувати отвір;</p> <p>25. Свердли отвори Ø6,8 мм, витримуючи розміри 11 мм на глибину 20 мм;</p>		Свердло центровочне P6M5	
--	--	--------------------------------	--

	26. Нарізати різьбу М8, витримуючи розмір 11 мм на глибину 20 мм; 27. Зняти деталь.			
--	--	--	--	--

## 2.2. Розрахунок режимів різання аналітичним методом

Операція 010 – розточна з ЧПУ. Сьомий перехід - розточити отвір Ø61,5 мм. Верстат – фрезерний з ЧПУ моделі Turnstar 300 С. Різучий інструмент – різець розточувальний з пластинкою з твердого сплаву Т15К6.

Точіння поверхні: Ø61,5.

Глибина різання  $t=1,5$  мм.

Подача  $S=0,25$  мм/об [6].

Швидкість різання розраховуємо за формулою [6]:

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} K_v, \quad (2.1)$$

де  $C_v$  – постійний коефіцієнт;

$T$  – стійкість інструменту;

$K_v$  – поправочний коефіцієнт;

$m, x, y$  – показники ступенів.

$C_v=420$ ;  $T=50$  хв;  $m=0,2$ ;  $x=0,15$ ;  $y=0,2$  по таблиці 17 [6].

Поправочний коефіцієнт розраховуємо за такою формулою [6]:

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv}, \quad (2.2)$$

де  $K_{mv}$  – коефіцієнт, що враховує вплив матеріалу заготовки,  $K_{mv}=1,2$  [6];

$K_{nv}$  – коефіцієнт, що враховує стан поверхні,  $K_{nv}=0,9$  [6];

$K_{uv}$  – коефіцієнт, який враховує матеріал заготовки,  $K_{uv}=1$ , [6].

$$K_v = 1,2 \cdot 0,9 \cdot 1 = 1,08.$$

Швидкість різання згідно формули 2.1 ставить [6]:

$$V_p = \frac{350}{50^{0,2} \cdot 1,5^{0,15} \cdot 0,25^{0,2}} \cdot 0,85 = 101 \text{ м/хв.}$$

Частоту обертання шпинделя під час обробки розраховуємо за формулою [6]:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}, \quad (2.3)$$

де  $D$  – діаметр поверхні, мм.

Поверхня  $\varnothing 61,5$ :

$$n = \frac{1000 \cdot 101}{\pi \cdot 61,5} = 523 \text{ хв}^{-1}.$$

Силу різання  $P_z$  розраховуємо за формулою [7]:

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot s^y \cdot V^n \cdot K_p, \quad (2.4)$$

де  $C_p$  – постійний коефіцієнт;

$K_p$  – поправочний коефіцієнт;

$x, y, n$  – показники ступенів.

$C_p=300$ ;  $x=1,0$ ;  $y=0,75$ ;  $n=0,15$  по таблиці 17 [7].

Поправочний коефіцієнт розраховуємо за такою формулою [7]:

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{rp}, \quad (2.5)$$

де  $K_{mp}, K_{\varphi p}, K_{\gamma p}, K_{\lambda p}, K_{rp}$  – коефіцієнти, чисельні значення яких вказані в таблицях 9,10,23 [7],

$$K_{\varphi p} = 0,94;$$

$$K_{\gamma p} = 1;$$

$$K_{\lambda p} = 1,0;$$

$$K_{rp} = 1,0.$$

$$K_{mp} = \left( \frac{\sigma_B}{750} \right)^n \quad (2.6)$$

$$K_{mp} = \left( \frac{785}{750} \right)^{-0,15} = 0,99.$$

Тоді:

$$K_p = 1,3 \cdot 0,94 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,22.$$

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 1,5^{1,0} \cdot 0,25^{0,75} \cdot 101^{-0,15} \cdot 1,22 = 1174 \text{ Н.}$$

Потужність різання розраховуємо за формулою [7]:

$$N_c = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60}, \quad (2.7)$$

де  $P_z$  – сила різання, Н;

$V$  – швидкість різання, м/хв.

$$N_p = \frac{1174 \cdot 101}{1020 \cdot 60} = 1,93 \text{ кВт.}$$

Потужність двигуна головного приводу верстата  $N_g = 11$  кВт, ККД привода верстату  $\eta = 0,85$ .

Тоді [7]:

$$N_n = N_g \cdot \eta, \quad (2.8)$$

$$N_n = 11 \cdot 0,85 = 9,35 \text{ кВт.}$$

$$N_p < N_n, \text{ тобто } 1,93 < 9,35.$$

Таким чином, привод верстату забезпечує обробку при заданих режимах.

### 2.3. Розрахунок режимів різання за нормативами

Операція 005 – фрезерна з ЧПУ. Перший перехід - фрезерувати один бік корпусу розміром 115 мм. Верстат фрезерний з ЧПУ FANUCROBODRILLA-T14IEL. Ріжучий інструмент – фреза торцева ( $\varnothing 160, T15K6$ ).

Глибина різання  $t=4$  мм. Ширина фрезерування  $b=115$ . Діаметр фрези  $d_\phi = 160$  мм. Число зубів фрези  $z=10$ .

Довжину робочого ходу розраховуємо за формулою [8]:

$$L_{p.x.} = L_{piz} + y + d_\phi, \quad (2.9)$$

де  $L_{piz}$  – довжина різання, мм;

$y$  – довжина підведення, врізання та вільного ходу, мм.

$$L_{piz} = 115 \text{ мм}; \quad y = 5 \text{ мм};$$

$$L_{p.x.} = 115 + 5 + 160 = 280 \text{ мм}.$$

Призначаємо подачу на зуб фрези за таблицею с.88-86 [8]

$$S_o = 0,1 \text{ мм/зуб}.$$

Визначимо стійкість інструменту за даними з таблиці с.87 [8]

$$T = 100 \text{ хв}.$$

Визначимо швидкість різання за даними з таблиці [8]:

$$V = V_{таб} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (2.10)$$

де  $V_{таб}$  – таблична швидкість різання;

$K_1$  – коефіцієнт, що залежить від розмірів обробки, 1;

$K_2$  – коефіцієнт, що залежить від оброблюваного матеріалу, 0,75;

$K_3$  – коефіцієнт, що залежить від стійкості інструменту, 1.

$$V_{таб} = 200 \text{ м/хв.};$$

$$V = 200 \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot 1 = 150 \text{ м/хв}.$$

Частоту обертання інструменту розраховуємо за формулою [8]:

$$n = \frac{1000 \times V}{\pi \times D}, \quad (2.11)$$

де  $V$  – швидкість різання, м/хв;

$D$  – діаметр фрези.

$$n = \frac{1000 \times 150}{\pi \times 160} = 298,48 \text{ хв}^{-1}$$

За паспортом верстата приймаємо частоту обертання  $n=300 \text{ хв}^{-1}$

Дійсна швидкість різання [8]:

$$V_d = \frac{\pi \times D \times n}{1000} \quad (2.12)$$

$$V_d = \frac{\pi \times 160 \times 300}{1000} = 150,7 \text{ м/хв}.$$

Розрахунок дійсної подачі визначаємо за прийнятим значенням числа оборотів шпинделя [9]:

$$S_M = S_z \cdot Z_u \cdot n, \quad (2.13)$$

де  $Z_u$  – кількість зубів фрези.

$$S_M = 0,1 \cdot 10 \cdot 300 = 300 \text{ мм/хв.}$$

Розрахуємо основний машинний час обробки [9]:

$$t_m = \frac{L_{p.x.} \cdot i}{S_M}; \quad (2.14)$$

де  $i$  – число заходів фрези;

$$t_m = \frac{280 \cdot 12}{300} = 11,16 \text{ хв.}$$

Визначення подачі на зуб за прийнятими режимами різання [9]:

$$S_z = \frac{S_M}{n \cdot z_u} \quad (2.15)$$

$$S_z = \frac{300}{12 \cdot 300} = 0,08 \text{ мм / зуб.}$$

Визначаємо потрібну потужність за нормативними даними [9]:

$$N_{рез} = E \frac{V \cdot t \cdot z_u}{1000} \cdot k_1 \cdot k_2, \quad (2.16)$$

де  $E$  – величина, що визначається за таблицею,  $E=0,9$ ;

$k_1$  – коефіцієнт, що залежить від матеріалу, що обробляється, 1,35;

$k_2$  – коефіцієнт, що залежить від типу фрези та швидкості різання, 0,95.

$$N_{рез} = 0,9 \frac{150,7 \cdot 3,15 \cdot 12}{1000} \cdot 1,35 \cdot 0,95 = 6,4 \text{ кВт.}$$

Перевірка потужності двигуна.

Потужність двигуна головного приводу верстата  $N_g = 10$  кВт, ККД приводу верстата  $\eta = 0,85$ . Тоді:  $N_n = N_{см} \cdot \eta$ , (26);  $N_n = 10 \cdot 0,85 = 8,5$  кВт.

$$N_p < N_n, \text{ тобто } 6,4 < 8,5$$

Таким чином, привод верстата забезпечує обробку при заданих режимах. Аналогічно розраховуємо режими різання на інші операції, результати зводимо в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Зведена таблиця режимів різання

Номер	Найменування операції, переходу	Глибина різання, мм	Довжина різання $l_{рез}$ , мм	Подача $S_0$ мм/об		Швидкість $V$ , м/хв		Частота обертання, $хв^{-1}$		Подача $S$ , мм/хв	Основний час
				Розрахунки	Приймаються	Розрахунки	Прийняті	Розрахунки	Прийняті		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
005	Фрезерно-центрувальна										
	1. Фрезерувати одну сторону корпусу в розмір 115 мм;	4	155	0,1	0,1	150	150,7	298,48	300	300	11,16
	2. Фрезерувати другу сторону корпусу в розмір 111 мм;	4	155	0,1	0,1	150	150,7	298,48	300	300	11,16
	3. Фрезерувати 3-ю сторону корпусу в розмір 165 мм;	4	155	0,1	0,1	150	150,7	298,48	300	300	11,16

Продовження таблиці 2.2



								298		30 0	0,8
01 0	Розточна з ЧПУ 1. Свердлити 7 отвори Ø8 мм, витримуючи розміри Ø82,68 та 16 мм; 2. Свердлити отвори Ø15 мм, витримуючи розміри 61 мм на прохід; 3. Свердлити отвір Ø30 мм, витримуючи розмір 61 мм на прохід; 4. Свердлити отвір Ø45,	4	26	0,1	0,1	18	18	716	716	72	2,5
		7,5	100	0,12	0,12	16	16	339	339	36	2,7
		15	105	0,18	0,18	16	16	320	320	34	2,8



мм; 13.Зняти 2фаски 1x45°.	0,3	5	0,3	0,12	0,12	18	320	320	68	2,5
	1,5	10	0,3	0,3	0,3	90	415	415	12 4	0,5

#### 2.4. Розрахунок норми часу на операцію 010 - Розточна з ЧПУ

В умовах середньосерійного виробництва розрахунок норми штучного часу на операцію  $T_{шт}$ , хв. проводиться за формулою [10]:

$$T_{шт} = t_0 + t_e + t_{обс,в} \quad (2.17)$$

де  $t_0$  – основний час, хв;  $t_e$  – допоміжний час, хв;

$t_{обс,в}$  – час на обслуговування робочого місця, відпочинок та природні потреби, хв.;

Тоді норма штучно-калькуляційного часу розраховується [10]:

$$T_{ш-к} = t_{шт} + \frac{T_{n-3}}{n}, \quad (2.18)$$

де  $T_{n-3}$  – підготовчо-заклучний час, хв;

$n$  – кількість деталей у партії.

Допоміжний час  $t_e$  складається із витрат часу на окремі прийоми [58]:

$$T_e = (t_{y.c} + t_{yn} + t_{вим}) \cdot K \quad (2.19)$$

де  $t_{y.c}$  – час на встановлення та зняття деталі, хв;

$t_{yn}$  – час на операції управління обладнанням, хв;

$t_{вим}$  – час на вимірювання деталі, хв;

$K$  – коефіцієнт, що враховує тип виробництва,  $K_t = 1,85$  (для серійного).

Оперативний час  $t_{он}$ , хв. розраховується за формулою [10]:

$$t_{on} = t_o + t_e, \quad (2.20)$$

де  $t_o$  – основний час, хв;

$t_e$  – допоміжний час, хв.

Час на обслуговування робочого місця, відпочинок та природні потреби  $t_{обс,в}$  визначається у відсотках від оперативного часу [10]:

$$t_{відн} = \frac{t_{on} \cdot \Pi_{об.відн}}{100} \quad (2.21)$$

де  $\Pi_{об.відн}$  – витрати часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та природні потреби у відсотках від оперативного, %.

Основний час для розточування отвору  $\varnothing 61,5$  розраховуємо за формулою [10]:

$$t_o = \frac{L_{різ} + y}{s_o \cdot n} \cdot i, \quad (2.22)$$

де  $L_{різ}$  – довжина різання,  $L_{різ} = 95$  мм;

$y$  – величина врізання і холостого ходу,  $y = 5$  мм [10]

$i$  – кількість робочих ходів,  $i = 1$ ;

$s_o$  – подача на оберт,  $s_o = 0,25$  мм/об;

$n$  – кількість обертів на хвилину,  $n = 523$  хв<sup>-1</sup>.

$$t_o = \frac{95 + 5}{0,25 \cdot 523} \cdot 1 = 0,71 \text{ хв.}$$

Час обробки на інші поверхні розраховуємо аналогічно.

Сумарний основний час на операцію 010 - Розточна з ЧПУ:

$$t_o = 2,5 + 2,7 + 2,8 + 2,9 + 3,1 + 0,71 + 0,5 + 0,05 + 1,8 + 2,6 + 3,2 + 0,5 + 0,05 = 21 \text{ хв.}$$

Допоміжний час розраховуємо за формулою [10]:

$$t_e = t_{yc} + t_{з.о} + t_{ун.} + t_{вим}, \quad (2.23)$$

де  $t_{yc}$  – час на встановлення та зняття деталі,  $t_{yc} = 0,15$  хв;

$t_{з.о}$  – час на закріплення та відкріплення деталі;

$t_{yn}$  – час на операції керування верстатом;

$t_{вим}$  – час на вимірювання деталі.

Час на прийоми управління деталі складається [10]:

1) увімкнення верстату кнопкою – 0,1 хв;

2) підведення чи відведення інструменту до деталі при обробці – 0,025 хв;

3) переміщення каретки супорта в поздовжньому напрямку – 0,04 хв.

$$t_{yn} = 0,1 + 0,025 + 0,04 = 0,129 \text{ хв.}$$

Час на вимірювання деталі:  $t_{вим} = 0,7$  хв.

Допоміжний час:

$$t_g = 0,15 + 0,129 + 0,7 = 1,16 \text{ хв.}$$

Для крупносерійного виробництва допоміжний час розраховуємо за формулою [10]:

$$t_{дон} = t_g \cdot K_t, \quad (2.24)$$

де  $K_t$  – коефіцієнт, що залежить від типу виробництва,  $K_t = 1,85$ .

$$t_{дон} = 1,16 \cdot 1,85 = 2,15 \text{ хв.}$$

Оперативний час розраховується за формулою [10]:

$$t_{он} = t_o + t_{дон} \quad (2.25)$$

$$t_{он} = 21 + 2,15 = 23,15 \text{ хв.}$$

Час на обслуговування та відпочинок у серійному виробництві окремо не визначається. Цей час визначається у відсотках від оперативного [10]:

$$t_{обс} = \frac{t_{он} \cdot 7}{100} = \frac{23,15 \cdot 7}{100} = 1,7 \text{ хв.}$$

Підготовчо-заклучний час:  $t_{н.з.} = 8$  хв.

Розмір партії деталей 98 шт.

Штучно – калькуляційний час складає:

$$t_{\text{ум-к}} = 21 + 2,15 + 1,7 + \frac{8}{98} = 24,7 \text{ хв. Аналогічно розраховуємо норми часу на}$$

інші операції, результати зводимо в таблицю 2.3

Таблиця 2.3 – Зведена таблиця норм часу

№ операції	Найменування операції	Осно вний час $t_o$ , хв	Допоміжний час $t_{\theta}$ , хв			Опера тивний час $t_{on}$ хв	Час на обсл угов уван ня $t_{обс}$ , хв	Підго товчо - заклю чний час $t_{п.з.}$ , хв	Шт-к час $t_{\text{ум-к}}$ , хв
			$t_{уст}$ хв	$t_{упр}$ хв	$t_{вим}$ хв				
05	Фрезерна з ЧПУ	82	1,3	0,85	0,16	85,17	5,13	10	89
10	Розточна з ЧПУ	21	0,15	0,129	0,7	23,15	1,7	8	24,7

Висновки. В даному розділі розроблено детальний технологічний процес виготовлення деталі. Проаналізовано конструкцію деталі, визначено тип виробництва – середньо серійний. Для обробки деталі використовуються верстати з високою ступінню автоматизації. Розраховано режими різання для кожного з переходів з урахуванням якості поверхонь деталі та параметрами обладнання. Таким чином, привод верстата забезпечує обробку при заданих режимах. Проведено розрахунок норми штучного часу на кожен з операцій.

## РОЗДІЛ 3

### РОЗРОБКА РОБОТИЗОВАНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ

#### 3.1. Вибір основного обладнання

В межах кваліфікаційної магістерської роботи необхідно вибрати основне устаткування, що входить до складу РТК. До такого обладнання відноситься обладнання, яке використовується безпосередньо для виконання операцій технологічного процесу (металорізальні верстати, преси, нагрівальні печі).

Верстати, які будуть в подальшому використовуватися в РТК, повинні бути без будь-яких серйозних конструктивних змін. Також необхідно враховувати і технологічні можливості цих верстатів. Верстати повинні мати повністю автоматизований цикл роботи, затискні елементи а також пристрої для автоматичної зміни інструменту, відповідати усім необхідним вимогам для їх використання в РТК. У даному роботизованому комплексі будемо використовувати два верстати, фрезерний верстат з ЧПУ FANUCROBODRILLA-T14IEL і шліцефрезерний верстат з ЧПУ 5A352ПФ2. Нижче наведено їх основні характеристики. Фрезерний верстат FANUCROBODRILLA-T14IEL представлений на рисунку 3.1



Рисунок 3.1 Фрезерний верстат з ЧПУ FANUCROBODRILLA-T14IEL

Обробний центр FANUC ROBODRILL серії a-T14IEL є універсальним високошвидкісним роботизованим свердлильно-фрезерним верстатом з системою

ЧПУ. Верстат оснащений шпинделем з конусом № 30 та призначений для виконання високошвидкісної прецизійної механічної обробки деталей з різних матеріалів - сталі (в т.ч. нержавіючої), чавуну, легких сплавів, пластику тощо.

Технічна характеристика верстату FANUCROBODRILLA-T14IEL представлена у таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Технічна характеристика верстата FANUCROBODRILLA-T14IEL

Технічна характеристика	Номінальний розмір
1	2
Робочий хід по осі X	700 мм
Робочий хід по осі Y	400 мм
Робочий хід по осі Z	330 мм
<i>Стіл</i>	
Площа робочої зони XxY	850 x 410 мм
Допустима вага заготовки	250 кг
Конфігурація робочої зони	3 T-подібні пази 14 мм, відстань 125 мм
<i>Шпиндель</i>	
Діапазон швидкостей	100 - 10000 об/хв
Датчик шпинделя	7/24 конус №30 (з повітряним охолодженням)
<i>Швидкість подачі</i>	
Швидкість швидкої поперечної подачі	48 м/хв (X,Y,Z)
Швидкість робочої подачі	1 - 30000 мм/хв
<i>Револьверна головка</i>	
Система автоматичної зміни інструменту	Револьверного типу
Тип інструментального оснащення	JIS B 6339-1998 BT 30 MAS 403-1982 P30T-1 (45°)
Місткість інструментального магазину	21 інструмент
Максимальний діаметр інструменту	80мм
Максимальна довжина інструменту	250мм
Метод вибору інструменту	Довільний, за мінімальною траєкторії

Продовження таблиці 3.1

1	2
Час зміни інструменту (між циклами обробки)	1,8 с. ( для інструментів вагою до 2 кг)
Двигуни	
Привід шпинделя	5,5 кВт (номінально 10 хв) / 3,7 кВт (постійно)
Точність	
Точність позиціонування шпинделя по одній осі	0,010/300мм
Похибка позиціонування	± 0,002 мм
Джерело живлення	
Електроживлення	200-220 В <sup>~</sup> + 10-15% 3-фазний, 50/60 Гц ± 1 Гц 10 кВА
Стиснене повітря	0,35-0,5 МПа (рекомендується 0,5 МПа), 0,13 куб м мінімум
Габаритні розміри верстата	
Висота верстату	2,236 ± 10 мм (якщо не задана висока стійка)
Площа опори	2115 x 2040 мм
Вага верстату	2100 кг

Горизонтально-розточний верстат 2А636Ф4 представлений на рисунку 3.2



Рисунок 3.2 Горизонтально-розточний верстат 2А636Ф4

Горизонтально-розточний верстат 2А636Ф4 призначений для комплексної механічної обробки корпусних деталей масою до 1,2 тонни. Верстат оснащений висувним шпинделем діаметром 125 мм без вбудованої планшайби і має підвищену жорсткість шпиндельної системи.

Технічна характеристика горизонтально-розточного верстата 2А636Ф4 представлена в таблиці 3.2

Таблиця 3.2 – Технічна характеристика горизонтально-розточувального верстата 2А636Ф4

Технічна характеристика	Параметр
Діаметр висувного шпинделя, мм	125
Потужність головного приводу, кВт	28
Конус шпинделя	ISO 50,2-50
Швидкість обертання, хв <sup>-1</sup>	6,3 - 1 250 (6,3 - 1 600)
Найбільший момент на висувному шпинделі, Нм	3 500
Найбільший момент на фрезерному шпинделі, Нм	5 200
Робочий хід радіального супорта вбудованої планшайби, мм	200
Швидкість обертання вбудованої планшайби, хв <sup>-1</sup>	3,15 - 200
Робочі подачі радіального супорта планшайби, мм/хв	0,63 - 630
Найбільший момент на планшайбі, Нм	7 200
Переміщення столу – поперечне (X), мм	2 000 (2 500, 3 150)
Переміщення шпиндельної бабки вертикальне (Y), мм	1 600 (2 000)
Переміщення столу - поздовжнє (W), мм	1 600 (1 900)
Переміщення висувного шпинделя (Z),	1 000

мм	
Поворотний стіл - обертання (В), °	360
Робоча поверхня поворотного столу, мм	1 600 x 1 800 (1 600 x 2 000)
Робочі подачі лінійними осями, мм/хв	2 - 2 000
Прискорені переміщення, мм/хв	5 000 (10 000)
Кількість керованих координат, шт.	6
Дискретність переміщень, мм	0,001
Клас точності	Нормальний (Підвищений)
Габаритні розміри у стандартному виконанні (L x B x H), мм	8 700 x 5 600 x 5 100
Загальна маса верстата, кг	36 350

### 3.2. Вибір промислового робота для роботизованого технологічного комплексу

Для вибору промислового робота, що працює у складі РТК, необхідно визначити основні вимоги яким має відповідати промисловий робот [11]:

- Забезпечення заданої вантажопідйомності;
- Розміри робочої зони промислового робота повинні визначатися розмірами, формою і положенням робочих зон устаткування, що обслуговується;
- Система управління промислового робота вибирається з урахуванням способу позиціонування робочого органу, кількості управляючих координат, обсягу пам'яті;
- Затискний пристрій ПР вибирається з урахуванням конструктивно-технологічних параметрів об'єкта маніпулювання;
- Вантажопідйомність промислового робота має перевищувати масу об'єкта маніпулювання щонайменше на 10%.

Форми та розміри робочої зони повинні бути такими, щоб завантаження та вивантаження заготовки з робочої зони основного та допоміжного обладнання

здійснювалося безперешкодно. Для промислового робота працюючого у складі РТК, число ступенів рухливості найбільше залежить від форми, розмірів та положення робочої зони обладнання та відносного положення обмежувальних поверхонь, що утворюють зону завантаження-розвантаження.

Керуючись параметрами заготовки та обладнанням, вибрано промисловий робот моделі KawasakiRS015X, який представлений на рисунку 3.3.

Таблиця 3.3 – Технічні характеристики ПР KawasakiRS015X

Найменування параметра	Величина параметра
Вантажопідйомність, кг	15
Число ступенів рухливості	6
Число рук	1
Число хватних пристроїв на одній руці	1
Привід	Пневматичний
Радіус дії, м	3,150
Спосіб програмування переміщення	По упорам
Похибка позиціонування, ±мм	0,15
Швидкість, мм/с	19 900



Рисунок 3.3 Промисловий робот KawasakiRS015X

### 3.3. Вибір допоміжного обладнання для роботизованого технологічного комплексу

Основними функціями допоміжного обладнання є [12]:

- Функція накопичення;
- функція транспортування та поштучної видачі виробів;
- функція орієнтації та переорієнтації виробів.

Складність завдань змушує використовувати різні допоміжні пристрої. Основною вимогою до вибору допоміжного обладнання для РТК є: заготовка при подачі та вилученні повинна займати необхідне положення щодо захватного пристрою ПР а робоча зона допоміжного обладнання має перетинатися з робочою зоною промислового робота [12].

До складу проектованого РТК як допоміжне обладнання входить кроковий транспортер. На пластину крокового транспортера встановлюється пристосування із заготовкою. Заготовку можна встановлювати безпосередньо на пластину столу, якщо форма і розміри заготовки дозволяють це зробити або на спеціальні пристрої-супутники, які кріплять до пластин. Готову деталь можна ставити на тактовий стіл або спеціальну тару. До складу проектованого РТК входить тактовий стіл. Представимо схему тактового столу рисунку 3.4

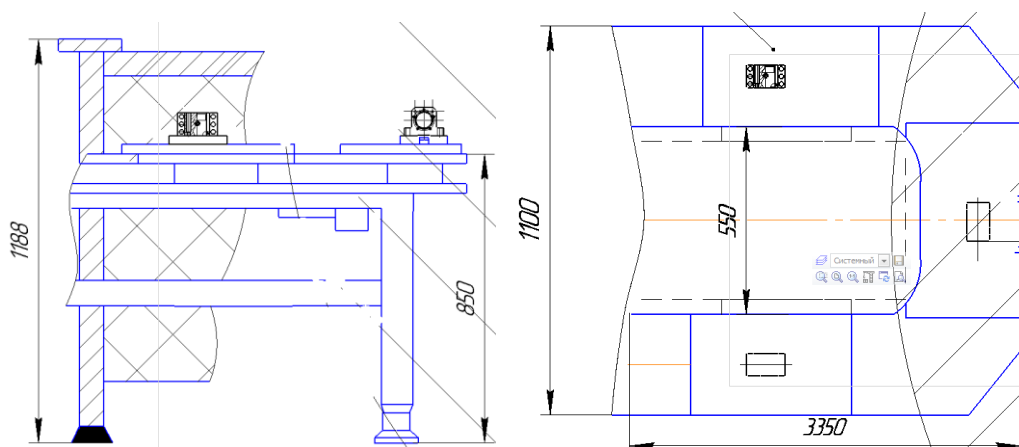


Рисунок 3.4 Схема тактового столу

Тактовий стіл СТ 150 має такі габаритні розміри:

- довжина 3350 мм;
- ширина 1100 мм;
- висота-850 мм;

- Вантажопідйомність однієї пластини 20 кг; - Число пластин 12.

### 3.4. Аналіз компоновання роботизованого технологічного комплексу

РТК, що застосовуються у металообробці, можуть мати різні види компоновок. У цьому проекті використовуватиметься кругове компоновання. Робот і верстати розташовуються таким чином, щоб робоча зона верстата знаходилася в зоні обслуговування робота розміри якої визначено мінімальним та максимальним вильотом руки.

Кругове компоновання РТК дає зручність завантаження та розвантаження обладнання, безперешкодне переміщення захватного пристрою ПР. Забезпечує скорочення допоміжного часу на закріплення та встановлення заготовки, що дозволяє зменшити штучно-калькуляційний час та підвищити продуктивність [13].

РТК в даному проекті має суміщений вхід і вихід, тому при такому компонованні встановлюється один тактовий стіл, який забезпечує подачу заготовок в РТК та прийом оброблених деталей.

Таким чином, кругове компоновання РТК дає [13]:

1. Безперешкодне переміщення захватного пристрою ПР;
2. Можливість розміщення обладнання з урахуванням зручності підходу до нього оператора чи наладчика;
3. Обладнання розташовується навколо робота, що призводить до економії виробничої площі;
4. Кругове компоновання РТК дає високу точність позиціонування  $\pm 0,15$  мм.

### 3.5. Побудова та розрахунок елементів траєкторії захватного пристрою промислового робота

Для програмування переміщень ПР розробляється траєкторія переміщення захвату яка представлена рисунку 3.5

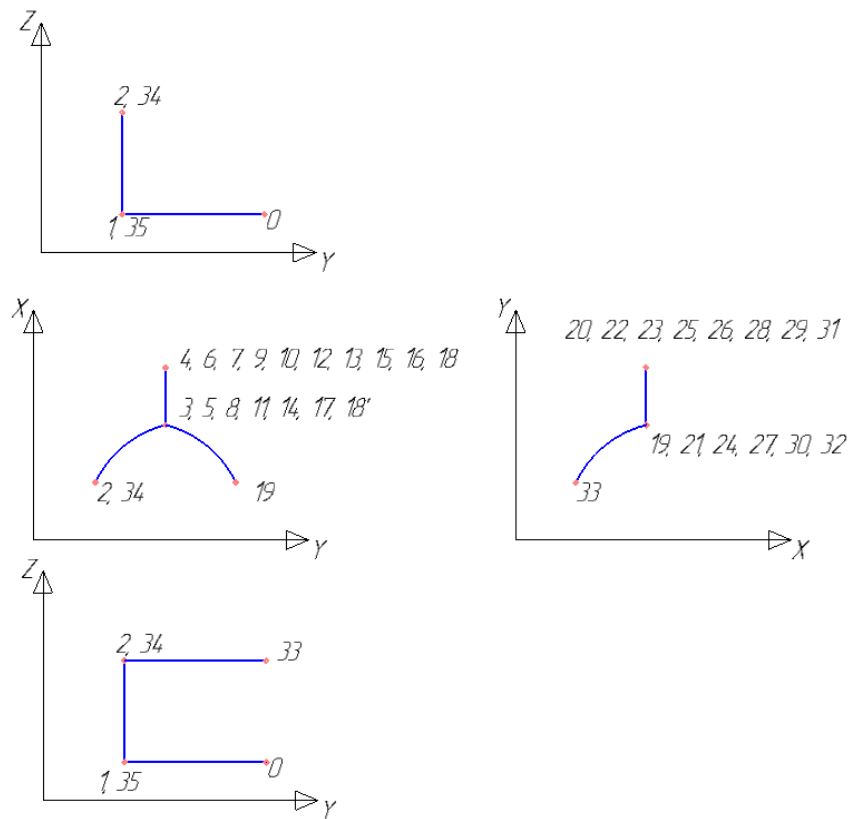


Рисунок 3.5 Траєкторія переміщення захвату ПР

Схема траєкторії переміщень захвату супроводжується таблицею 3.4, що містить інформацію про координатні опорні точки і додаткові рухи.

Таблиця 3.4 – Послідовність переміщень захвату ПР

Елемент траєкторії	Координати чи переміщення	t, c	Дія
1	2	3	4
0	$X_0 Y-1000 Z1200$ $\alpha_0 \beta_0 \gamma_0$	-	Захват розтиснутий
0-1	$L_y=200$	5	
1	$X_0 Y-1000 Z1200$ $\alpha_0 \beta_0 \gamma_0$	-	
Стиснути	-	3	Захват заготовки
1-2	$L_Z=100$	0,5	
2	$X_0 Y-1200 Z1300$ $\alpha_0 \beta_0 \gamma_0$	-	
2-3	$L_x=1000, l_y=1200$	40	
3	$X1000 Y_0 Z1300$ $\alpha_0 \beta_0 \gamma_0$	-	
3-4	$L_x=200$	5	

4	X1200 Y0 Z1300 $\alpha 0 \beta 0 \gamma 0$	-	
Затиск заготовки	-	2,5	Пристрій верстату
Затиск розжати		3	
4-5	LX=-200	5	
5	X1000 Y0 Z1300 $\alpha 0 \beta 0 \gamma 0$	-	
5-6	LX=200	5	
6	X1200 Y0 Z1300 $\alpha 0 \beta 0 \gamma 0$	-	
Затиск зжати	-	3	Захват заготовки
Затиск заготовки и	-	2,5	Розтиснути лещата
6-7	Lz=50, L $^{\alpha}$ =180°	7,9	
7	X1200 Y0 Z1350 $\alpha 180 \beta 0 \gamma 0$	-	
Затиск заготовки	-	2,5	Пристрій верстату
Затиск розжати	-	3	
7-8	LX=-200	5	
8	X1000 Y0 Z1300 $\alpha 0 \beta 0 \gamma 0$	-	
8-9	Lx=-200	5	
9	X1200 Y0 Z1300 $\alpha 0 \beta 0 \gamma 0$	-	
Затиск зжати	-	3	Захват заготовки
Розтиск заготовки	-	2,5	Розтиснути лещата
9-10	Lz=50, L $\alpha$ =90°	7,67	

Продовження таблиці 3.4

1	2	3	4
10	X1200 Y0 Z1350 $\alpha 90 \beta 0 \gamma 0$	-	
Затиск заготовки	-	2,5	Пристрій верстату
Затиск розжати	-	3	
10-11	L $_{\alpha}$ =100	2,5	
11	X1000 Y0 Z1300 $\alpha 0 \beta 0 \gamma 0$	-	
11-12	L $_{\alpha}$ =200	5	
12	X1200 Y0 Z1300 $\alpha 0 \beta 0 \gamma 0$	-	
Затиск зжати	-	3	Захват заготовки
Розтиск заготовки	-	2,5	Розтиснути лещата
12-13	Lz=50, L $_{\beta}$ =90°	7,67	

13	X1200 Y0 Z1350 $\alpha 0 \beta 90 \gamma 0$	-	
Затиск заготовки	-	2,5	Пристрій верстату
Затиск розжати	-	3	
13-14	$L_x = -200, L_z = -50$	7,7	
14	X1000 Y0 Z1300 $\alpha 0 \beta 0 \gamma 0$	-	
14-15	$L_x = 200$	5	
15	X1200 Y0 Z1300 $\alpha 0 \beta 0 \gamma 0$	-	
Затиск зжати	-	3	Захват заготовки
Розтиск заготовки	-	2,5	Розтиснути лещата
15-16	$L_z = 50, L_\beta = 180^\circ$	7,67	
16	X1200 Y0 Z1350 $\alpha 0 \beta 180 \gamma 0$	-	
Затиск заготовки	-	2,5	Пристрій верстату
Затиск розжати	-	3	
16-17	$L_x = 200, L_z = -50$	7,7	
17	X1000 Y0 Z1300 $\alpha 0 \beta 0 \gamma 0$	-	
17-18	$L_x = 200$	5	
18	X1200 Y0 Z1300 $\alpha 0 \beta 0 \gamma 0$	-	
Затиск зжати	-	3	Захват заготовки
Розтиск заготовки	-	2,5	Розтиснути лещата
18-18'	$L_x = 200$	5	
18'	X1000 Y0 Z1300 $\alpha 0 \beta 0 \gamma 0$	-	

Продовження таблиці 3.4

1	2	3	4
18-19	$L_x = -1000, L_y = 1000$	30	
19	X0 Y1000 Z1300 $\alpha 0 \beta 0 \gamma 0$	-	
19-20	$L_y = 300$	5	
19-20	$L_y = 300$	5	
20	X0 Y1300 Z1300 $\alpha 0 \beta 0 \gamma 0$	-	
Затиск заготовки	-	2,5	Пристрій верстату
Затиск розжати	-	3	
20-21	$L_y = -300$	5	
21	X0 Y1000 Z1300 $\alpha 0 \beta 0 \gamma 0$	-	
21-22	$L_y = 300$	5	
22	X0 Y1300 Z1300 $\alpha 0 \beta 0 \gamma 0$	-	

Затиск зжати	-	3	Захват заготовки
Розтиск заготовки	-	2,5	Розтиснути лещата
22-23	$L_z=50, L_\beta=180^\circ$	7,5	
23	$X0 Y1300 Z1350 \alpha 0 \beta 180 \gamma 0$	-	
Затиск заготовки	-	2,5	Пристрій верстату
Затиск розжати	-	3	
23-24	$L_y=-300, L_z=-50$	6	
24	$X0 Y1000 Z1300 \alpha 0 \beta 0 \gamma 0$	-	
24-25	$L_y=300$	5	
25	$X0 Y1300 Z1300 \alpha 0 \beta 0 \gamma 0$	-	
Затиск зжати	-	3	Захват заготовки
Розтиск заготовки	-	2,5	Розтиснути лещата
25-26	$L_z=50, L_\beta=90^\circ$	7	
26	$X0 Y1300 Z1350 \alpha 0 \beta 90 \gamma 0$	-	
Затиск заготовки	-	2,5	Пристрій верстату
Затиск розжати	-	3	
26-27	$L_y=-300, L_z=-50$	6	
27	$X0 Y1000 Z1300 \alpha 0 \beta 0 \gamma 0$	-	
27-28	$L_y=300$	5	
28	$X0 Y1300 Z1300 \alpha 0 \beta 0 \gamma 0$	-	
Затиск зжати	-	3	Захват заготовки

Продовження таблиці 3.4

1	2	3	4
Розтиск заготовки	-	2,5	Розтиснути лещата
28-29	$L_z=50, L_\alpha=90^\circ$	7	
29	$X0 Y1300 Z1350 \alpha 90 \beta 0 \gamma 0$	-	
Затиск заготовки	-	2,5	Пристрій верстату
Затиск розжати	-	3	
29-30	$L_y=-300, L_z=-50$	6	
30	$X0 Y1000 Z1300 \alpha 0 \beta 0 \gamma 0$	-	
30-31	$L_y=300$	5	
31	$X0 Y1300 Z1300 \alpha 0 \beta 0 \gamma 0$	-	
Затиск зжати	-	3	Захват заготовки

Розтиск заготовки	-	2,5	Розтиснути лещата
31-32	$L_y = -300$	5	
32	$X_0 Y 1000 Z 1300 \alpha 0 \beta 0 \gamma 0$	-	
32-33	$L_y = -2000$	30	
33	$X_0 Y -1000 Z 1300 \alpha 0 \beta 0 \gamma 0$	-	
33-34	$L_y = -200$	5	
34	$X_0 Y -1200 Z 1300 \alpha 0 \beta 0 \gamma 0$	-	
34-35	$L_z = -100$	2,5	
35	$X_0 Y -1200 Z 1200 \alpha 0 \beta 0 \gamma 0$	-	
Затиск розжати	-	3	-
35-0	$L_y = 200$	5	
0	$X_0 Y -1000 Z 1200 \alpha 0 \beta 0 \gamma 0$	-	Завершення циклу

У результаті отримали:  $\sum t_i = 520c$

Допустима швидкість лінійного позиціонування  $V_x, м/с$ , у діапазоні вильоту руки промислового робота розраховується за формулою [14]:

$$V_x = \frac{2 \cdot L_x \cdot \sqrt[4]{\Delta l}}{\sqrt[3]{M}}, \quad (3.1)$$

де  $L_x$  – виліт руки ПР, м;

$\Delta l$  – похибка позиціонування, мм;

$M$  – маса об'єкта маніпулювання, кг.

До тактового стола [14]:

$$V_x = \frac{2 \cdot 0,2 \cdot \sqrt[4]{0,05}}{\sqrt[3]{12,8}} = 0,04 \text{ м/с.}$$

До фрезерного верстату [14]:

$$V_x = \frac{2 \cdot 0,2 \cdot \sqrt[4]{0,05}}{\sqrt[3]{12,8}} = 0,04 \text{ м/с.}$$

До розточного верстату [14]:

$$V_x = \frac{2 \cdot 0,3 \cdot \sqrt[4]{0,05}}{\sqrt[3]{12,8}} = 0,06 \text{ м/с.}$$

Швидкість вертикального переміщення ПР  $V_z$  м/с, за умови врівноважування мас розраховується за формулою [15]:

$$V_z = \frac{\alpha_z \cdot \sqrt{L_z} \cdot \sqrt[4]{\Delta l}}{\sqrt[3]{M}}, \quad (3.2)$$

де  $\alpha_z$  – коефіцієнт, що залежить від конструкції приводу;

$L_z$  – довжина колії при вертикальному переміщенні, м.

$$V_z = \frac{3 \cdot \sqrt{0,1} \cdot \sqrt[4]{0,05}}{\sqrt[3]{12,8}} = 0,19 \text{ м/с.}$$

Допустима кутова швидкість  $\omega$ , при повороті руки ПР щодо вертикальної осі розраховується за формулою [15]:

$$\omega = \frac{0,5 \cdot \sqrt{\varphi} \cdot \sqrt[4]{\delta}}{\sqrt[3]{(2 \cdot L_x)^4}}, \quad (3.3)$$

де  $\omega$  – кутова швидкість, рад/с;

$\varphi$  – кут повороту руки, рад;

$\delta$  – похибка кутового позиціонування.

$$\omega = \frac{0,5 \cdot \sqrt{3,14/2} \cdot \sqrt[4]{0,05}}{\sqrt[3]{(2 \cdot 1,85)^4}} = 0,027 \text{ рад/с.}$$

Циклограма функціонування РТК включає у вибраній послідовності всі переходи (дії), що виконуються основним та допоміжним обладнанням, а також ПР, необхідні для обробки заготовки.

Після того, як визначено всі рухи ПР та встановлено послідовність їх виконання, визначається час виконання кожного руху за формулами [15]:

$$t_i = \frac{\varphi_i}{\omega_i}, \quad (3.4)$$

$$t_i = \frac{l_i}{V_i}, \quad (3.5)$$

де  $\varphi_i$  – кути повороту механізмів, град;

$l_i$  – лінійні переміщення механізмів, м;

$\omega_i, V_i$  – швидкості кутового та лінійного переміщень відповідно.

За отриманими даними будуюмо циклограму, відкладаючи по горизонталі у вибраному масштабі тривалості переходів, використовуючи розрахунки.

Побудуємо циклограму і зобразимо на рисунку 3.6

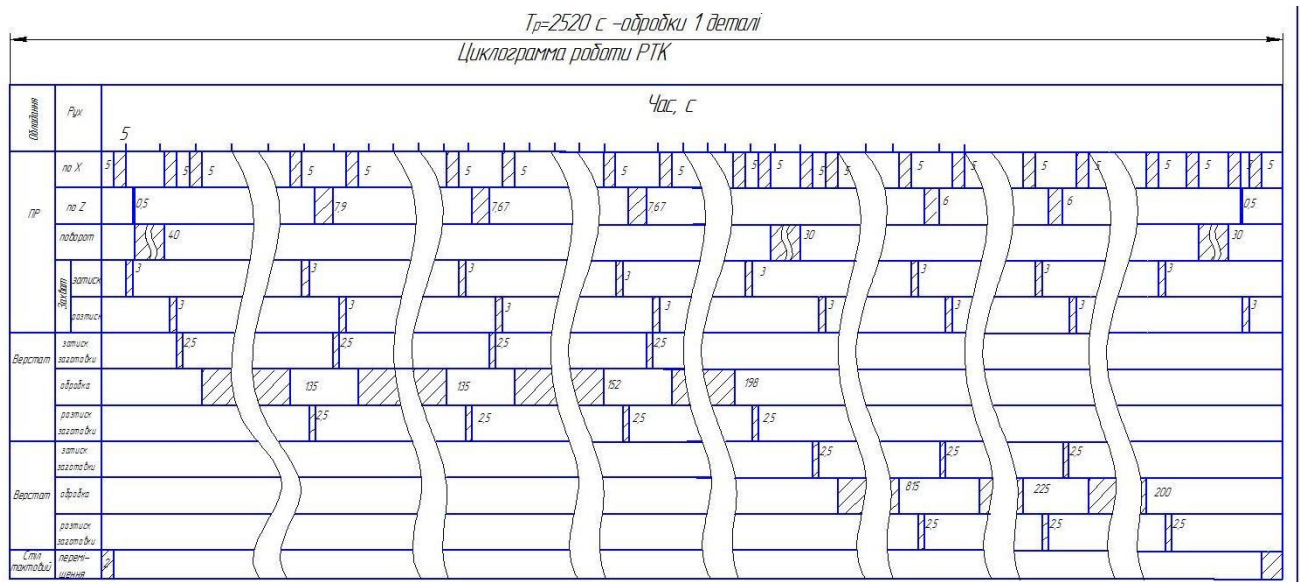


Рисунок 3.6 Циклограма роботи комплексу

На циклограмі зображено усі рухи ПР, логіку та час роботи затискних пристроїв верстату та допоміжного оснащення. Загальний час на обробку однієї деталі становить 2520 с. з них замученість оператора потрібна для роботи протягом 325 с., що становить 12% від усього часу обробки.

Висновки. В розділі проведено аналіз наявного обладнання та устаткування та обрано найбільш продуктивне з точки зору потреби. Це фрезерний верстат з ЧПУ FANUCROBODRILLA-T14IEL і шліцефрезерний верстат з ЧПУ 5A352ПФ2.

Верстат FANUCROBODRILLA-T14IEL оснащений шпинделем з конусом № 30 та призначений для виконання високошвидкісної прецизійної механічної обробки деталей з різних матеріалів - сталі (в т.ч. нержавіючої), чавуну, легких сплавів, пластику тощо. Шліцефрезерний верстат 2A636Ф4 призначений для комплексної механічної обробки корпусних деталей масою до 1,2 тонни. Верстат оснащений висувним шпинделем діаметром 125 мм без вбудованої планшайби і має підвищену жорсткість шпиндельної системи.

Керуючись параметрами заготовки та обладнанням, вибрано промисловий робот моделі KawasakiRS015X. Як допоміжною ланкою проектованого ПР входить кроковий транспортер та тактовий стіл.

Для програмування переміщень ПР розроблено траєкторію переміщення захвату з детальним позначенням траєкторії переміщення захвату. Побудовано циклограму функціонування РТК яка включає у вибраній послідовності всі переходи (дії), що виконуються основним та допоміжним обладнанням, рухи необхідні для обробки заготовки. На циклограмі зображено усі рухи ПР, логіку та час роботи затискних пристроїв верстату та допоміжного оснащення. Визначено час виконання кожного руху. Загальний час на обробку однієї деталі становить 2520 с.

## РОЗДІЛ 4

### ПРОГРАМУВАННЯ КЕРУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ. КОНСТРУЮВАННЯ ЗАТИСКНОГО МЕХАНІЗМУ

4.1. Розробка програмного забезпечення для програмованого логічного контролера (ПЛК)

Програмований логічний контролер (ПЛК) є ключовим у промисловій автоматизації. Це електронний пристрій, який автоматизує роботу машин та процесів. Він зчитує вхідні сигнали з датчиків, приймає рішення на основі програм та надсилає команди таким пристроям, як двигуни та клапани [16].

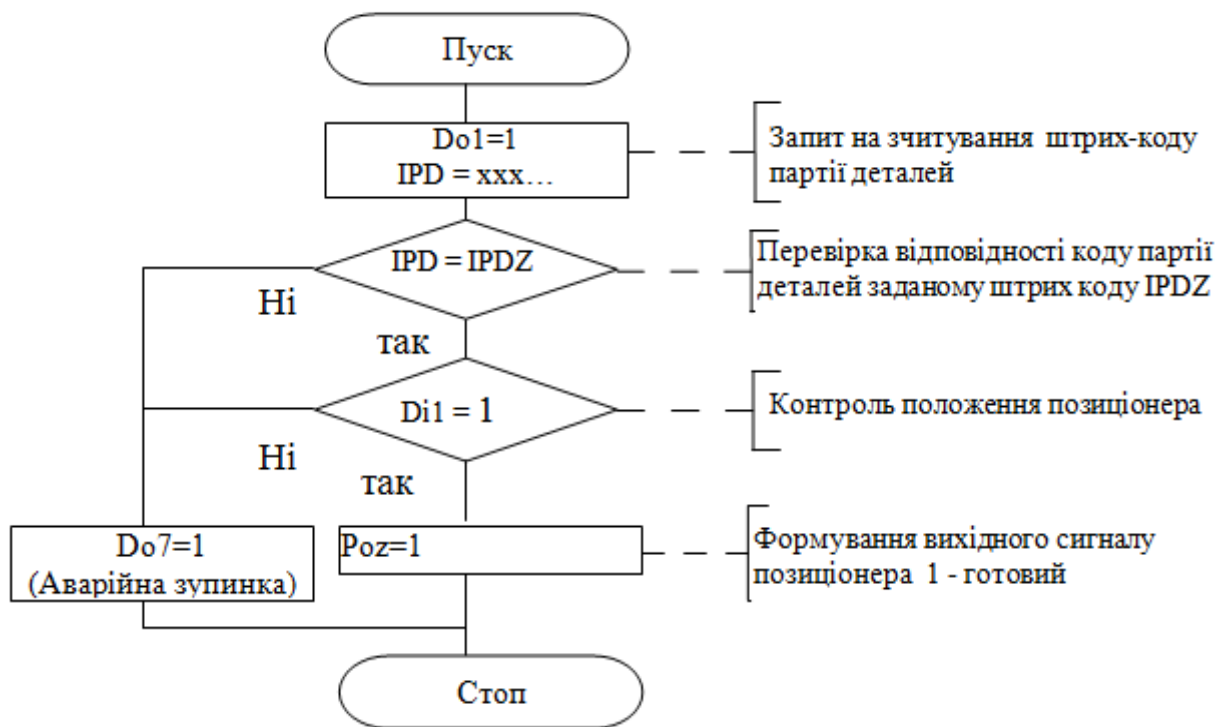


Рисунок 4.1 Схема алгоритму керування позиціонером

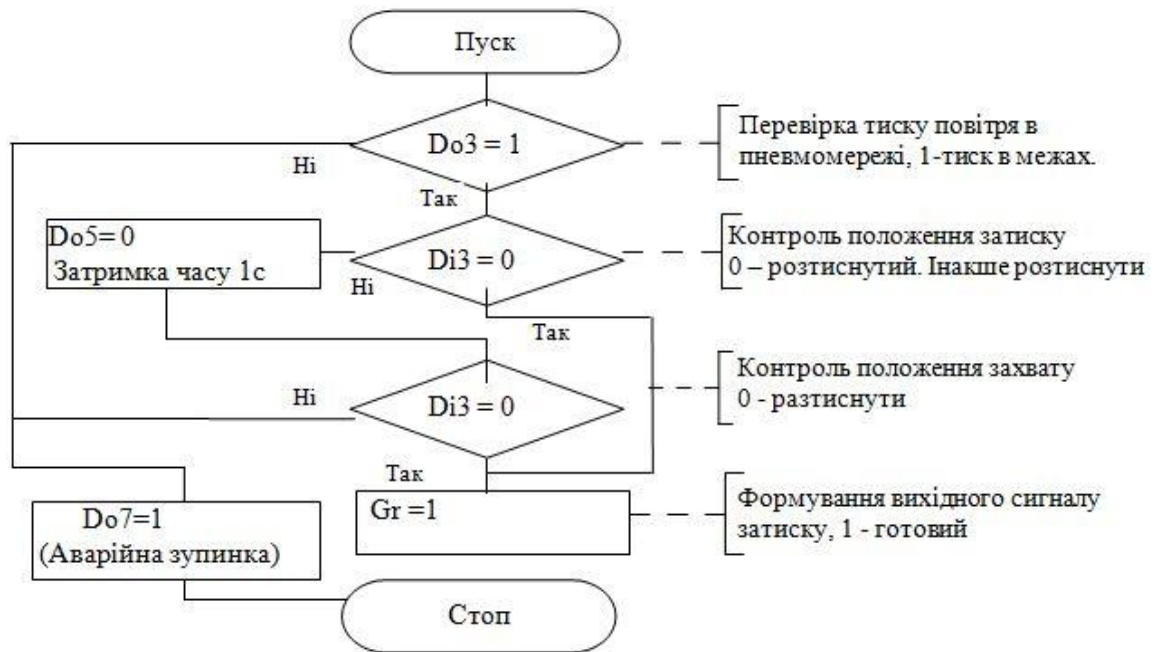


Рисунок 4.2 Схема алгоритму перевірки готовності затиску до завантаження

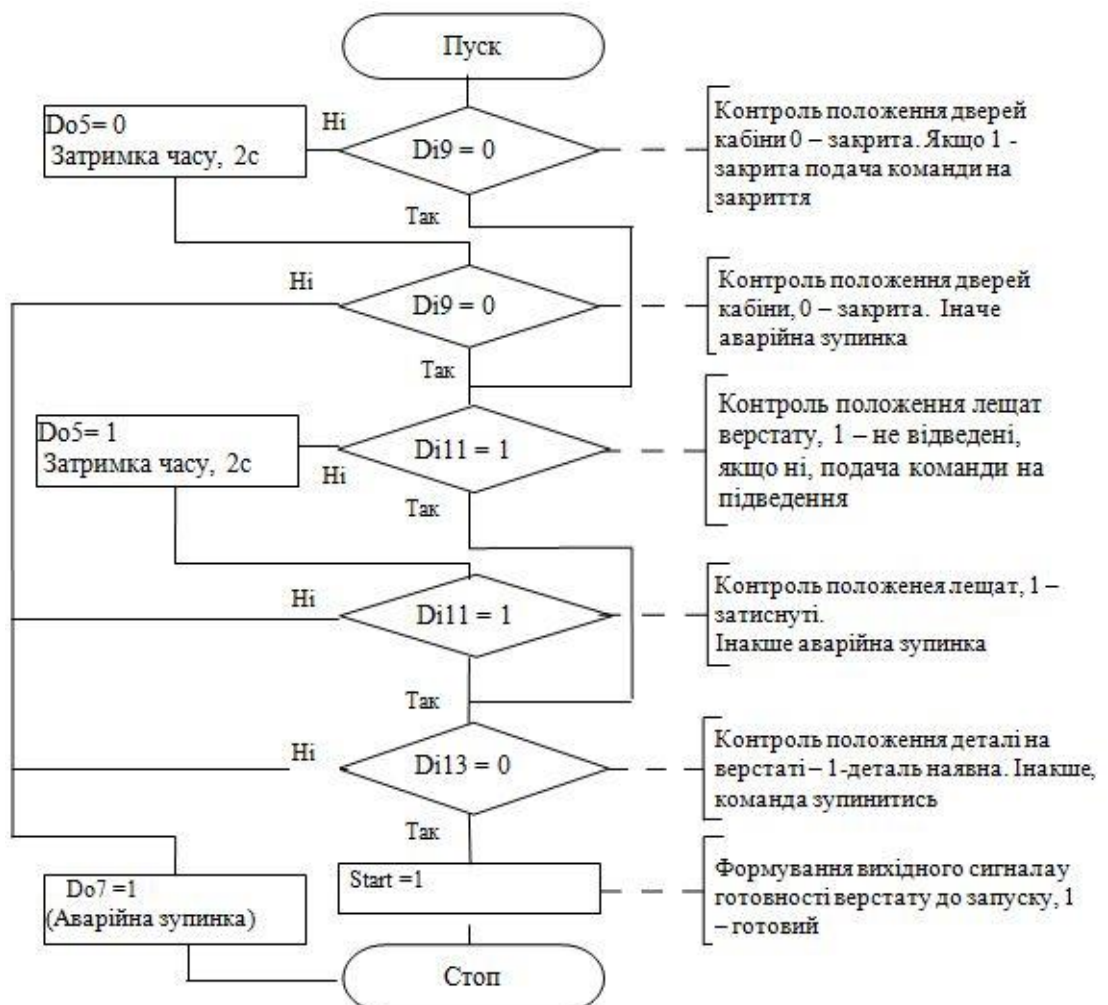


Рисунок 4.3 Схема алгоритму перевірки готовності верстата до запуску

## 4.2. Розрахунок основних показників продуктивності РТК

Основні показники, що характеризують роботу РТК [17]:

- годинна циклова продуктивність  $Q_{\text{ц}}$  ;
- коефіцієнт відносної завантаженості ПР  $K_{\text{зр}}$  ;
- коефіцієнт використання ПР  $K_{\text{вр}}$  ;
- коефіцієнт використання верстата  $K_{\text{вв}}$  ;
- коефіцієнт навантаженості ПР  $K_{\text{нр}}$  ;
- режим роботи робота.

Погодинна циклова продуктивність  $Q_{\text{ц}}$ , год<sup>-1</sup>, розраховується за формулою [17]:

$$Q_{\text{ц}} = \frac{3600}{T_{\text{ц}}}, \quad (4.1)$$

де  $T_{\text{ц}}$  – Час циклу роботи РТК, с.

$$Q_{\text{ц}} = \frac{3600}{6520} = 0,55 \text{ год}^{-1}.$$

Коефіцієнт відносної завантаженості  $K_{\text{зр}}$  розраховується за формулою [17]:

$$K_{\text{зр}} = \frac{P_{\text{ср}}}{P}, \quad (4.2)$$

де  $P_{\text{ср}}$  – середнє значення робочого навантаження, кг;

$P$  – номінальна вантажопідйомність робота, кг.

$$K_{\text{зр}} = \frac{12,8}{15} = 0,85.$$

Коефіцієнт використання ПР  $K_{\text{вр}}$  розраховується за формулою [17]:

$$K_{ep} = \frac{T_{np}}{T_{ц}}, \quad (4.3)$$

де  $T_{np}$  – час роботи ПР за робочий цикл, с.

$$K_{ep} = \frac{520}{6520} = 0,08.$$

Коефіцієнт використання верстата  $K_{ев}$  розраховується за формулою [17]:

$$K_{ев} = \frac{t_o}{T_{ц}}, \quad (4.4)$$

де  $t_o$  – час роботи верстата за робочий цикл, с.

Для першого верстата:

$$K_{ев} = \frac{4860}{6520} = 0,74.$$

Для другого верстата:

$$K_{ев} = \frac{1260}{6520} = 0,19.$$

Розрахувавши значення коефіцієнтів, встановлюємо, що режим роботи ПР "легкий".

#### 4.3. Вибір типу затискного пристрою. Розрахунок та проектування

Як захватний пристрій вибираємо уніфікований механізм схвату PGN-plus 160-2-AS-SD, представлений на рисунку 4.4

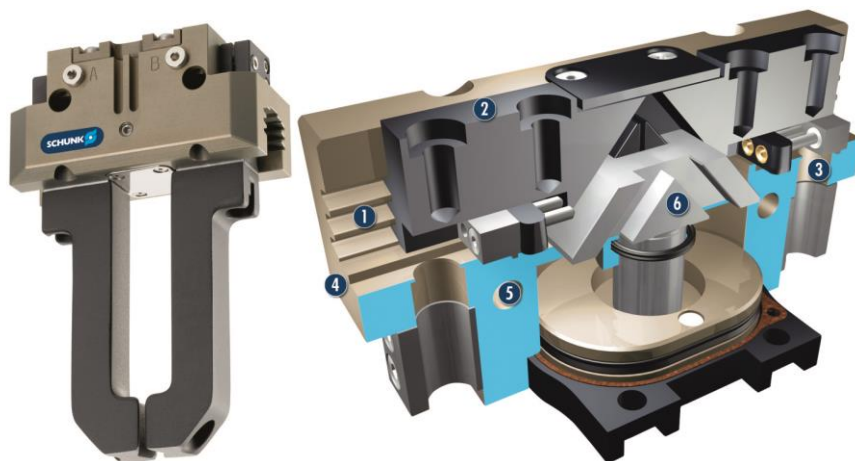


Рисунок 4.1 Схема профілювання губок захватного пристрою

#### 4.4. Силовий розрахунок затискного пристрою

На рисунку 4.5 наведено схему розміщення заготовки та вплив сил на неї в процесі обробки. Згідно даної схеми і проведитимемо силовий розрахунок.

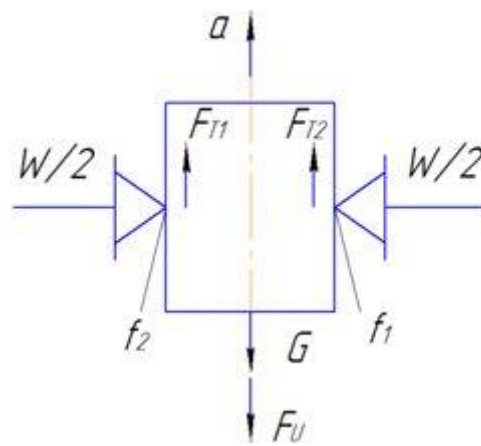


Рисунок 4.5 Схема розподілу сил, що діють на заготовку

Сила затиску [18]:

$$\sum X = G + F_u - F_{T1} - F_{T2} = 0; \quad (4.5)$$

$$G = m \cdot g;$$

$$F_u = m \cdot a;$$

$$F_{T1} = \frac{W}{2} \cdot f_1;$$

$$F_{T2} = \frac{W}{2} \cdot f_2;$$

$$\sum X = m \cdot g \cdot K_s + m \cdot a - \frac{W}{2} \cdot f_1 - \frac{W}{2} \cdot f_2 = 0;$$

$$W = 2 \cdot K_3 \frac{m(g + a)}{F_{T1} + F_{T2}} \quad (4.6)$$

Де  $K_3$  – коефіцієнт запасу,  $K_3=1,5..2$ ;

$m$  – маса заготовки;

$g = 9,8 \text{ м/с}^2$  – прискорення вільного падіння;

$a \geq 4,2 \text{ м/с}^2$  – прискорення ;

$F_{T1} = F_{T2} = 0,4$  – коефіцієнти тертя.

$$W = 2 \cdot 1,7 \frac{12,8(9,8 + 4,2)}{0,4 + 0,4} = 761,6 \text{ Н.}$$

Зусилля на штоці [18]:

$$Q = \frac{2 \cdot W \cdot a}{m \cdot z} \quad (4.7)$$

Де  $a = 100 \text{ мм}$  – довжина пальця;

$m = 4 \text{ мм}$  – модуль сектора;

$z = 14$  число зубів сектора;

$$Q = \frac{2 \cdot 761,6 \cdot 100}{4 \cdot 14} = 2720 \text{ Н} \quad .$$

Зробимо розрахунок приводу механізму затискного пристрою [18]:

$$Q = \frac{\pi \cdot D_{\text{ц}}^2}{4} \cdot p \cdot \eta; \quad (4.8)$$

Де  $p = 0,4 \text{ МПа}$  – тиск повітря в циліндрі;

$\eta = 0,85$  – ККД пневмоциліндра;

$D_{\text{ц}}$  – діаметр циліндра.

$$D_{\text{ц}} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot p \cdot \eta}};$$

$$D_{\text{ц}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2720}{3,14 \cdot 0,4 \cdot 0,85}} = 100 \text{ мм.}$$

Отже обираємо пневмоциліндр діаметром 100 мм. Виходячи з зусилля такий циліндр задовольнятиме вимоги щодо необхідного зусилля затиску.

#### 4.5. Конструювання та розрахунок на міцність деталей затискного пристрою

Розрахуємо на міцність губки затискного пристрою за формулою [19]:

$$\sigma_u = \frac{10^3 \cdot M_z}{W} \leq [\sigma]_u \quad (4.9)$$

де  $M_z$  – згинальний момент ( $M_z = 0,5W \cdot a = 0,5 \cdot 0,1 \cdot 761,6 = 38$  Н·м);

$W$  – момент опору перерізу вигину.

$$W = \frac{b}{6 \cdot D} (D^3 - d^3) = \frac{250}{6 \cdot 65} (65^3 - 15^3) = 0,2 \cdot 10^6, \text{ мм}^3 \quad (4.10)$$

Де  $[\sigma]_u$  - допустима напруга вигину ( $[\sigma]_u = 0,5 \cdot 420 \cdot 10^6 = 210 \cdot 10^6$ )

Тоді:

$$\sigma_u = \frac{10^3 \cdot 5 \cdot 10^3}{0,2 \cdot 10^6} = 25 \leq 210$$

$$25 \leq 210$$

Умова міцності виконується.

Визначимо максимальну контактну напругу в зоні А торкання губки затискного пристрою та поверхнею деталі за формулою [19]:

$$\sigma = 0,418 \cdot \sqrt{\frac{N \cdot E_{np}}{l} \cdot \left( \frac{2}{d} + \frac{1}{r} \right)} \quad (4.11)$$

Де  $N$  – сила затиску;

$E_{np}$  – наведений модуль пружності;

$l$  – ширина губки ЗП;

$d$  – діаметр деталі;

$r$  – радіус губку ЗП.

Розрахуємо наведений модуль пружності.

Матеріал губок захвату – сталь 45 ( $E_{np}=2$  МПа), матеріал заготовки – сталь 10 ( $E_{np}=2,05$  МПа) [20]:

$$E_{np} = \frac{2 \cdot E_{\delta} \cdot E_2}{E_{\delta} + E_2} \quad (4.12)$$

$$E_{np} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 2,05}{2,05 + 2} = 2,02 \text{ МПа} .$$

Тоді,

$$\sigma = 0,418 \cdot \sqrt{\frac{761,6 \cdot 2 \cdot 10^6}{70} \cdot \left( \frac{2}{50} + \frac{1}{75} \right)} = 137 \text{ Па} .$$

Порівняємо отримане значення з контактною напругою для сталі, що допускається:

$$[\sigma_k] = 2,5 \cdot HB = 2,5 \cdot 140 = 350 \text{ Па} .$$

Так як  $137 \text{ Па} < 350 \text{ Па}$ , то максимальна контактна напруга є допустимою.

Висновки. Розроблено алгоритм роботи та схему керування, схему алгоритму перевірки готовності затискного пристрою до завантаження, схему алгоритму перевірки готовності верстата до запуску. Кожен з алгоритмів виключає можливість зіткнення робочих органів обладнання чи заготовки. При ризику зіткнення прилад впадає в аварію. Визначено основні показники ефективності РТК. Погодинна циклова продуктивність становить 0,55 години, коефіцієнт відносної завантаженості 0,85%, Коефіцієнт використання ПР – 8%, коефіцієнт використання верстату 1 – 0,74, коефіцієнт використання верстату 2 0,19. Розрахувавши значення коефіцієнтів, встановили, що режим роботи ПР "легкий". Провівши розрахунок зусилля затискного пристрою обрали пневмоциліндр діаметром 100 мм. Виходячи з зусилля такий циліндр задовольнятиме вимоги щодо необхідного зусилля затиску. Здійснено розрахунок на міцність губок затискного пристрою. Визначивши максимальну контактну напругу в зоні А торкання губки затискного пристрою та поверхнею деталі визначили, що максимальна контактна напруга є допустимою.

## ВИСНОВКИ

У процесі виконання магістерської кваліфікаційної роботи було успішно вирішено вагоме технічне завдання: удосконалено технологічний процес виготовлення корпусу редуктора, спроектовано автоматизовану виробничу лінію, а також розроблено технологічне обладнання для його виробництва.

Здійснено аналіз конструкції деталі враховуючи призначення, матеріал та конструктивні особливості деталі. Матеріал вирізняється гарною пластичністю, підходить для хіміко-термічної обробки. Деталь є технологічною, має прості форми оброблюваних поверхонь які можна обробляти із застосуванням простих інструментів та мінімальною кількістю переходів. Поверхні можна використовувати як технологічні бази. Коефіцієнт використання матеріалу – 0,85. Визначено тип виробництва – середньосерійний. Обрано метод отримання заготовки – прокат. Розроблено детальний технологічний процес виготовлення деталі. Проаналізовано конструкцію деталі, визначено тип виробництва – середньо серійний. Для обробки деталі використовуються верстати з високою ступінню автоматизації. Розраховано режими різання для кожного з переходів з урахуванням якості поверхонь деталі та параметрами обладнання. Таким чином, привод верстата забезпечує обробку при заданих режимах. Проведено розрахунок норми штучного часу на кожну з операцій.

Проведено аналіз наявного обладнання та устаткування та обрано найбільш продуктивне з точки зору потреби. Це фрезерний верстат з ЧПУ FANUCROBODRILLA-T14IEL і шліцефрезерний верстат з ЧПУ 5A352ПФ2. Верстат FANUCROBODRILLA-T14IEL оснащений шпинделем з конусом № 30 та призначений для виконання високошвидкісної прецизійної механічної обробки деталей з різних матеріалів - сталі (в т.ч. нержавіючої), чавуну, легких сплавів, пластику тощо. Шліцефрезерний верстат 2A636Ф4 призначений для комплексної механічної обробки корпусних деталей масою до 1,2 тонни. Верстат оснащений висувним шпинделем діаметром 125 мм без вбудованої планшайби і має підвищену жорсткість шпиндельної системи.

Керуючись параметрами заготовки та обладнанням, вибрано промисловий робот моделі KawasakiRS015X. Як допоміжною ланкою проєктованого ПР входить кроковий транспортер та тактовий стіл.

Для програмування переміщень ПР розроблено траєкторію переміщення захвату з детальним позначенням траєкторії переміщення захвату. Побудовано циклограму функціонування РТК яка включає у вибраній послідовності всі переходи (дії), що виконуються основним та допоміжним обладнанням, рухи необхідні для обробки заготовки. На циклограмі зображено усі рухи ПР, логіку та час роботи затискних пристроїв верстату та допоміжного оснащення. Визначено час виконання кожного руху. Загальний час на обробку однієї деталі становить 2520 с.

Розроблено алгоритм роботи та схему керування, схему алгоритму перевірки готовності затискного пристрою до завантаження, схему алгоритму перевірки готовності верстата до запуску. Кожен з алгоритмів виключає можливість зіткнення робочих органів обладнання чи заготовки. При ризику зіткнення прилад впадає в аварію. Визначено основні показники ефективності РТК. Погодинна циклова продуктивність становить 0,55 години, коефіцієнт відносної завантаженості 0,85%, Коефіцієнт використання ПР – 8%, коефіцієнт використання верстату 1 – 0,74, коефіцієнт використання верстату 2 0,19. Розрахувавши значення коефіцієнтів, встановили, що режим роботи ПР "легкий". Провівши розрахунок зусилля затискного пристрою обрали пневмоциліндр діаметром 100 мм. Виходячи з зусилля такий циліндр задовольнятиме вимоги щодо необхідного зусилля затиску. Здійснено розрахунок на міцність губок затискного пристрою. Визначивши максимальну контактну напругу в зоні А торкання губки затискного пристрою та поверхнею деталі визначили, що максимальна контактна напруга є допустимою.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. J. Chen, Z. Wang, Z. Liu, and S. Ju, “Experimental investigation of mechanical properties of steel half-grouted sleeve splice with Reinforcement bonding defects,” *Journal of Building Engineering*, vol. 50, Jun. 2022, doi: 10.1016/j.jobe.2022.104113.

2. Яковенко І. Е., Пермяков О. А., Фесенко А. В. Технологічні основи машинобудування: навчальний посібник для студентів спеціальностей 131 – Прикладна механіка, 133 – Галузеве машинобудування / І. Е. Яковенко, О. А. Пермяков, А.В. Фесенко – Харків: НТУ «ХП», 2022. – 421с.

3. Дзюра В.О., Марущак П.О. Технологічні методи забезпечення параметрів якості поверхонь тіл обертання та їх профілометричний контроль. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2021. – 170 с.

4. Технологічні основи машинобудування. [Електронний ресурс]: підручник для студ. спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» / С.С. Добрянський, Ю.М. Малафєєв; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 13,4 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 379 с.

5. Паливода Ю. Є. Заготовки у машинобудівному виробництві : навчально-методичний посібник / Паливода Ю.Є., Дячун А.Є. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2022. – 148 с.

6. Булига Ю. В., Веселовська Н. Р., Міськов В. П. Теорія різання. Розрахунок режимів різання : практикум – Вінниця : ВНТУ, 2019. – 67 с

7. Практичні роботи з дисципліни «Спеціальні розділи механічної обробки матеріалів» методичні вказівки [для здобувачів третього освітньо-наукового рівня вищої освіти спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», денної та заочної форм навчання] / [уклад.: Я.В.Васильченко]. – Краматорськ; Тернопіль : ДДМА, 2023. – 165 с

8. Паливода Ю. Є. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки : навчально-методичний посібник / Паливода Ю.Є., Дячун А.Є., Лещук Р.Я. – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. – 240 с.

9. Теорія різання [Електронний ресурс]: Підручник для студентів спеціальності 131 – Прикладна механіка / О. В. Глоба, В. В. Вовк, Д. А. Красновид, В. І. Солодкий. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 248 с
10. Основи технології машинобудування. Частина 2. Самостійна та індивідуальна робота студентів : навч. посіб. / О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, С. В. Репінський, С. І. Сухоруков – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 90 с.
11. Kangru, T., Riives, J., Mahmood, K., Otto, T., (2019), Suitability analysis of using industrial robots in manufacturing, Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, 68(4), 383–388, <https://doi.org/10.3176/proc.2019.4.06>
12. Rishi Kanth, N., Srinath, A., Suresh Kumar, J. (2019), Selection of industrial robots for automation applications in multiple attribute decision making environment using the analytical network process, International Journal of Engineering & Technology, 7(3.12), 392-402
13. Cao, B.; Yan, Y.; Wang, Y.; Liu, X.; Lin, J.C.-W.; Sangaiah, A.K.; Lv, Z. A multiobjective intelligent decision-making method for multistage placement of PMU in power grid enterprises. IEEE Trans. Industr. Inform. 2022,9, 7636–7644.
14. Організація виробництва : практикум [для студентів спеціальностей 051 Економіка та 281 Публічне управління та адміністрування] / С. М. Савченко, А. Д. Кухарук, К. Ю. Редько. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 96 с.
15. Луців І.В., Носуленко В.І. Роботизовані технологічні комплекси. Монографія – Кропивницький: Видавництво ТОВ «КОД». 2019. – 382 с
16. Струтинський В.Б., Кириченко А.М. Захватні пристрої роботів. Монографія – Кропивницький: Видавництво ТОВ «КОД». 2020. – 386 с
17. Ефективність інженерних рішень : навчальний посібник для здобувачів вищої освіти спеціальності 131-Прикладна механіка галузі знань 13-Механічна інженерія / Укладачі : Л.М. Данильченко, В.В. Васильків, І.Г. Ткаченко, М.Д. Сіправська. – Тернопіль : Вид-во ТНТУ, 2024.–248 с.
18. Яковенко І. Е.. Пермяков О. А. Технологічна оснастка. Розрахунки. Проектування: навчальний посібник для студентів спеціальностей 131 – Прикладна механіка, 133 – Галузеві машинобудування /І. Е. Яковенко, О. А. Пермяков – Харків : НТУ «ХПІ», 2024. – 233с.

19. Технологічна оснастка. Розрахунки. Проектування: навчальний посібник для студентів спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» / І. Е. Яковенко, О. А. Пермяков – Харків: НТУ «ХПІ», 2024. – 232с.

20. Яковенко, І.Е. Гнучкі виробничі системи: навчальний посібник для студентів напрямку 131 – Прикладна механіка / І. Е. Яковенко, О. А. Пермяков, О. М. Шелковой. Харків: «Діса плюс», 2019. – 246 с