

Центральноукраїнський національний технічний університет
Центр заочної та дистанційної освіти
Кафедра машинобудування, мехатроніки і робототехніки

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
на тему:

**Розробка технології обробки диска СЗГ 00.126 з
проведенням синтезу виконань двозахватних
промислових роботів**

**Development of technology for processing the SZG 00.126
disc with the synthesis of dual-gripper industrial robots**

Виконав здобувач вищої освіти
2 курсу магістратури групи ПМ-24Мз-3
ОПП «Прикладна механіка»
спеціальності 131 «Прикладна механіка»
_____ Дмитро ВАЛЬОК

Керівник роботи:
канд. техн. наук, доцент
_____ Віталій МАЖАРА

Рецензент:
канд. техн. наук, доцент
_____ Любов ОЛІЙНИЧЕНКО

Завідувач кафедри ММР
канд. техн. наук, доцент
_____ Андрій ГРЕЧКА

Центральноукраїнський національний технічний університет

Центр заочної та дистанційної освіти

Кафедра машинобудування, мехатроніки і робототехніки

Другий (магістерський) рівень вищої освіти

Галузь знань: 13 Механічна інженерія

Спеціальність: 131 Прикладна механіка

Освітньо-професійна програма: Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

машинобудування,

мехатроніки і робототехніки

канд. техн. наук, доцент

_____ Андрій ГРЕЧКА

Завдання на кваліфікаційну роботу за другим (магістерським) рівнем вищої освіти Вальку Дмитру Васильовичу

Тема роботи:

Розробка технології обробки диска СЗГ 00.126 з проведенням синтезу виконань двозахватних промислових роботів

Керівник роботи:

канд. техн. наук, доцент Віталій МАЖАРА

Затверджено наказом ЦНТУ від 22 серпня 2025 року № 49-13.

Строк подання роботи до захисту:

20 грудня 2025 р.

Мета та завдання кваліфікаційної роботи:

Закласти основи використання методу морфологічного аналізу для синтезу конструкцій промислових роботів та роботизованих комплексів, зокрема провести розподіл об'єктів на морфологічні ознаки і скласти морфологічні матриці.

Розробити методику кінематичного структурного аналізу та синтезу двозахватних промислових роботів з різною кількістю ступенів рухомості та різним їх розподілом на окремі кінематичні групи, в залежності від їх функціонального призначення та приналежності до тієї чи іншої частини пристрою.

Провести структурні дослідження можливих комбінованих варіантів двозахватних пристроїв та сформулювати методику визначення таких варіантів.

Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічна частина	канд. екон. наук, доцент Ірина ЖУРИЛО		

Календарний план

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання роботи	Примітка
1	Опрацювання літератури по тематиці роботи	05.10.2025 р.	
2	Виконання технологічної частини	18.10.2025 р.	
3	Виконання конструкторської частини	03.11.2025 р.	
3	Виконання дослідної частини	28.11.2025 р.	
4	Розробка стартапу	04.12.2025 р.	
5	Виконання графічної частини роботи	11.12.2025 р.	
6	Перевірка роботи на академічний плагіат	13.12.2025 р.	
7	Рецензування роботи	15.12.2025 р.	

Дата видачі завдання
01 вересня 2025 р.

Здобувач вищої освіти

Дмитро ВАЛЬОК

Керівник роботи

Віталій МАЖАРА

АНОТАЦІЯ

Вальок Д. В. Розробка технології обробки диска СЗГ 00.126 з проведенням синтезу виконань двозахватних промислових роботів : кваліфікаційна магістерська робота : спец. 131 «Прикладна механіка» ОПП «Прикладна механіка» / наук. кер. В. А. Мажара. Центральнoукраїн. нац. техн. ун-т. Кропивницький : ЦНТУ, 2025. - 73 с.

Графічна частина – 8 аркушів формату А1.

Актуальність роботи. Враховуючи тенденції та важливість роботизації виробництва, доцільність використання двозахватних промислових роботів є надзвичайно актуальною темою для наукового дослідження. Незважаючи на очевидні переваги, комплексний аналіз економічної, технічної та організаційної ефективності впровадження саме двозахватних систем у конкретні виробничі процеси залишається недостатньо висвітленим у вітчизняній науковій літературі.

Мета роботи. Закласти основи використання методу морфологічного аналізу для синтезу конструкцій промислових роботів та роботизованих комплексів, зокрема провести розподіл об'єктів на морфологічні ознаки і скласти морфологічні матриці. Розробити методику кінематичного структурного аналізу та синтезу двозахватних промислових роботів з різною кількістю ступенів рухомості та різним їх розподілом на окремі кінематичні групи, в залежності від їх функціонального призначення та приналежності до тієї чи іншої частини пристрою. Провести структурні дослідження можливих комбінованих варіантів двозахватних пристроїв та сформулювати методику визначення таких варіантів.

Наукова новизна. Виконане теоретичне обґрунтування та розроблена формалізована методика синтезу виконань двозахватних промислових роботів. Результати роботи створять алгоритмічну основу для прийняття оптимальних рішень щодо конфігурації РТК на ранніх стадіях проєктування, що мінімізує ризики та вартість інтеграції. Розроблена методика кінематичного структурного аналізу та синтезу двозахватних промислових роботів з різною кількістю ступенів рухомості та різним їх розподілом на окремі кінематичні групи, в залежності від їх функціонального призначення та приналежності до тієї чи іншої частини пристрою. Такими складовими прийнято механізм зміни захватів місцями, локально – операційні ступені рухомості та кисті.

технологія обробки, промисловий робот, двозахватний пристрій, роботизований комплекс

ANNOTATION

Valok D. V. Development of technology for processing the SZG 00.126 disc with the synthesis of dual-gripper industrial robots : qualification work for the educational level "Master's" : specialty 131 "Applied Mechanics" EPP "Applied Mechanics" / scientific director V. A. Mazhara. Central Ukrainian National Technical University. Kropyvnytskyi: CUNTU, 2025. - 73 p.

Graphic part - 8 sheets of A1 format.

Relevance of the work. Given the trends and importance of production robotisation, the feasibility of using dual-gripper industrial robots is an extremely relevant topic for scientific research. Despite the obvious advantages, a comprehensive analysis of the economic, technical and organisational efficiency of implementing dual-gripper systems in specific production processes remains insufficiently covered in domestic scientific literature.

Purpose of the work. To lay the foundations for the use of morphological analysis for the synthesis of industrial robot designs and robotic complexes, in particular to classify objects according to morphological features and compile morphological matrices. To develop a methodology for kinematic structural analysis and synthesis of dual-gripper industrial robots with different numbers of degrees of freedom and their distribution into separate kinematic groups, depending on their functional purpose and belonging to one or another part of the device. Conduct structural studies of possible combined variants of two-gripper devices and develop a methodology for determining such variants.

Scientific novelty. Theoretical justification and formalised methodology for the synthesis of dual-gripper industrial robots have been developed. The results of the work will create an algorithmic basis for making optimal decisions regarding the configuration of RTK in the early stages of design, which minimises the risks and cost of integration. A methodology has been developed for the kinematic structural analysis and synthesis of dual-gripper industrial robots with different numbers of degrees of freedom and their distribution into separate kinematic groups, depending on their functional purpose and belonging to one or another part of the device. Such components are the mechanism for changing grippers, locally – operational degrees of mobility and hands.

processing technology, industrial robot, dual-gripper device, robotic complex

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	
1.1 Аналіз точності та технологічності деталі	10
1.2 Аналіз діючих технологічних процесів та вибір методів і маршрутів обробки поверхонь деталі	12
1.3 Розробка маршруту виготовлення деталі	13
2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	
2.1 Розробка конструкції затискного пристрою для закріплення диску	19
2.2 Розрахунок потрібної сили затиску деталі	20
2.3 Розрахунок параметрів силового приводу та слабої ланки на міцність	23
3 ДОСЛІДНА ЧАСТИНА	
3.1 Вступ	25
3.2 Загальні положення	27
3.3 Розподілення об'єктів на морфологічні признаки і складання морфологічних матриць	28
3.4 Синтез варіантів виконань двохзахватних промислових роботів та роботизованих комплексів	33
3.5 Розробка методики проектування кінематичних схем роботів	50
4 РОЗРОБКА СТАРТАПУ	
4.1 Резюме проєкту	58
4.2 Актуальність роботизації у виробництві (Індустрія 4.0)	58
4.3 Дослідження ринку та цільова аудиторія	60
4.4 Дослідження та технічна реалізація	63
4.5 Фінансовий аналіз та розрахунки	64
4.6 Рекомендації щодо залучення інвестицій	66
ВИСНОВКИ	69
ЛІТЕРАТУРА	70

ВСТУП

Сучасний світ характеризується стрімким розвитком технологій, глобалізацією ринків та посиленням конкуренції, що висуває нові, більш жорсткі вимоги до виробничих систем. Підприємства змушені безперервно шукати шляхи підвищення ефективності, оптимізації процесів, забезпечення високої якості продукції та гнучкості виробництва. У цьому контексті промислова робототехніка виступає не просто як інструмент автоматизації, а як ключовий фактор конкурентоспроможності та інноваційного розвитку.

Наскільки важливо в сучасних виробничих умовах використовувати промислові роботи?

Сучасне виробництво знаходиться на етапі переходу до "Інтелектуального виробництва" (Smart Manufacturing) та Індустрії 4.0, де відбувається інтеграція фізичних виробничих процесів з цифровими технологіями (Інтернет речей, великі дані, штучний інтелект). У цій парадигмі промислові роботи відіграють центральну роль, виступаючи як основні виконавчі елементи, здатні до високоточної, швидкої, безперервної та адаптивної роботи.

Однією з найбільш очевидних та критично важливих переваг використання промислових роботів є суттєве підвищення продуктивності. Роботи можуть працювати 24 години на добу, 7 днів на тиждень, без перерв на відпочинок, хвороби чи відпустки. Вони виконують операції на швидкостях, які значно перевищують можливості людської праці, забезпечуючи стабільний темп виробництва. Наприклад, у автомобільній промисловості роботи здатні виконати зварювання кузова за лічені хвилини, що є незрівнянним показником у порівнянні з ручною працею. Це дає змогу підприємствам максимізувати пропускну здатність виробничих ліній та ефективно реагувати на зростаючий попит ринку.

Якість продукції є наріжним каменем успіху в умовах жорсткої конкуренції. Промислові роботи забезпечують високу повторювану точність (до ± 0.01 мм для високоточних операцій), усуваючи так званий "людський фактор" — ймовірність

помилки, спричинених втому, неуважністю чи недостатньою кваліфікацією оператора. Стабільність виконання завдань гарантує однорідність виробів та значне зниження відсотка браку (нерідко на 30-40% і більше), що прямо веде до скорочення виробничих витрат та підвищення репутації бренду.

Впровадження роботів дозволяє винести людину з небезпечних, шкідливих та важких умов праці. Роботи ефективно працюють у середовищах з високими температурами (лиття металів), токсичними або радіоактивними матеріалами, а також виконують операції з підйому та переміщення важких вантажів. Це різко знижує травматизм на виробництві та покращує загальні умови праці для персоналу, який переорієнтовується на функції нагляду, програмування та обслуговування робототехнічних комплексів.

Поряд з універсальними промисловими роботами, особливу увагу заслуговують спеціалізовані рішення, до яких належать двозахватні промислові роботи. Вони являють собою новий рівень автоматизації, пропонуючи суттєві переваги, особливо в операціях, що вимагають високої спритності та складної послідовності дій.

Двозахватний робот, оснащений двома незалежними або скоординованими маніпуляторами (кінцевими ефекторами), здатний виконувати дві операції одночасно або послідовно без необхідності в проміжних кроках. Наприклад, один маніпулятор може виймати готову деталь зі станка або складальної зони, поки інший одразу ж подає нову заготовку. Така паралелізація процесів дозволяє суттєво скоротити час циклу виробництва. В операціях типу "завантаження-розвантаження" двозахватні роботи можуть скоротити час, необхідний на переміщення деталей, до 30-50% у порівнянні з однозахватними аналогами, які витрачають час на повернення за наступною деталлю.

Наявність двох захватів чи рук значно розширює діапазон можливих операцій та підвищує гнучкість системи. Двозахватні роботи імітують рухи та співпрацю людських рук, дозволяючи виконувати складні складальні операції, де

необхідна одночасна фіксація однієї деталі та маніпуляція іншою, або застосування зусилля з двох сторін. Вони можуть ефективно використовуватися для:

- складання: утримання основи однією рукою та прикручування/приклеювання компонента іншою;
- операції з обслуговування верстатів: майже одночасне зняття обробленої деталі та завантаження заготовки в робочій зоні;
- пакування та палетування: одночасне захоплення та розміщення двох одиниць продукції.

Ця функціональність дозволяє консолідувати кілька операцій на одному робототехнічному комплексі, зменшуючи потребу в додатковому обладнанні та виробничій площі.

Хоча початкові інвестиції у двозахватний робот можуть бути вищими, ніж у один однозахватний, їх економічна доцільність часто виявляється вищою. Здатність замінити два однозахватні роботи або значно скоротити час циклу приводить до швидшої окупності інвестицій завдяки збільшенню обсягів випуску продукції, економії виробничої площі та зменшенню потреби в периферійному обладнанні. Таким чином, двозахватні системи є стратегічно вигідним рішенням для оптимізації високошвидкісних та складних виробничих процесів.

Кваліфікаційну роботу будемо виконувати у відповідності до методичних вказівок, що розроблені кафедрою [5] та [6].

1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз точності та технологічності деталі

Диск СЗГ 00.126 виготовляється з сірого чавуну СЧ20 за ГОСТ 1412-79. Підвищені вимоги, щодо точності і якості поверхонь в даній деталі пред'являються до найбільш відповідних по службовому призначенню поверхонь – центрального отвору $\varnothing 30H11(^{+0,13})$ та зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 42h11(-0,16)$. У деталі диск немає поверхонь до яких висунуто спеціальні вимоги щодо взаємного розміщення поверхонь. Допуски на всі інші поверхні не перевищують 12-го квалітету точності [1-3].

Диск не має важкодоступних ділянок для механічної обробки та є достатньо жорсткою деталлю, що дозволяє вести механічну обробку високопродуктивними методами.

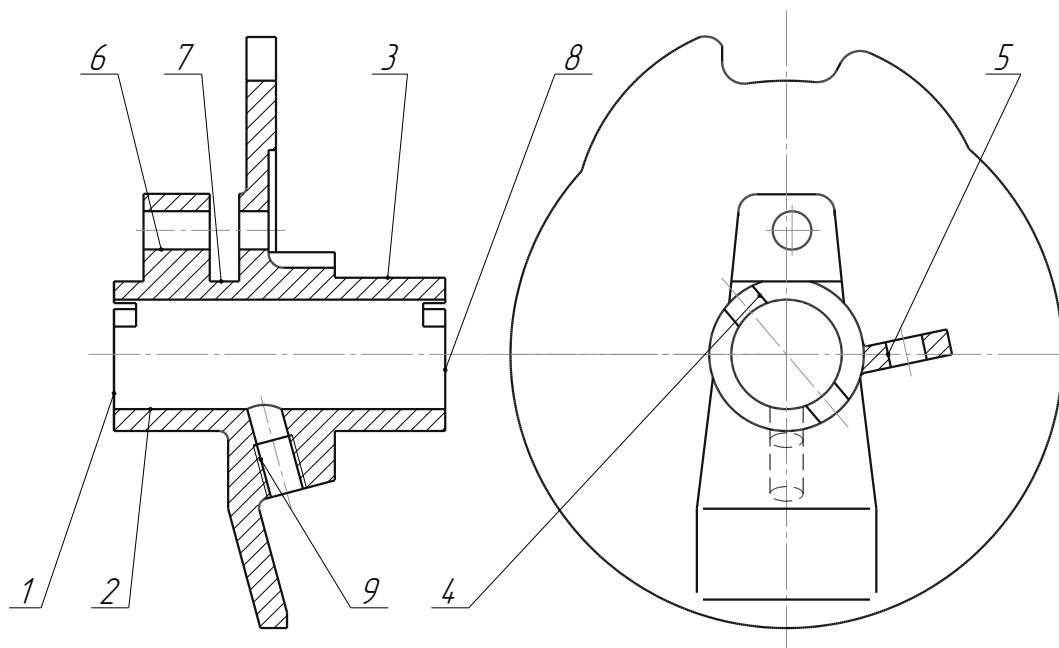


Рисунок 1.1 – Поверхні, що обробляються в деталі диск СЗГ 00.126

З точки зору механічної обробки нетехнологічним є отвір з різью M10x1-7H на нахилій поверхні. Але його наявність обумовлена службовим призначенням деталі. В цілому деталь є технологічною.

З проведеного аналізу креслення деталі можна зробити висновок, що постановка розмірів на кресленні виконана вірно, технологічних вимог задано достатньо, класи точності, шорсткість та допуски обумовлені службовим призначенням деталі та позначенні на кресленні технологічно-досягаємі.

З метою систематизації параметрів точності оброблюваних поверхонь, зводимо їх до таблиці 1.1. Поверхні диску позначені та пронумеровані на рис. 1.1.

Таблиця 1.1 – Параметри точності деталі диск

№	Найменування поверхні	Розміри з відхиленням	Квалітет	Точність відносних поворотів	Точність форми	R _a
1, 8	Торці	90±0,5	js15	-	-	6,3
2	Внутрішня циліндрична	Ø30 ^{+0,13}	H11	-	-	3,2
3	Зовнішня циліндрична	Ø42 _{-0,16}	h11	-	-	3,2
4	Паз	10±0,35	Js13	-	-	6,3
5	Отвір	Ø10 ^{+0,36}	H14	-	-	6,3
6	Отвір	Ø10,5 ^{+0,43}	H14	-	-	6,3
7	Паз	8 ^{+0,36}	H14	-	-	6,3
9	Отвори з різью	M10x1	7H	-	-	3,2

1.2 Аналіз діючих технологічних процесів та вибір методів і маршрутів обробки поверхонь деталі

Технологічний процес механічної обробки виготовлення диску СЗГ 00.126 складається з чотирьох основних операцій.

Позитивною ознакою даного технологічного процесу є те, що порядок розміщення операцій та обладнання дозволяє отримати відповідну точність та якість поверхонь.

Базовий технологічний процес обробки диску наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Базовий технологічний процес обробки диску

№ операції	Найменування операції	Обладнання	T _{шт} , хв
005	Токарна автоматна	КСП6-160	1,9681
010	Горизонтально-фрезерна	6Н82Г	1,112
015	Агрегатно-свердлильна	3ХА3520	2,0506
020	Горизонтально-фрезерна	6Н82Г	0,972

У технологічному процесі разом з універсальним обладнанням використовуються шестишпиндельний напівавтомат та агрегатний верстат. Це призводить до того, що технологічний процес має різну ступінь гнучкості на різних операціях [7].

Заготовкою для деталі диск, слугує відливка, що дозволяє зменшити припуски і відповідає даному типу виробництва. Вибір чорнових та чистових баз виконано вірно. Додержуються принципи єдності і постійності баз. В якості технологічної бази на більшості операцій використано вісь деталі.

При проектуванні нового технологічного процесу, планується замінити токарний напівавтомат КСП6-160 на токарний обробний центр SL-20 фірми HAAS, а агрегатно-свердлильний верстат 3ХА3520 замінити на вертикальний обробний центр VF-3 фірми HAAS [11, 16].

Таблиця 1.3 – Зведена таблиця технологічних маршрутів обробки поверхонь деталі диск

№ пов	Допуск на поверхню δ_d , мм	Допуск на заготовку δ_z , мм	Загальне уточнення, E_z	Шорсткість поверхні, мкм	Можливі варіанти маршрутів обробки		Допуск на методи обробки	Уточнення по кожному переходу
					№	Зміст маршруту		
1, 8	1,0	2,0	2,0	6,3	1	Точіння одноразове	1,0	2,0
2	0,13	1,2	9,23	3,2	1	Розточування чорнове Розточування чистове	0,33 0,13	3,64 2,54
					2	Зенкерування чорнове Зенкерування напівчистове Розверчування	0,33 0,21 0,13	3,64 1,571 1,62
3	0,16	1,2	7,5	3,2	1	Точіння чорнове Точіння чистове	0,39 0,16	3,08 2,44
4	0,7	-	-	6,3	1	Фрезерування пазу	0,7	-
5	0,36	-	-	6,3	1	Свердління отвору	0,36	-
6	0,43	-	-	6,3	1	Свердління отвору	0,43	-
7	0,36	-	-	6,3	1	Фрезерування пазу	0,36	-
8	0,13	-	-	6,3	1	Свердління отвору Нарізання різі	0,26 0,13	- 2,0

1.3 Розробка маршруту виготовлення деталі

Маршрут обробки диску СЗГ 00.126:

005 Токарна з ЧПК

Верстат – токарний оброблюючий центр з ЧПК HAAS SL-20

1. Встановити деталь;
2. Точити торець деталі;
3. Точити зовнішню поверхню $\varnothing 42,5$ начорно;
4. Розточити отвір $\varnothing 29$ начорно;
5. Точити зовнішню поверхню $\varnothing 42$ начисто;
6. Перевстановити деталь;
7. Точити торець;
8. Розточити отвір $\varnothing 30$ начисто;
9. Зняти деталь.

010 Горизонтально-фрезерна

Верстат – горизонтально-фрезерний 6Н82Г

1. Встановити деталь;
2. Фрезерувати два пази;
3. Зняти деталь.

015 Комплексна з ЧПК

Верстат – вертикальний оброблюючий центр HAAS VF-3

1. Встановити деталь;
2. Свердлити отвір $\varnothing 10,5$ напрохід;
3. Повернути стіл;
4. Свердлити отвір $\varnothing 8,95$;
5. Нарізати різь М10х1;
6. Повернути стіл;
7. Свердлити отвір $\varnothing 10$;
8. Зняти деталь.

020 Горизонтально-фрезерна

Верстат – горизонтально-фрезерний 6Н82Г

1. Встановити деталь;
2. Фрезерувати паз;
3. Перевстановити деталь;

4. Фрезерувати паз;

5. Зняти деталь.

025 Слюсарна

Верстак слюсарний

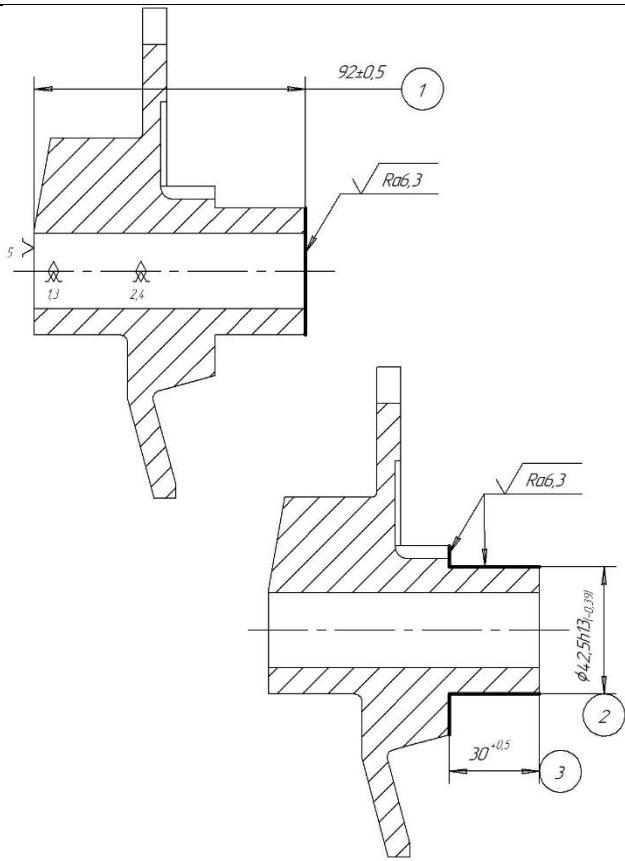
1. Спиляти завусенці.

030 Контрольна

1. Контролювати розміри.

Розробимо структуру та зміст операцій технологічного процесу для диску СЗГ00.126 і занесемо дані до таблиці 1.4 [8].

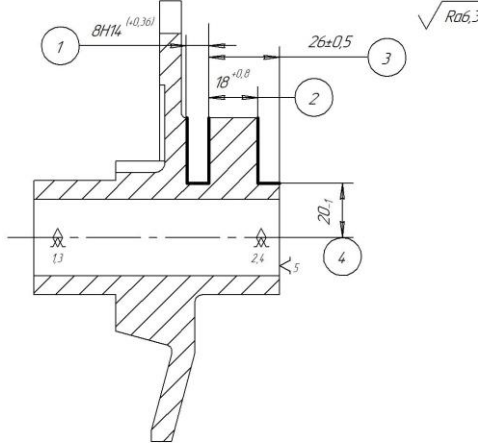
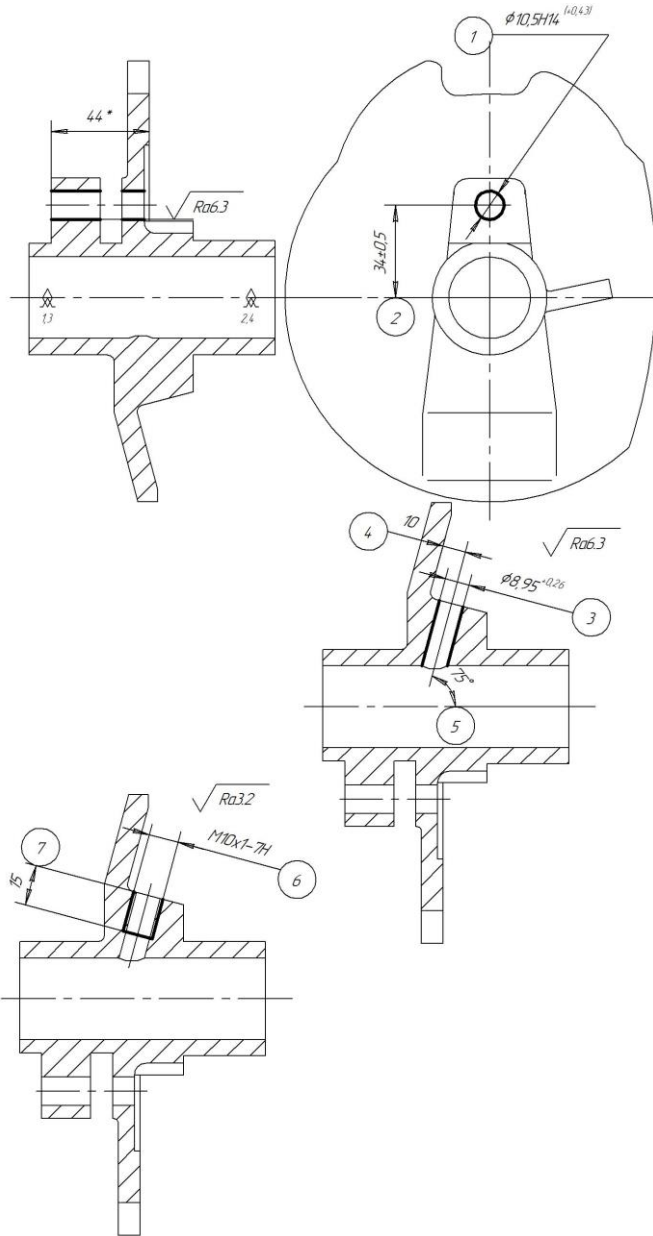
Таблиця 1.4 – Маршрут обробки диска

№ опер	Обладнання	Операційний ескіз	Зміст операції
1	2	3	4
005 Токарна з ЧПК	Токарний з ЧПК SL-20 фірми HAAS		1. Встановити деталь. 2. Підрізати торець шийку, витримавши розмір 1. 3. Точити зовнішню поверхню та торець начорно, витримавши розміри 2, 3.

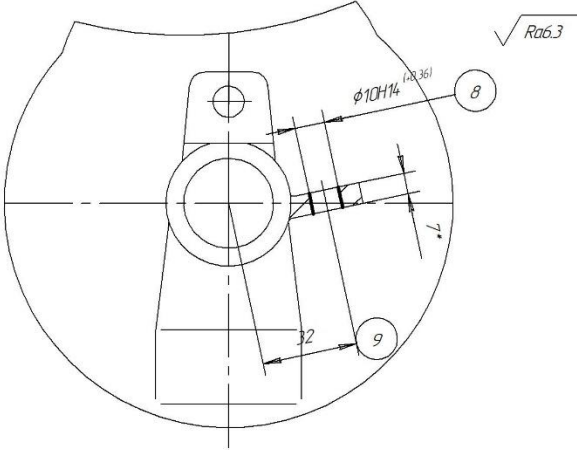
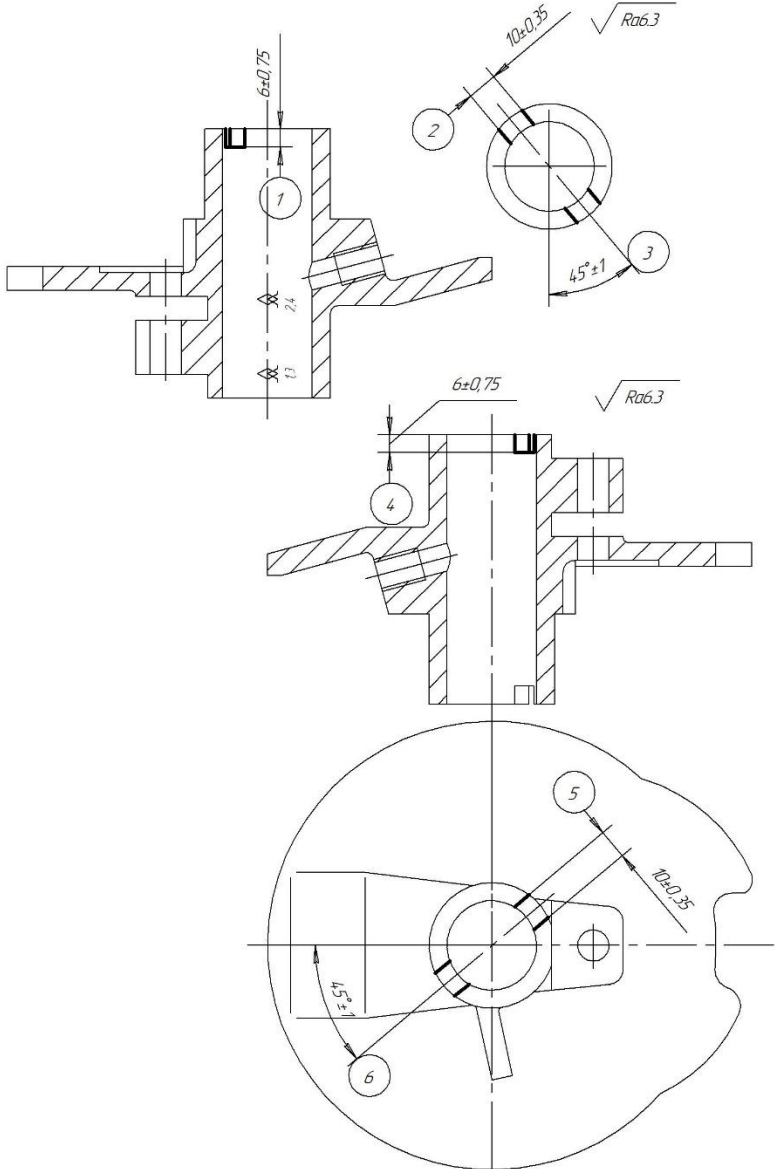
Продовження таблиці 1.4

1	2	3	4
		Technical drawing illustrating the manufacturing steps for a mechanical part, showing cross-sections and dimensions: Step 4: Bore grinding to diameter $\phi 29H13/k9$, surface roughness $Ra 6.3$, and a 92° chamfer. Step 5: External surface and end face grinding to $Ra 3.2$, diameter $\phi 42H7/k6$, and a 30° chamfer. Step 6: Reinstalling the part. Step 7: End face grinding to $Ra 6.3$, and a $90 \pm 0.5^\circ$ chamfer. Step 8: Bore grinding to diameter $\phi 30H7/k6$, surface roughness $Ra 3.2$, and a 90° chamfer.	4. Розточити отвір начорно, витримавши розмір 4. 5. Точити зовнішню поверхню та торець начисто, витримавши розміри 5, 6. 6. Перевстановити деталь. 7. Точити торець, витримавши розмір 7. 8. Розточити отвір начисто, витримавши розмір 8. 9. Зняти деталь.

Продовження таблиці 1.4

1	2	3	4
010 Горизонтально фрезерна	Фрезерний 6Н82Г		1. Встановити деталь. 2. Фрезерувати два пази, витримавши розміри 1, 2, 3, 4. 3. Зняти деталь.
015 Комплексна з ЧПК	Вертикальний обробний центр з ЧПК VF-3 фірми HAAS		1. Встановити деталь. 2. Свердлити отвір напрохід, витримавши розміри 1, 2. 3. Повернути стіл. 4. Свердлити отвір напрохід, витримавши розміри 3, 4, 5. 5. Нарізати різь, витримавши розміри 6, 7.

Продовження таблиці 1.4

1	2	3	4
			6. Повернути стіл. 7. Свердлити отвір, витримавши розміри 8, 9. 8. Зняти деталь.
020 Горизонтально фрезерна	Горизонтально-фрезерний 6Н82Г		1. Встановити деталь. 2. Фрезерувати паз, витримавши розміри 1, 2, 3. 3. Перевстановити деталь. 4. Фрезерувати паз, витримавши розміри 4, 5, 6. 5. Зняти деталь.

2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1 Розробка конструкції затискного пристрою для закріплення диску

Розроблений затискний пристрій використовується при обробці пазу шириною 8 мм. та виступу в деталі диск СЗГ 00.126 на 010 горизонтально-фрезерній операції. Обробка ведеться на горизонтально-фрезерному верстаті 6Н82Г. Пристрій встановлюється на столі горизонтально-фрезерного верстату і закріплюється за допомогою болтів, які входять у Т-подібні пази.

Складальне креслення викреслено в графічну частину роботи. В пояснювальній записці спрощено зобразимо даний пристрій.

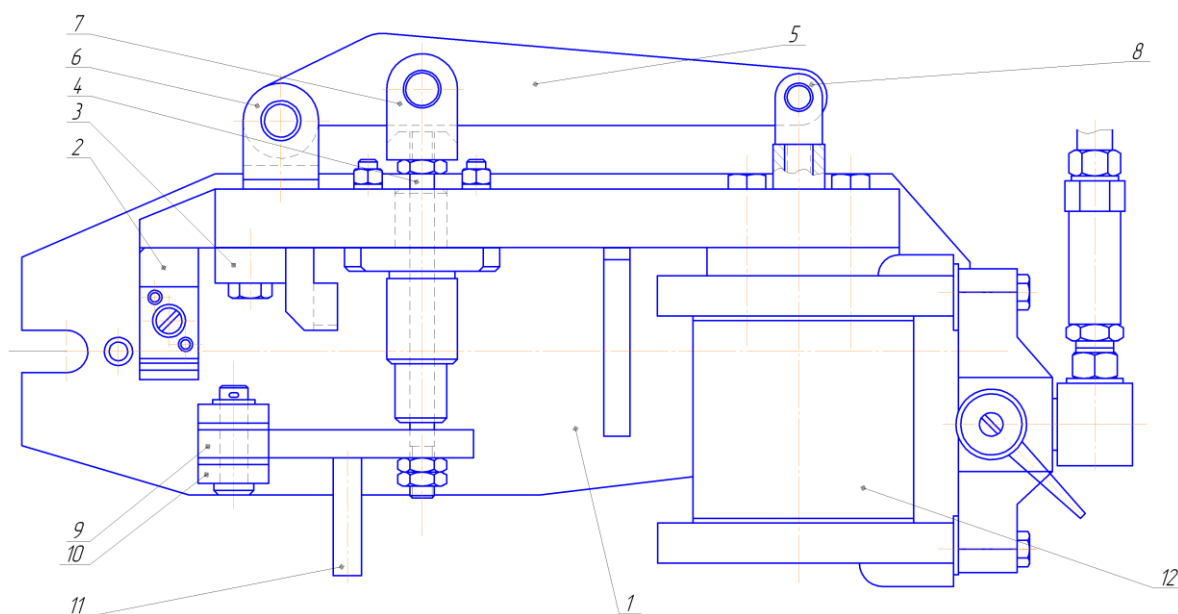


Рисунок 2.1 – Схема затискного пристрою: 1 – плита; 2 – стійка; 3 – обмежувач; 4 – шток; 5 – важіль; 6 – кронштейн; 7 – вилка; 8 – вилка; 9 – планка; 10 – вухо; 11 – штир; 12 – пневмоциліндр.

На основі 1 нерухомо закріплено стійку 2. Рухомими є шток 4, важіль 5 та планка 9.

З іншого боку на основу 1 кріпиться пневмоциліндр 9, який з'єднано з кронштейном який переміщує важіль 5 і передає через нього зусилля затискання на

шток 4.

Для закріплення деталі з іншого боку служить планка 9, яка при ході штоку 4 піджимає деталь і таким чином деталь не може зміщатися по штоку.

Для центрування деталі на стойці 2 використовується обмежувач 3 в паз якого входе вухо деталі при її встановленні.

При подачі стиснутого повітря в штокову порожнину пневмоциліндра, шток приводу перестає діяти на важіль 5 і переміщується, тоді напруга на штоці 4 зменшується і деталь визволяється [12].

2.2 Розрахунок потрібної сили затиску деталі

Складаємо розрахункову схему затиску деталі, визначаємо точку прикладання сили затиску та її напрямок [12, 13].

Заготовка під дією сил різання прагне повернутися навколо точки 0. Повороту заготовки перешкоджає сила тертя. Для виконання цієї операції вибираємо дискову 3-х сторонню фрезу $D=200\text{мм}$; $B=8\text{мм}$; $Z=14$.

Визначаємо тангенційну силу різання P_z :

$$P_z = C_p \cdot t^{0.83} \cdot B \cdot Z \cdot S_z^{0.65} \cdot D^{-0.83}. \quad (2.1)$$

де $C_p=30$; $Z=14$ мм; $t=24$ мм; $B=8$ мм; $D=200$ мм; $S_z=0,2$ мм/зуб.

$$P_z = \frac{30 \cdot 24^{0.83} \cdot 8 \cdot 14 \cdot 0,2^{0.65}}{200^{0.83}} = 202,6 \text{ кгс.}$$

Оскільки деталь одночасно оброблюється двома фрезами, то на оброблювану деталь буде діяти дві сили P_z , тобто:

$$P_{z\Sigma} = 2 \cdot 202,6 = 405,2 \text{ кгс} = 4052 \text{ Н.}$$

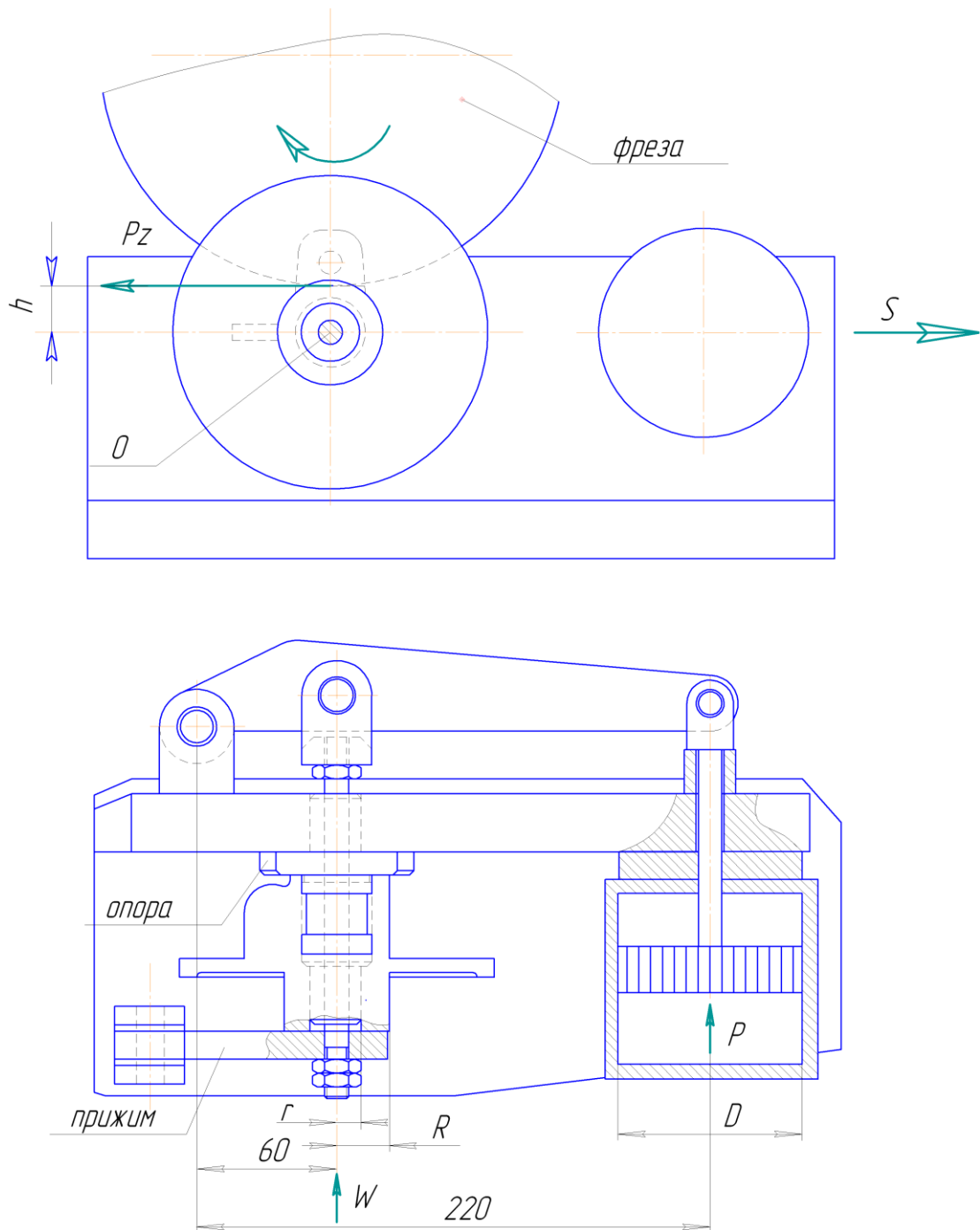


Рисунок 2.2 – Схема до розрахунку сил затиску деталі диск СЗГ 00.126

Сила $P_{z\Sigma}$ створюватиме крутний момент $M = P_{z\Sigma} \cdot h$ навколо точки O . Для забезпечення нерухомості деталі під час її обробки за допомогою сили затиску W треба створити протидіючий момент $M_T > M$;

де: M_T - момент тертя між деталлю та її опорою, та між деталлю і прижимом, тобто:

$$M_T = M_{T1} + M_{T2} \quad (2.2)$$

$$M_{T1} = \frac{2}{3} \cdot Wf \frac{R^3 - r_1^3}{R^2 - r_1^2}; \quad (2.3)$$

де f - коефіцієнт тертя ковзання, $f = 0,3$;

R – більший радіус опорної поверхні деталі з боку притискання;

r_1 – менший радіус опорної поверхні деталі з того ж боку.

$$M_{T1} = \frac{2}{3} \cdot 0,3 \frac{45^3 - 30^3}{45^2 - 30^2} = 0,2W \frac{91125 - 27000}{2025 - 900} = 11,4W$$

$$M_{T2} = \frac{2}{3} \cdot Wf \frac{R^3 - r_2^3}{R^2 - r_2^2};$$

$$M_{T2} = \frac{2}{3} \cdot Wf \frac{45^3 - 25^3}{45^2 - 25^2} = 0,2W \frac{91125 - 15625}{2025 - 625} = 10,78W$$

де r_2 – радіус опорної поверхні деталі з протилежного боку; $r_2 = 25$ мм.

Умова рівноваги деталі матиме вигляд:

$$P_{z\Sigma} \cdot h \cdot K = M_{T1} + M_{T2} \quad (2.4)$$

де h – плече дії сили $P_{z\Sigma}$ відносно точки 0; $h = 20$ мм;

K – коефіцієнт запасу сили [13]:

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6; \quad (2.5)$$

де K_0 – гарантійний коефіцієнт запасу; $K = 1,5$;

K_1 - коефіцієнт, що враховує зростання сили P_z в наслідок затуплення інструменту;

K_2 - коефіцієнт, що враховує вид обробки (чорнова чи чистова);

K_3 - динамічний коефіцієнт, що враховує удари зуб'їв фрези;

K_4 - коефіцієнт, що враховує вид приводу (ручний чи механічний);

K_5 - коефіцієнт, що враховує зручність розташування органів керування приводом;

K_6 - коефіцієнт, що враховує наявність крутного моменту.

Таким чином:

$$K = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,3 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 4,2.$$

Приймаємо $K = 4$.

Підставляємо значення одержаних величин у рівняння рівноваги:

$$405,2 \cdot 20 \cdot 4 = 11,4W + 10,78W = 23,4W$$

звідки необхідна сила затиску деталі:

$$W = \frac{405,2 \cdot 20 \cdot 4}{23,4} = 1385 \text{ кгс.}$$

2.3 Розрахунок параметрів силового приводу та слабкої ланки на міцність

В розглянутому пристрої застосовується поршневий пневмоциліндр.

Визначаємо зусилля на штоці пневмоциліндра:

$$Q = \frac{W}{i} = \frac{1385 \cdot 60}{220} = 377,7 \text{ кгс} \quad (2.6)$$

де i - передавальне число важиля.

Для приводу двосторонньої дії, коли зажим заготовки виконується при висуванні штока, діаметр циліндра визначаємо по формулі [14]:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 378}{3,14 \cdot 5 \cdot 0,8}} = 10,87 \text{ см.} = 108,7 \text{ мм.}$$

Згідно з ГОСТ 21307-75 приймаємо $D = 110 \text{ мм.}$

Слабою ланкою пристрою є різь М12, через яку зусилля $W = 1385$ кгс діє на прижим.

Різь працює на розтягування, тому умова міцності матиме вигляд:

$$\frac{\pi d_1^2}{4} \geq \frac{W}{[\sigma]_p}; \quad (2.7)$$

де d_1 - внутрішній діаметр різі; $d_1 = 10,376$ мм.;

$[\sigma]_p$ – допустима напруга на розтягування.

$$[\sigma]_p = 60 \frac{\text{кгс}}{\text{мм}};$$
$$\frac{\pi d_1^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 10,376^2}{4} = 84,5;$$
$$\frac{W}{[\sigma]_p} = \frac{1385}{60} = 23,08;$$

Оскільки $84,5 > 23,08$, то міцність різі достатня.

Перевіримо міцність різі на зріз її витків за формулою:

$$\tau = \frac{W}{\pi \cdot d_1 \cdot K \cdot S \cdot Z} \leq [\tau]_{zp} \quad (2.8)$$

де K - коефіцієнт повноти різі, для метричної різі $K = 0,9$; S - крок різі; $t = 1,5$; Z - кількість працюючих витків ($Z = 7$); $[\tau]_{zp}$ - допустима напруга на зріз.

$$[\tau]_{zp} = 0,75 \cdot 60 = 45 \text{ кгс/мм}^2$$
$$\tau = \frac{1385}{3,14 \cdot 10,376 \cdot 0,9 \cdot 1,5 \cdot 7} = 4,5 \text{ кгс/мм}^2.$$

Оскільки $\tau = 4,5 \text{ кгс/мм}^2 \leq [\tau]_{zp} = 45 \text{ кгс/мм}^2$, то міцність різі на зріз достатня.

3 ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

Синтез виконань двозахватних промислових роботів

3.1 Вступ

Актуальність теми

Сучасне промислове виробництво перебуває в епіцентрі четвертої промислової революції (Індустрія 4.0), ключовими характеристиками якої є гіпер-кастомізація, дрібносерійне виробництво, висока варіативність продукції та необхідність у швидкій адаптивності виробничих систем. Традиційні монофункціональні автоматичні лінії виявляються неефективними та економічно недоцільними в умовах частих змін номенклатури продукції. Це вимагає переходу до гнучких, багатфункціональних робототехнічних комплексів (РТК).

Саме в цьому контексті промислові роботи виступають не просто як елемент автоматизації, а як ключовий технологічний інструмент, здатний забезпечити необхідну гнучкість, підвищити якість і скоротити операційні витрати, що робить їх використання критично важливим для збереження конкурентоспроможності на світовому ринку.

Враховуючи тенденції та важливість роботизації, доцільність використання двозахватних промислових роботів у виробництві є надзвичайно актуальною темою для наукового дослідження. Незважаючи на очевидні переваги, комплексний аналіз економічної, технічної та організаційної ефективності впровадження саме двозахватних систем у конкретні виробничі процеси залишається недостатньо висвітленим у вітчизняній науковій літературі.

Мета і завдання дослідження

1. Закласти основи використання методу морфологічного аналізу для синтезу конструкцій промислових роботів та роботизованих комплексів, зокрема провести розподіл об'єктів на морфологічні ознаки і скласти морфологічні матриці.

2. Розробити методику кінематичного структурного аналізу та синтезу двозахватних промислових роботів з різною кількістю ступенів рухомості та різним їх розподілом на окремі кінематичні групи, в залежності від їх функціонального призначення та приналежності до тієї чи іншої частини пристрою.

3. Провести структурні дослідження можливих комбінованих варіантів двозахватних пристроїв та сформулювати методику визначення таких варіантів.

Наукова новизна

Виконане теоретичне обґрунтування та розроблена формалізована методика синтезу виконань двозахватних промислових роботів. Результати роботи створять алгоритмічну основу для прийняття оптимальних рішень щодо конфігурації РТК на ранніх стадіях проектування, що мінімізує ризики та вартість інтеграції. Розроблена методика кінематичного структурного аналізу та синтезу двозахватних промислових роботів з різною кількістю ступенів рухомості та різним їх розподілом на окремі кінематичні групи, в залежності від їх функціонального призначення та приналежності до тієї чи іншої частини пристрою. Такими складовими прийнято механізм зміни захватів місцями, локально – операційні ступені рухомості та кисті.

Практична цінність

Цінність роботи полягає в розробці конкретних рекомендацій та критеріїв для інженерів та технологів підприємств. Ці рекомендації дозволять:

- Об'єктивно оцінити доцільність переходу від однозахватних до двозахватних систем для конкретного виробничого процесу.
- Обрати оптимальну конфігурацію робота і захватів, що максимізує продуктивність (скорочення часу циклу) при мінімальних інвестиційних витратах.
- Ефективно впроваджувати високоінтелектуальні та гнучкі робототехнічні комплекси на вітчизняних підприємствах, сприяючи їх модернізації та підвищенню конкурентоспроможності в умовах глобалізації.

3.2 Загальні положення

Створення ефективних двозахватних промислових роботів та роботизованих комплексів в цілому вимагає розробки методики вирішення цього питання, що доцільно виконувати на основі структурно – морфологічного аналізу. Проведення синтезу виконань пропонуємо провести з використанням структурно-морфологічного аналізу.

Роботизований технологічний комплекс (РТК) — це сукупність одиниць технологічного обладнання, промислового робота та засобів оснащення, автономно функціонуючих та виконуючих багатократні цикли. До складу РТК входять: технологічне обладнання; промисловий робот; допоміжне оснащення [20, 21].

Оскільки варіантів компоновки роботизованих технологічних комплексів може бути дуже багато, то з їх кількості необхідно визначити найбільш доцільні, проаналізувавши технологічне обладнання (верстат що входить до складу РТК), промисловий робот (його розміщення по відношенню до технологічного обладнання), допоміжне обладнання (подавальні, приймальні, подавально – приймальні, завантажувально – накопичувальні пристрої) та комбінації їх компоновки.

Оскільки варіантів виконання двохзахватних конструкцій дуже багато, то з їх кількості необхідно визначити найбільш доцільні, і винайти нові рішення у їх виконанні.

Вибір вихідної структури виконання двозахватного пристрою робота для забезпечення раціонального замикання вихідної ланки руки робота із захватами, утримуючими деталь і заготовку.

Даний аналіз запропоновано провести за допомогою диференціально-морфологічного аналізу, з метою синтезу існуючих кінематичних схем і пошуку нових рішень.

На стадії пошуку нових кінематичних схем двозахватних промислових роботів виконуємо морфологічний аналіз при виборі кінематичного замикання вихідної ланки із захватами [29].

3.3 Розподілення об'єктів на морфологічні признаки і складання морфологічних матриць

Морфологічні признаки що прийняті для аналізу роботизованих технологічних комплексів представлено в морфологічній таблиці 3.1.

Представимо морфологічні таблиці у вигляді морфологічної матриці в звернутому і розвернутому чисельному вигляді:

$$M_{РТК} = M_{РЗВ} \times M_{ХД} \times M_{УПД} \times M_{СДПР} \times M_{ДУ} \times M_{РК} ; \quad (3.1)$$

де: $M_{РТК}$ – загальна кількість варіантів компоновок роботизованих комплексів;
 $M_{РЗВ}$ – кількість варіантів при аналізі робочої зони верстатів;
 $M_{ХД}$ – кількість варіантів при аналізі характеристики деталі та умов її затиску;
 $M_{УПД}$ – кількість варіантів при аналізі умов переміщення деталі в робочій зоні;
 $M_{СДПР}$ – кількість варіантів при аналізі структури двохзахватних промислових роботів;

$M_{ДУ}$ – кількість варіантів при аналізі додаткових пристроїв;

$M_{РК}$ – кількість варіантів при аналізі роботизованих комплексів;

Таким чином на основі розглянутих таблиць складаємо розширену морфологічну матрицю.

$$M_{PTK} = \begin{vmatrix} 1.1 & 2.1 & 3.1 \\ 1.2 & 2.2 & 3.2 \\ & 2.3 & 3.3 \\ & 2.4 & \\ & \dots & \\ & 2.21 & \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 4.1 & 5.1 & 6.1 \\ 4.2 & 5.2 & 6.2 \\ 4.3 & 5.3 & 6.3 \\ 4.4 & & 6.4 \\ 4.5 & & 6.5 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 7.1 & 8.1 & 9.1 \\ 7.2 & 8.2 & 9.2 \\ 7.3 & 8.3 & \\ 7.4 & 8.4 & \\ & 8.5 & \\ & 8.6 & \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 10.1 & 11.1 & 12.1 & 13.1 \\ 10.2 & 11.2 & 12.2 & 13.2 \\ 10.3 & 11.3 & 12.3 & 13.3 \\ 10.4 & 11.4 & 12.4 & 13.4 \\ & \dots & \dots & \\ & 10.5 & 12.15 & \end{vmatrix} \times$$

$$\times \begin{vmatrix} 14.1 & 15.1 & 16.1 \\ 14.2 & 15.2 & 16.2 \\ & & 16.3 \\ & & 16.4 \\ & & 16.5 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 17.1 & 18.1 \\ 17.2 & 18.2 \\ 17.3 & 18.3 \\ 17.4 & 18.4 \end{vmatrix};$$

(3.2)

Компоненти даної матриці розписані в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Загальна морфологічна таблиця

Характеристики верстату		
Тип верстату	Відкритість робочої зони	Затискний пристрій верстату
1	2	3
1.1 З вертикально розміщеною віссю шпинделя; 1.2 З горизонтально розміщеною віссю шпинделя;	Одна координата відкритості 2.1 + X; 2.2 – X; 2.3 + Y; 2.4 – Y; 2.5 + Z; 2.6 – Z; Дві координати відкритості 2.7 +X+Y; 2.8 +Y+Z; ... 2.21 –Z+X	3.1 Патрон 3.2 Центра 3.3 Спеціальний затискний пристрій

Продовження таблиці 3.1

Характеристика деталі та умови її затиску		
Тип деталі	Варіант затиску деталі захватом	Розміщення вісі деталі відносно вісі заготовки
4	5	6
4.1 Короткий вал; 4.2 Довгий вал; 4.3 Втулка, диски, фланці; 4.4 Інші;	5.1 За зовню поверхню з перпендикулярно розміщеною віссю захвату до вісі деталі. 5.2 За зовню поверхню з співвісно розміщеною віссю захвату до вісі деталі. 5.3 За внутрішню поверхню	6.1 Співвісне 6.2 Паралельне 6.3 Перпендикулярне 6.4 Перехрещуються 6.5 Довільне
Умови переміщення деталі в робочій зоні		
Подача деталі в робочу зону	Подача деталі на робочу позицію	Особливості зміни захватів місцями
7	8	9
7.1 З ліцьової сторони (+ Y); 7.2 З верху (+ X); 7.3 З заду (- Y); 7.4 З боку (+ Z);	8.1 Горизонтальним лінійним рухом $\perp$ до вісі шпинделя; 8.2 Вертикальним лінійним рухом $\perp$ до вісі шпинделя; 8.3 Лінійним рухом під довільним кутом до вісі шпинделя; 8.4 Обертотвим рухом $//$ до вісі шпинделя; 8.5 Обертотвим рухом що $\times$ з віссю шпинделя; 8.6 Обертотвим рухом під довільним кутом до вісі шпинделя;	9.1 На витягнутій руці 9.2 На втянутій руці

Продовження таблиці 3.1

Структура виконання двохзахватних пристроїв промислових роботів			
Орієнтація вісей захватів між собою	Кількість ступенів рухомості МЗЗМ	Види кінематичних пар	Кількість ступенів рухомості кисті
10	11	12	13
10.1 Паралельно в одному напрямку	11.1 – 0	12.1 О	13.1 – 0
10.2 Паралельно в протилежному напрямку	11.2 – 1	12.2 О'	13.2 – 1
10.3 Співвісно в одному напрямку	11.3 – 2	12.3 П	13.3 – 2
10.4 Співвісно в різних напрямках	11.4 – більше 2	12.4 П'	13.4 – більше 2
10.5 Перпендикулярно від точки з'єднання		12.5 – ОО	
10.6 Перпендикулярно до точки з'єднання		12.6 – ОО'	
10.7 Перпендикулярно в різні сторони від точки з'єднання		12.7 – ОП	
		12.8 – ОП'	
		12.9 – О'О'	
		12.10 – О'П	
		12.11 – О'П'	
		12.12 – ПП	
		12.13 – ПП'	
		12.14 – П'П'	
10.8 Перехрещуються		12.15 3 кінематичним зв'язком.	

Продовження таблиці 3.1

Додаткове устаткування		
Позиціонування	Координатність	Тип конструктивного виконання
14	15	16
14.1 Однопозиційні; 14.2 Багатопозиційні;	15.1 Однокоординатні; 15.2 Багатокоординатні;	16.1 Лоток; 16.2 Транспортер; 16.3 Конвеєр; 16.4 Рольганг; 16.5 Вібробункер;
Ознаки компоновки роботизованих комплексів		
Розміщення додаткового устаткування	Особливості розміщення робота	
17	18	
17.1 З боку від верстату 17.2 З задку від верстату 17.3 По передку верстату 17.4 Над верстатом та ін.	18.1 На підлозі 18.2 Портальний 18.3 На верстаті 18.4 Вмонтований в верстат	

3.4 Синтез варіантів виконань двохзахватних промислових робіт та роботизованих комплексів

3.4.1 Аналіз робочої зони типових токарних верстатів

Морфологічний ящик даної частини аналізу описується матрицею:

$$M_{PB3} = \begin{vmatrix} 1.1 & 2.1 & 3.1 \\ 1.2 & 2.2 & 3.2 \\ & 2.3 & 3.3 \\ & 2.4 & \\ & \dots & \\ & 2.21 & \end{vmatrix}; \quad (3.3)$$

В розгорнутому вигляді:

$$M_{PB3} = 2 \cdot 21 \cdot 3 = 126. \quad (3.4)$$

Вибір необхідної кінематичної схеми робота з оптимальними кінематичними та геометричними параметрами являє собою важливе завдання. Від правильності вирішення цього питання, в значній мірі, залежить раціональність конструкції робота, що створюється, і ефективність її використання в РТК.

Кінцевими ланками кінематичного ланцюга робота є, з одного боку – його основа, а з іншого – захват (захвати) або операційний механізм, які повинні займати однозначні та доцільні положення у роботизованому циклі.

Основний критерій, який визначає можливість включення верстата в склад РТК – ступінь його автоматизації, що дозволяє без суттєвих конструкторських доробок перевести його в роботу у автоматичному режимі в сукупності з промисловим роботом. Дуже важливим критерієм також є достатньо швидке переналагоджування верстата.

Даним вимогам відповідають верстати, що мають повністю автоматизований цикл роботи: зміна швидкостей та подач, автоматизоване затискування (розтискування) деталі, автоматична зміна інструменту. З усіх можливих варіантів типів верстатів в РТК найбільш доцільними є верстати з ЧПК, автомати та напівавтомати.

Саме тип та модель технологічного обладнання що використовується в РТК і є одним з головних критеріїв аналізу доцільності використання РТК, з якого витікає інша, дуже важлива характеристика робота, який буде використано – вид та розміри робочої зони верстату.

На токарних верстатах деталь має горизонтально розміщену вісь, і встановлюється в трикулачковий патрон чи центра. Більшість деталей що обробляються на верстатах цієї групи, є тілами обертання і захват їх роботою відбувається за зовню або внутрішню циліндричну поверхню.

Робоча зона верстату – це місце яке може бути використано захватом робота при встановленні деталі в затискний пристрій. Вона утворюється, в токарних верстатах – торцем патрону чи переднім центром, заднім центром, задньою стінкою верстату та поверхнею направляючих.

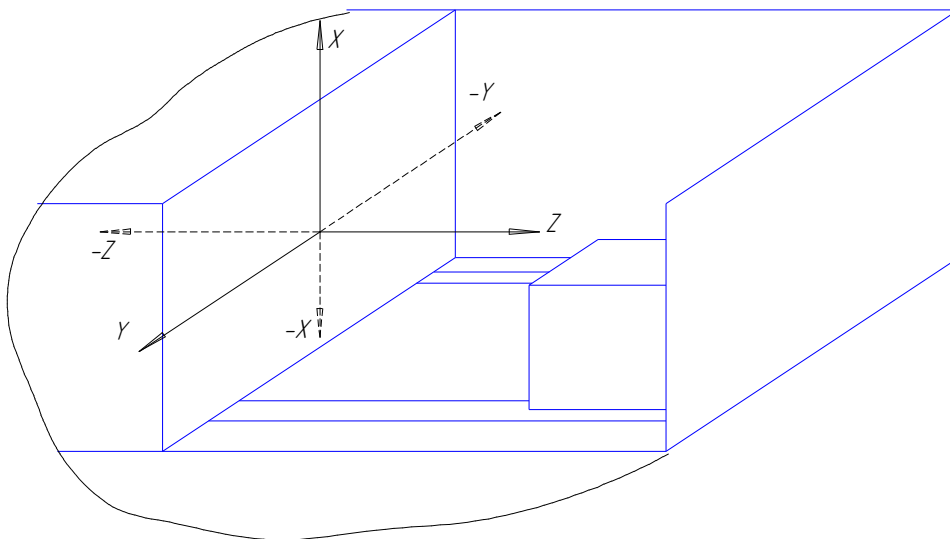


Рисунок 3.1 – Робоча зона токарного верстату

Отже завантаження та розвантаження деталей можливе зверху (+X) чи з лицьової сторони (+Y).

Найбільш доцільним для роботизації є токарні верстати з ЧПК. Розглянемо робочий простір токарно-гвинторізного верстату з ЧПК моделі 16K20Ф3С32.

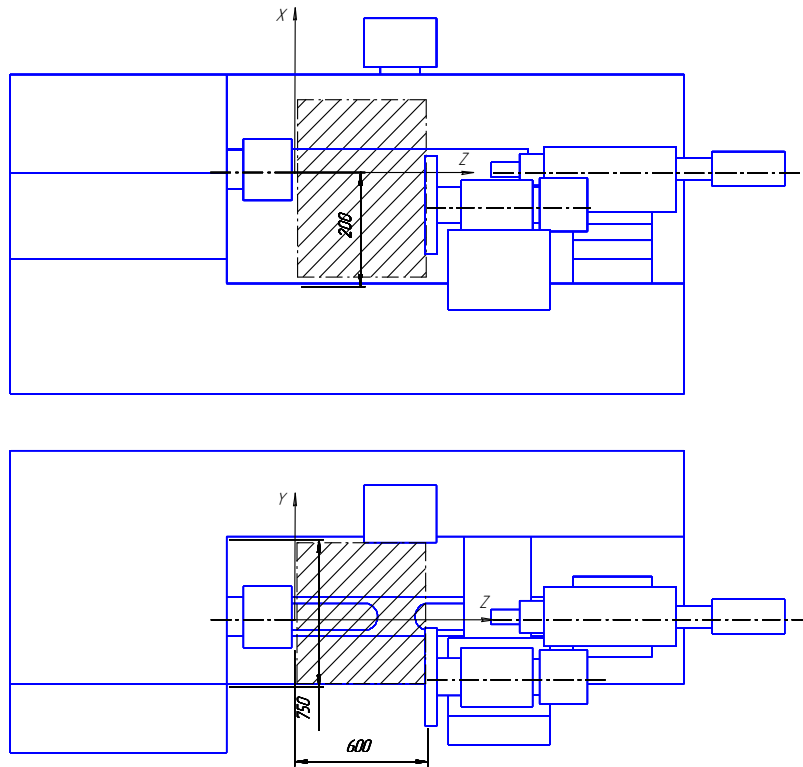


Рисунок 3.2 – Робочий простір токарного верстату з ЧПК моделі 16K20Ф3С32

Робочий простір даного верстату обмежено в довжину торець патрону-торець інструментальної головки, в висоту направляючими, в глибину задньою стінкою верстату.

Даний верстат має горизонтально розміщену вісь шпинделя. Але є токарні верстати з вертикально розміщеною віссю.

Розглянемо робочий простір токарного верстату з вертикально розміщеною віссю шпинделя. Робочий простір даних верстатів обмежено з боків інструментальними головками а з заду задньою стінкою верстату.

Завантаження заготовок на верстаті даної групи можливе з лицьової сторони (+Y) та зверху (+X).

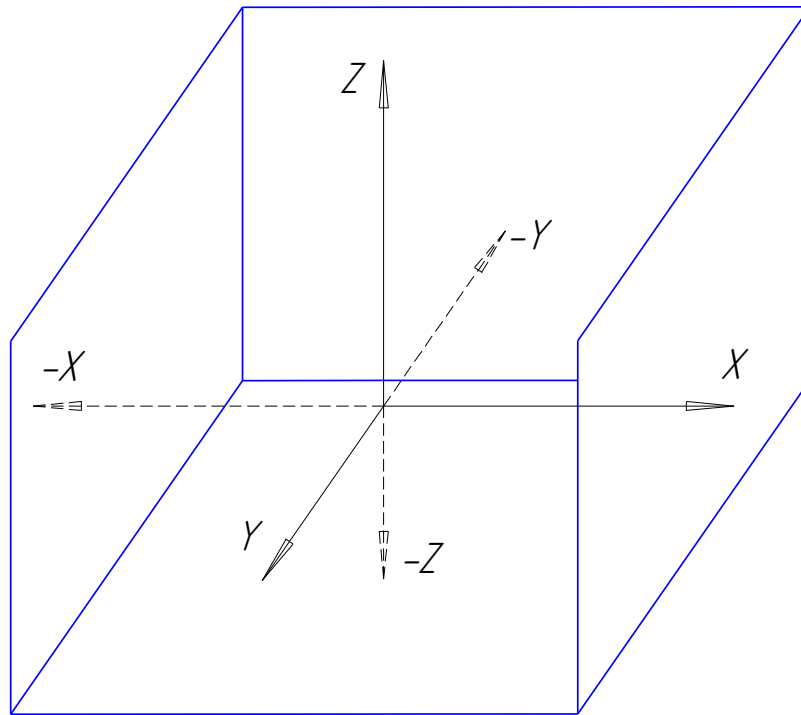


Рисунок 3.3 – Робоча зона токарного верстату з вертикальною віссю шпинделя

На токарних верстатах в яких деталь має горизонтально розміщену вісь, встановлюється в трикулачковий патрон чи центра. Більшість деталей що обробляються на верстатах цієї групи, є тілами обертання і захват їх роботом відбувається за зовню або внутрішню циліндричну поверхню. На верстатах, що мають вертикальну вісь деталь може затискатись, також в спеціальному затискному пристрої.

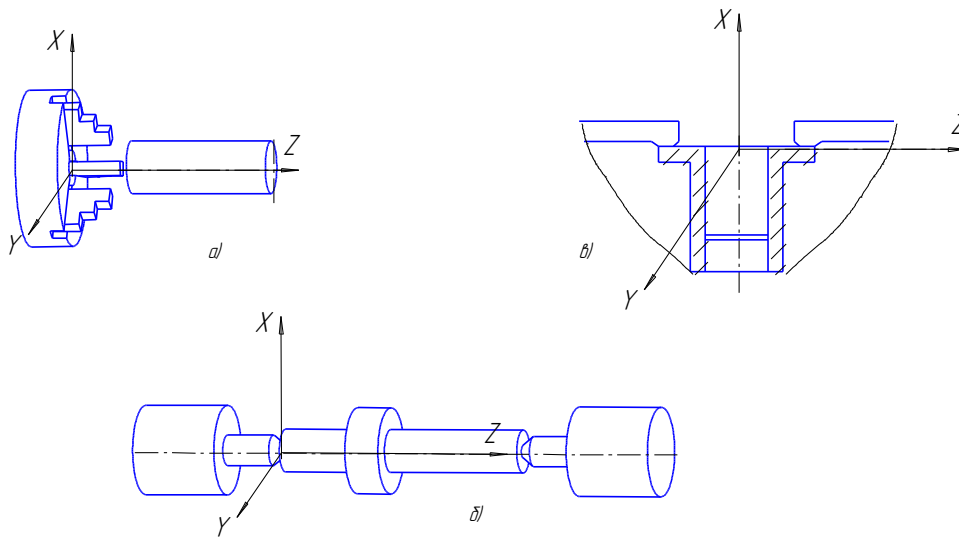


Рисунок 3.4 – Варіанти затиску деталі на верстатах токарної групи:

- а) затиск в трикулачковому патроні; б) затиск в центрах; в) затиск в спеціальному затискному пристрої

Передача заготовок в робочу зону верстату може відбуватися з лицьової сторони (робот розміщено перед верстатом або на лицьовій стороні), зверху (портальне розміщення робота), з заду або з боку (довільне розміщення робота, якщо дозволяє конструкція технологічного обладнання). Приклади напрямку передачі заготовок представлено на рис. 3.1 та 3.3.

3.4.2 Характеристика деталі та умови її затиску

Морфологічний ящик даної частини аналізу описується матрицею:

$$M_{хд} = \begin{vmatrix} 4.1 & 5.1 & 6.1 \\ 4.2 & 5.2 & 6.2 \\ 4.3 & 5.3 & 6.3 \\ 4.4 & & 6.4 \\ 4.5 & & 6.5 \end{vmatrix}; \quad (3.5)$$

В розгорнутому вигляді:

$$M_{\text{хд}} = 5 \cdot 3 \cdot 5 = 75. \quad (3.6)$$

Захватні пристрої робота обираються в залежності від типу деталі, що обробляється. Деталі, що обробляються на токарних верстатах, можна розділити на вали короткі ($l \geq 5d$) та довгі ($l \leq 5d$), втулки, диски, фланці та ін. Приклади даних деталей представлено на рисунку 3.5.

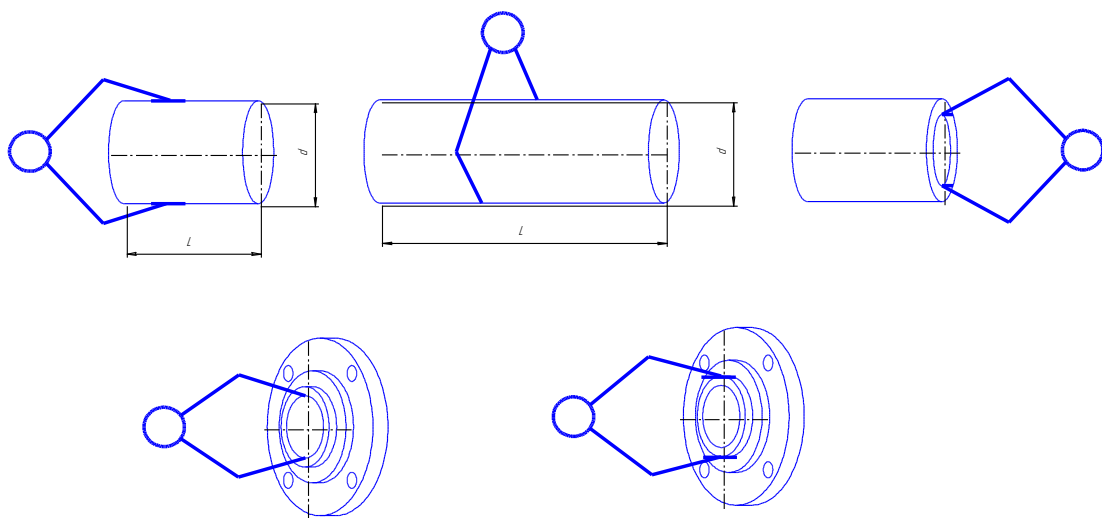


Рисунок 3.5 – Типи деталей, та варіанти їх затиску, що обробляються на токарних верстатах

Варіант затиску деталі захватом, обирається виходячи з конструктивних характеристик деталі.

Затиск за зовню поверхню з співвісно розміщеними вісями і затиск за внутрішню поверхню, є ідентичними на структурному рівні.

Тому для зменшення кількості варіантів що підлягатимуть аналізу, відкинемо варіант затиску за внутрішню поверхню.

Розміщення вісі деталі відносно вісі заготовки.

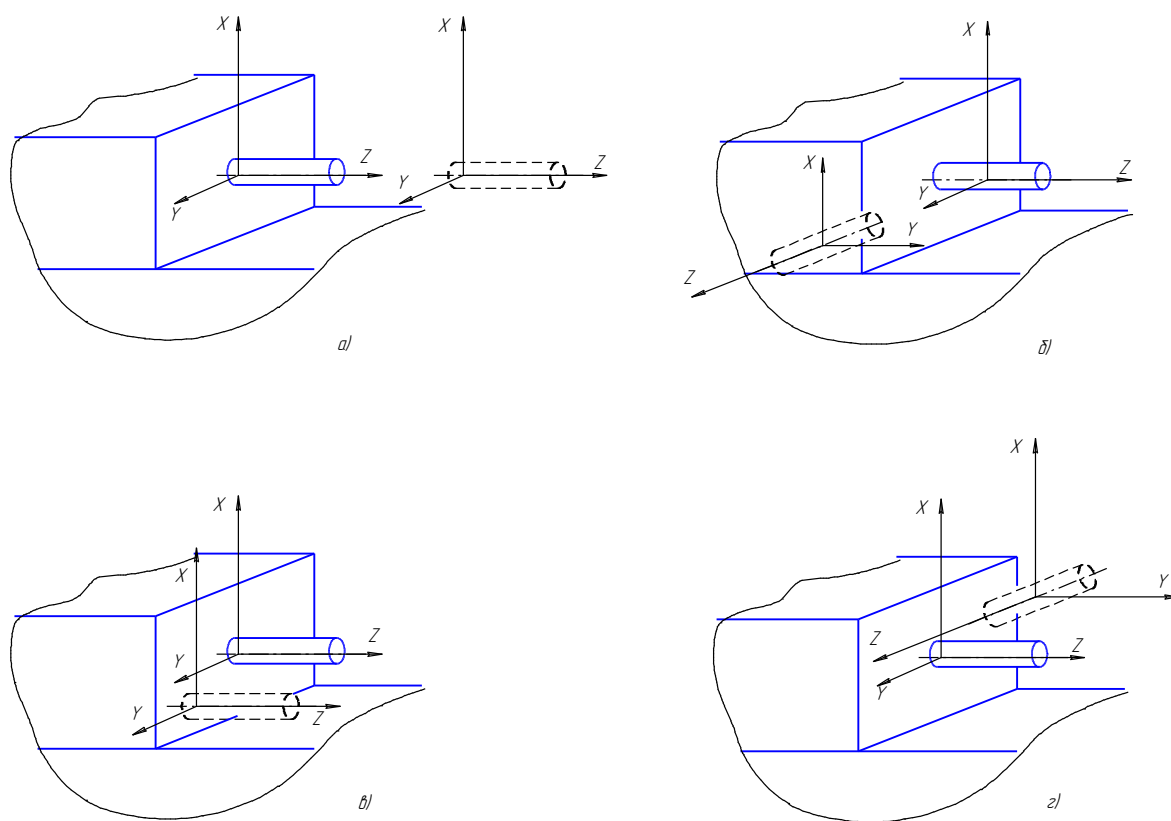


Рисунок 3.6 – Варіанти розміщення вісі деталі відносно вісі заготовки: а – вісі деталі і заготовки співвісні; б – вісі деталі і заготовки перпендикулярні; в – вісі деталі і заготовки паралельні; г – вісі деталі і заготовки перехрещуються

Розміщення вісі деталі і заготовки що перехрещуються потребує доволі складного конструктивного виконання захвату, що веде до збільшення масо-габаритних розмірів. Це ж стосується і довільного розміщення.

3.4.3 Аналіз умов переміщення деталі в робочій зоні верстату

Морфологічний ящик даної частини аналізу описується матрицею:

$$M_{упд} = \begin{vmatrix} 7.1 & 8.1 & 9.1 \\ 7.2 & 8.2 & 9.2 \\ 7.3 & 8.3 & \\ 7.4 & 8.4 & \\ & 8.5 & \\ & 8.6 & \end{vmatrix}; \quad (3.7)$$

В розгорнутому вигляді:

$$M_{упд} = 4 \cdot 6 \cdot 2 = 48. \quad (3.8)$$

Подача деталей в робочу зону може відбуватися з лицьової сторони (+Y), з верху (+ X), з заду (- Y), з боку (+ Z) це залежить від обмежень що має робоча зона верстату.

На рисунках 3.8 та 3.9 представлені варіанти подачі заготовок в робочу зону верстату.

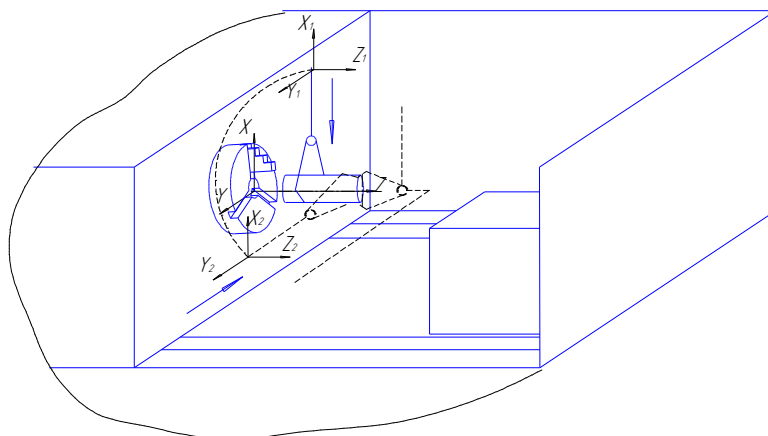


Рисунок 3.7 – Переміщення заготовок в робочу зону токарного верстату що має горизонтально розміщену вісь шпинделя

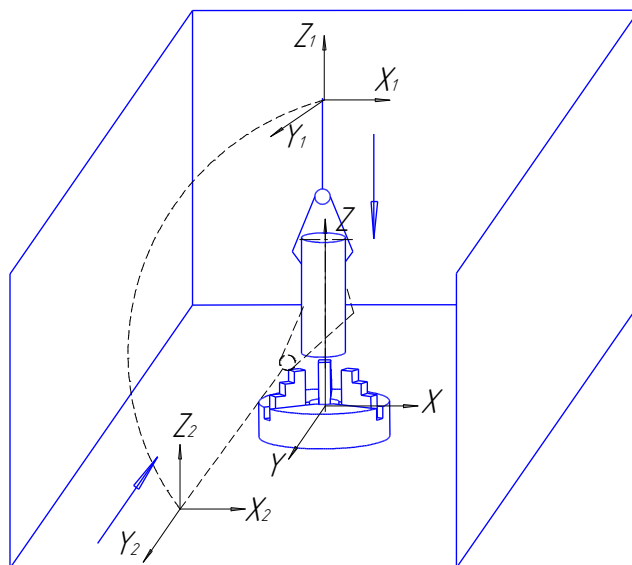


Рисунок 3.8 – Переміщення заготовок в робочу зону токарного верстату що має вертикально розміщену вісь шпинделя

Подача деталі на робочу позицію може відбуватися горизонтальним лінійним рухом перпендикулярним до вісі шпинделя, вертикальним лінійним рухом перпендикулярним до вісі шпинделя, лінійним рухом під довільним кутом до вісі шпинделя, обертотвим рухом паралельним до вісі шпинделя, обертотвим рухом що перехрещується з віссю шпинделя, обертотвим рухом під довільним кутом до вісі шпинделя. Приклади даних рухів представлено на рисунку 3.10.

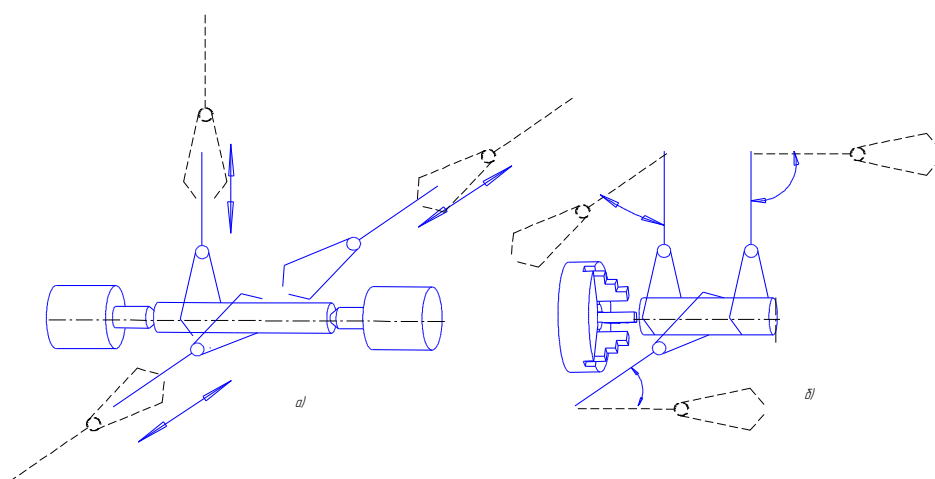


Рисунок 3.9 – Варіанти передачі заготовок на робочу позицію

Що стосується зміни захватів місцями, то слід відмітити, що коли ротація відбувається на витягнутій руці (в робочій зоні), це веде до скорочення часу на простоювання верстату, але й до зменшення жорсткості руки робота. Тому варіант зміни захватів місцями на витягнутій руці більш прийнятний для портального виконання робота або у випадку розміщення робота на передній бабці. Для роботів напільного виконання більш доцільно виконувати ротацію захватів на втягнутій руці.

3.4.4 Структура двохзахватних промислових роботів

Морфологічний ящик даної частини аналізу описується матрицею:

$$M_{\text{СДПР}} = m \cdot \begin{vmatrix} 10.1 & 11.1 & 12.1 & 13.1 \\ 10.2 & 11.2 & 12.2 & 13.2 \\ 10.3 & 11.3 & 12.3 & 13.3 \\ 10.4 & 11.4 & 12.4 & 13.4 \\ 10.5 & & 12.5 & \\ 10.6 & & 12.6 & \\ 10.7 & & 12.7 & \\ 10.8 & & 12.8 & \\ & & 12.9 & \\ & & 12.10 & \\ & & 12.11 & \\ & & 12.12 & \\ & & 12.13 & \\ & & 12.14 & \\ & & 12.15 & \end{vmatrix}; \quad (3.9)$$

В розгорнутому вигляді:

$$M_{\text{СДПР}} = 8 \cdot 4 \cdot 15 \cdot 4 \cdot m = 1920m. \quad (3.10)$$

Кількість та розміщення додаткових ланок, що являються складовою частиною структури захватів, розглядалися в другій частині роботи. При умові що кількість додаткових ланок може бути одна, дві, три або більше трьох, а розташовуватися вони можуть співвісно, перпендикулярно, перпендикулярно чи перехрещуватися по відношенню до вихідної ланки [23, 28]. Їх кількість визначається за формулою:

$$m = 4^n; \quad (3.11)$$

де: n – кількість додаткових ланок.

Орієнтація вісей захватів між собою.

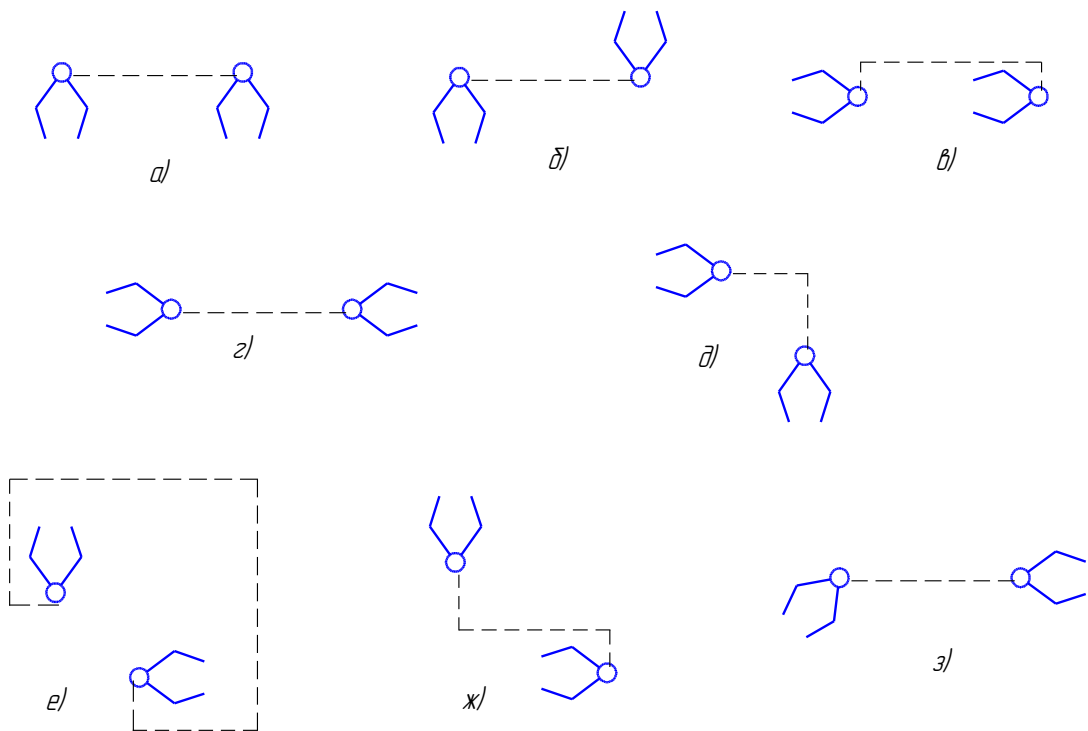


Рисунок 3.10 – Орієнтація вісей захватів між собою:

а – вісі захватів паралельні в одному напрямку; б – вісі захватів паралельні в протилежному напрямку; в – вісі захватів співвісні в одному напрямку; г – вісі захватів співвісні в різних напрямках; д – вісі захватів перпендикулярні від точки з'єднання; е – вісі захватів перпендикулярні до точки з'єднання; ж – вісі захватів перпендикулярні в різні сторони від точки з'єднання; з – вісі захватів перехрещуються.

За доцільне розміщення захватів визнаємо варіанти коли вісі захватів паралельні в одному напрямку, вісі захватів паралельні в протилежному напрямку, вісі захватів співвісні в різних напрямках, вісі захватів перпендикулярні від точки з'єднання.

Кількість ступенів рухомості що має механізм зміни захватів місцями.

Захвати, що не мають ступенів рухомості використовуються в тому випадку коли орієнтація захватів у просторі здійснюється степенями рухомості робота. Дані конструкції є малодоцільними.

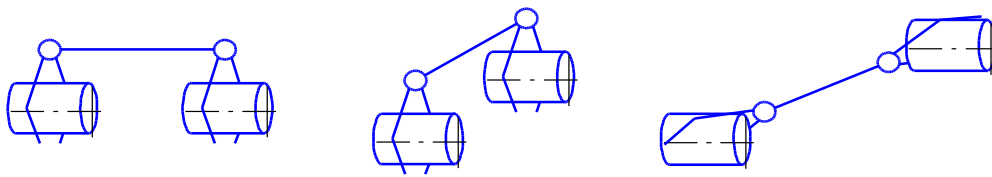


Рисунок 3.11 – Захвати, що не мають ступенів рухомості

Захвати що мають дві і більше двох ступенів для зміни захватів місцями рухомості признаємо недоцільними, у зв'язку з ускладненням конструкції і збільшенням масо-габаритних розмірів.

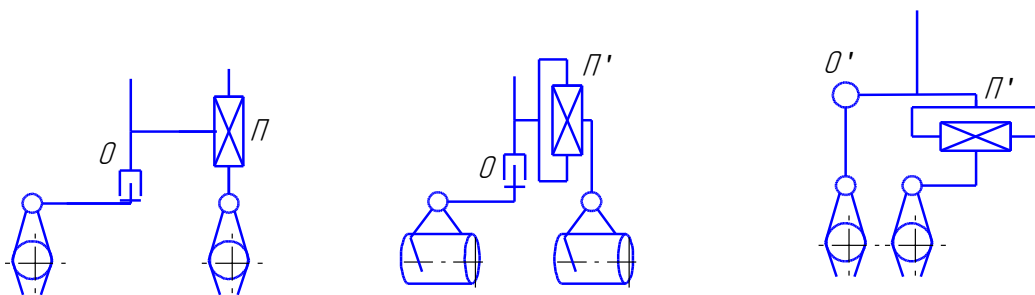


Рисунок 3.12 – Захвати, що мають дві і більше двох ступенів

Найбільш доцільним признаємо варіанти, що мають одну ступінь рухомості в механізмі зміни захватів місцями.

Види кінематичних пар що застосовуються в механізмі зміни захватів місцями.

Найбільш доцільним в зміні захватів місцями є використання обертових пар O та O' , ці кінематичні пари забезпечують найбільш компактну зміну захватів місцями, і можуть працювати в обмеженнях робочої зони верстату.

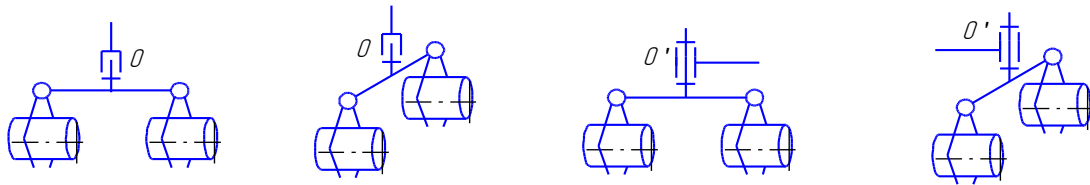


Рисунок 3.13 – Захвати, в яких використані обертові пари O та O'

Використання для зміни захватів місцями поступальних пар веде до збільшення масо-габаритних показників і потребують більше робочого простору при зміні їх місцями. Данні варіанти віднесемо до групи мало доцільних.

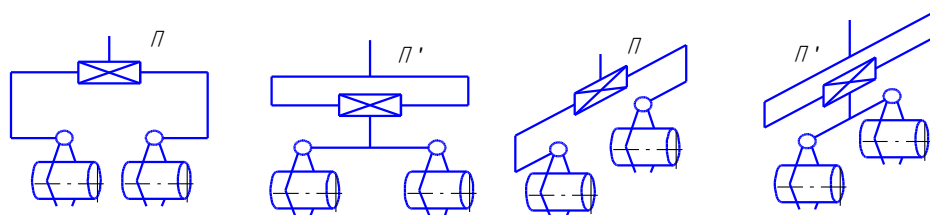


Рисунок 3.14 – Захвати, в яких використані поступальні пари

Варіанти коли для зміни захватів місцями використано дві кінематичні пари визнаємо недоцільними, бо веде до збільшення масо-габаритних розмірів.

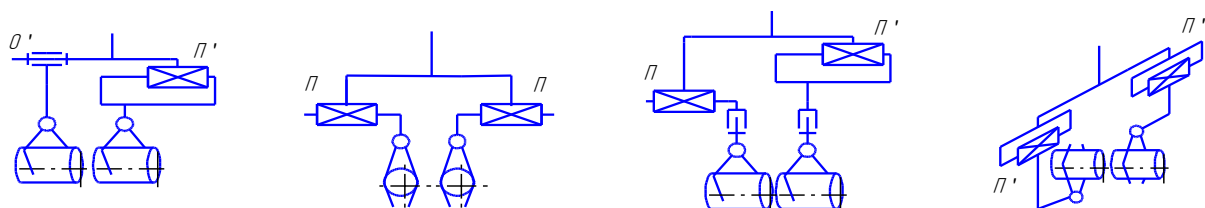


Рисунок 3.15 – Захвати, в яких використані дві кінематичні пари

3.4.5 Аналіз додаткового устаткування

Морфологічний ящик даної частини аналізу описується матрицею:

$$M_{dy} = \begin{vmatrix} 14.1 & 15.1 & 16.1 \\ 14.2 & 15.2 & 16.2 \\ & & 16.3; \\ & & 16.4 \\ & & 16.5 \end{vmatrix}; \quad (3.12)$$

В розгорнутому вигляді:

$$M_{dy} = 2 \cdot 2 \cdot 5 = 20. \quad (3.13)$$

Розглянемо питання допоміжних пристроїв, які виконують роль подавальних, приймальних, подавально – приймальних, завантажувально – накопичувальних пристроїв.

Допоміжні пристрої можна розділити по позиціонуванню на одно позиційні та багатопозиційні, а по координатності на одно координатні та багатокординатні.

Однопозиційні допоміжні пристрої характеризуються тим, що заготовки подаються в одну позицію з якої її потім забирає захват робота, а в цю позицію подається наступна заготовка [22].

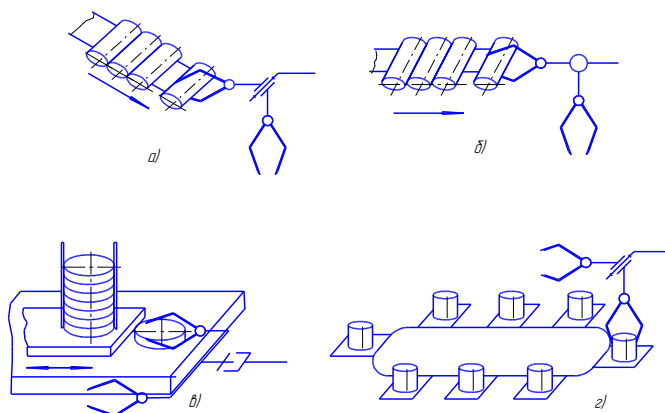


Рисунок 3.16 – Однопозиційні допоміжні пристрої

Багатопозиційні допоміжні пристрої характеризуються тим, що розміщені в них заготовки мають свої позиції і робот бере їх кожну з окремої комірки. Приклади таких пристроїв наведені нижче.

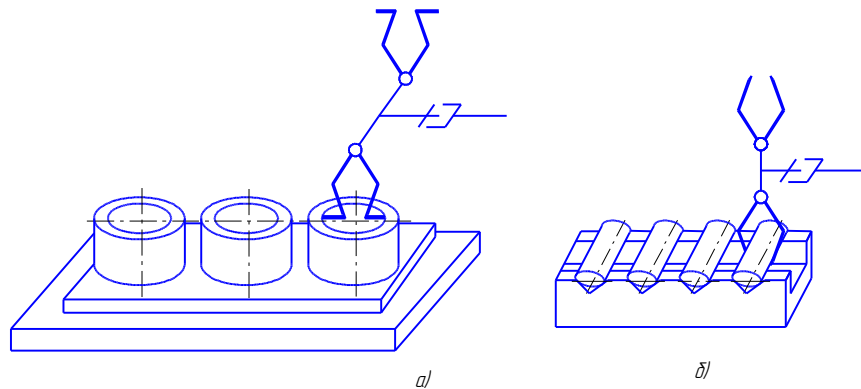


Рисунок 3.17 – Багатопозиційні допоміжні пристрої

Використання таких пристроїв веде до спрощення їх конструкцій, дані пристрої є подавально-приймальними, але складніше запрограмувати робот на роботу з такими допоміжними пристроями.

Одно координатні додаткові пристрої визначаються тим, що робот при роботі з ними переміщується по одній з координат, а в двокоординатних конструкціях переміщення по одній координаті замало, тож воно відбувається по двом.

Спосіб подачі заготовок.

Для деталей типу вали, досить часто подавальний пристрій виконується і вигляді нахиленого лотка (рис. 3.19 а). Широке використання знайшли різні транспортери, конвеєри, рольганги і т.п. (рис. 3.19 б). Поштучне подавання деталей у вихідну позицію для захвату їх роботом, може здійснюватися за допомогою рухомого пристрою, що встановлено на тактовому столі (рис. 3.19 в). При поштучному подавання деталей типу диски та кільця, застосовується відсікання їх від рухомої в низ або гору “пакету” деталей (рис. 3.17 в). Досить прийнятним, є використання в якості як подаючого так приймального пристрою поворотних пластинчатих конвеєрів (рис. 3.17 г), на яких можуть встановлюватися деталі різної конфігурації найбільш зручним способом для захвату та переміщення їх роботом.

Усі розглянуті схеми подавальних пристроїв забезпечують можливість захваті деталі з однієї позиції, що зменшує вимоги до функціональних характеристик робіт.

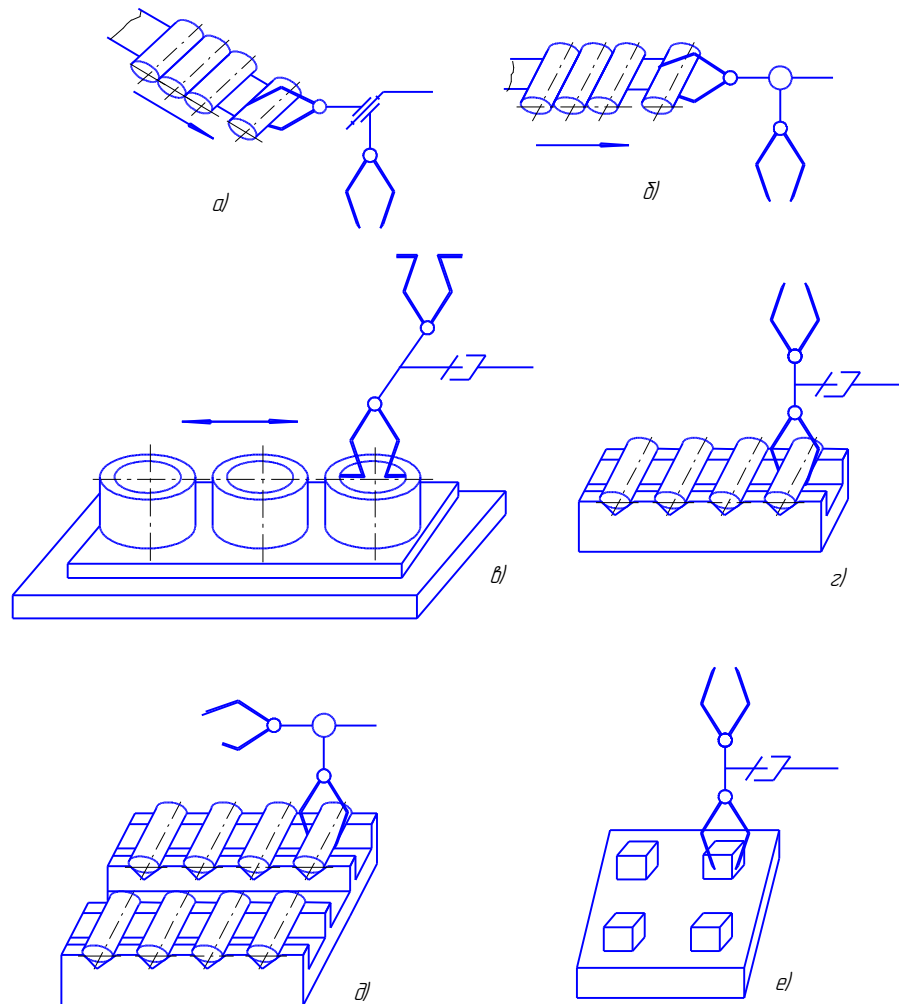


Рисунок 3.18 – Однокоординатні (а, б, в, г) та двокоординатні (д, е) допоміжні пристрої

Використання касет і іншої тари такого плану (рис. 3.19 д, е), вимагають, щоб робот забезпечував почерговий підхід на гнізда тари.

3.4.6 Аналіз типових роботизованих комплексів

Морфологічний ящик даної частини аналізу описується матрицею:

$$M_{PK} = \begin{vmatrix} 17.1 & 18.1 \\ 17.2 & 18.2 \\ 17.3 & 18.3 \\ 17.4 & 18.4 \end{vmatrix}; \quad (3.14)$$

В розгорнутому вигляді:

$$M_{PK} = 4 \cdot 4 = 16. \quad (3.15)$$

За місцем розташування промислових роботів відносно технологічного обладнання, можливо виділити слідуючі групи:

1. Промисловий робот розміщено безпосередньо на технологічному обладнанні:

- робот прилаштовано до верстату з лицьової сторони;
- робот розміщено на передній бабці верстату.

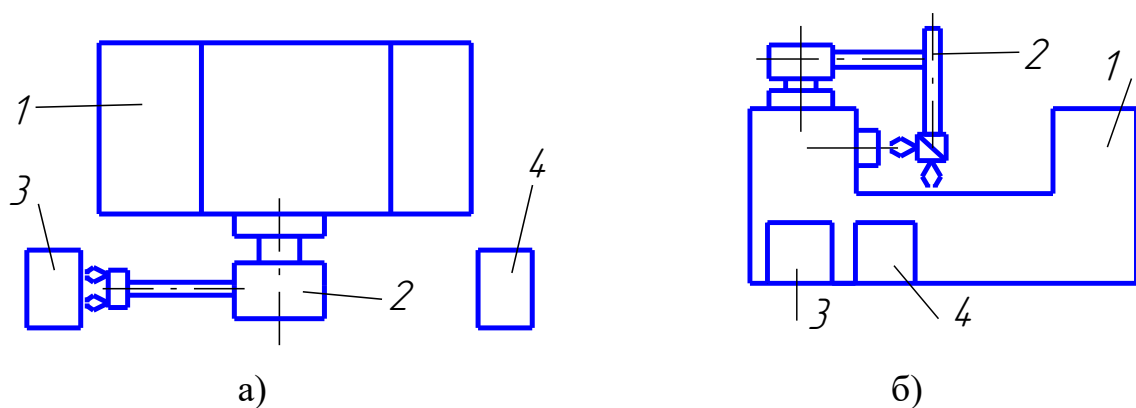


Рисунок 3.19 – Варіанти розміщення промислового робота на технологічному обладнанні: а) на лицьовій стороні верстату; б) на передній бабці; 1 – верстат, 2 – промисловий робот, 3 – подаючий пристрій. 4 – приймаючий пристрій.

2. Промисловий робот розміщено на підлозі біля технологічного обладнання (напольне виконання).

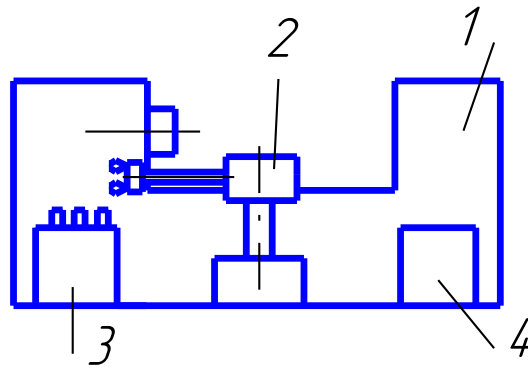


Рисунок 3.20 – Розміщення напольного промислового робота

3. Промислові роботи портального типу.

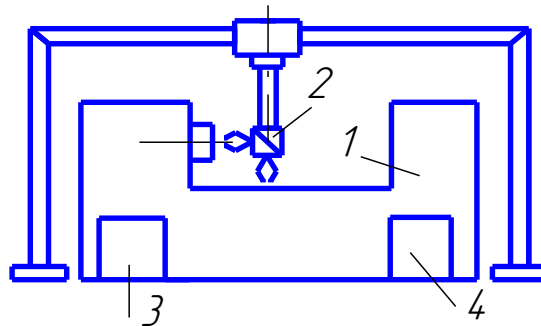


Рисунок 3.21 – Промисловий робот портального виконання

Додаткове обладнання можливо розмістити перед верстатом, збоку, чи ззаду.

3.5 Розробка методики проектування кінематичних схем роботів

Вибір необхідної кінематичної схеми робота з оптимальними кінематичними та геометричними параметрами являє собою важливе завдання. Від правильності вирішення цього питання, в значній мірі, залежить раціональність конструкції робота, що створюється, і ефективність її використання в РТК [24].

Загальна послідовність розробки кінематичних схем роботів, складається із встановлення необхідних положень та рухів кінцевих ланок кінематичних ланцюгів робота, по всьому виконуваному циклу і послідовності кінематичних та геометричних замикань цих кінцевих ланок з допомогою кінематичних пар та їх ланок.

Кінцевими ланками кінематичного ланцюга робота є, з одного боку – його основа, а з іншого – захват (захвати) або операційний механізм, які повинні займати однозначні та доцільні положення у роботизованому циклі. Під рухом кінцевих ланок слід розуміти переміщення, які здійснює основа робота, у випадку його рухомого виконання, і рухи захвата або операційного механізму які необхідні для виконання транспортних (допоміжних) або технологічних (основних) операцій.

Методику проектування кінематичних схем промислових роботів для завантаження металообробних верстатів та іншого технологічного устаткування можна представити [16]:

1. Визначаються (викреслюються) контури основного та допоміжного устаткування і аналізується компоувальний план розміщення устаткування на роботизованій операції.

2. Встановлюються положення транспортованої деталі в основній позиції циклу рухів (наприклад в патроні верстату) та в інших відомих позиціях (в тарі подавального або приймального пристроїв) з урахуванням необхідної або можливої орієнтації деталі в цих позиціях.

3. Визначаються доцільні варіанти захвату деталі та можливі, при цьому, положення останньої ланки кінематичного ланцюга робота утримуючого захват. Довжина останньої ланки умовно приймається такою, щоб вона виходила з обмежень робочої зони в кожній позиції. Якщо ж ланка впирається в обмеження зони, що може мати місце в важкодоступних зонах, то таку ланку доцільно зігнути або з'єднати згин кінематичною порою, змінивши, таким чином, напрямлення ланки для виходу її із зони.

4. Вирішуються питання визначення траєкторії руху транспортованої деталі та кінцевих ланок робота по всьому циклу, їх кінематичного замикання проміжними ланками та кінематичними парами, що, практично, зводиться до встановлення ступеня рухомості робота. При наявності на роботизованому місці різних перешкод між позиціями, заважаючи вільному переміщенню деталі, по найбільш коротких (доцільних) траєкторіях, а також необхідності дотримання визначених умов підходу та орієнтації захвата з деталлю до позиції, вимагає розмежування загальної циклограми руху на ряд складових, а ступенів рухомості робота на окремі групи, в залежності від їх призначення та однозначності визначення:

а) визначаються рухи, які необхідні для переміщення деталі з захватом на задані позиції (точки позиціонування) циклу в які встановлюють деталь і рухи для наступного відходу захвата від цих позицій. Ці рухи можуть визначатися і в зворотній послідовності. Тобто, спочатку визначаються необхідні, або прийнятні переміщення захвату на позицію де встановлена деталь, а після її затиску захватом визначаються рухи для виводу транспортованої деталі із робочої позиції. Всі ці рухи достатньо однозначні (наприклад, встановлення деталі в патрон верстату, в основному, здійснюється осьовим його переміщенням). При визначенні необхідної кількості рухів для виходу на позиції і з позиції (n_p) приймається, що такі рухи відрізняються між собою направленням відносно транспортуючої системи (деталь – захват – остання ланка робота), як одного цілого незалежно від його положення в різних позиціях циклу;

б) визначаються необхідні або прийнятні рухи (додатково до тих, які визначені в п. “а”) для введення і виведення транспортуючої системи з робочої зони, з урахуванням її обмежень, у вихідне положення для забезпечення “вільного” (тобто практично без перешкод) переміщення цієї системи у вихідне положення інших позицій. При наявності складної системи перешкод задача вирішується послідовним виведенням транспортуючої системи із одних обмежень зони, потім других з відповідним визначенням доцільних для цього рухів. Такі рухи, значно менш однозначні, але і не довільні, так як на них накладаються реальні обмеження робочої

зони. Кількість різних рухів для входу в зону та виходу із зони (n_3) визначаються подібно як і в п. “а”, з урахуванням, що ці рухи, можуть бути потрібні лише для деяких позицій роботизованого процесу. Прийняті ступені рухомості (n_3) повинні стикуватись з рухами (n_n), забезпечувати нерозривну частину циклограми роботи робота, тобто рухи входу в зону повинні узгоджуватись і передувати переміщенням на позицію, а рухи виходу із зони являються продовженням переміщень відходу від позиції. Таке узгодження необхідно передбачити і на послідуєчих етапах руху кінцевих ланок робота;

в) визначаються необхідні рухи для “вільного” послідовного переміщення транспортуючої системи від одного вихідного положення до другого, і так по всьому циклу. Для визначення цих рухів вибирається система координат, початок якої суміщається з положенням основи робота. Від вибору положення системи координат, в значній мірі, залежить складність кінематичної схеми робота. Тому, при вирішенні цього питання необхідно прагнути до однакової відстані транспортуючої системи в кожній позиції від початку координат або її осей, що забезпечує одержання мінімально коротких довжин ланок кінематичного ланцюга робота. При великій відстані між позиціями більш доцільними являються виконання рухомої основи робота, що виключає використання “довгої” руки робота. Правильний вибір взаємного положення основи робота (системи координат), обслуговуючого устаткування та транспортуючої системи, в кожній позиції забезпечує зменшення потрібної кількості ступенів рухомості робота, в тому числі і орієнтуючих рухів кисті. При виборі положення системи координат необхідно прагнути до одержання найбільш коротких траєкторій руху захвата, максимального використання раніше прийнятих рухів для здійснення транспортних переміщень між позиціями і т.п. Для спрощення визначення потрібних транспортних (переносних) ступенів рухомості робота доцільно осі координат суміщати з направленням вже прийнятих або передбачуваних рухів робота. В цій системі координат аналізуються вихідні положення транспортуючої системи по кожній позиції. Кількість різних лінійних та кутових координат, які визначають положення

транспортуючої системи, і можуть бути прийняті за необхідні ступені рухомості транспортування (n_T). Ці ступені рухомості, матеріалізовані відповідними кінематичними парами та ланками, забезпечують кінематичне та геометричне замикання транспортуючої системи, у всіх її положеннях, з основою (корпусом, кареткою) робота в одне ціле, формуючи закінчену кінематику робота. Кількісна величина різниці положення захвату робота по координатах, у всіх позиціях циклу, і визначає геометричні параметри робота, включаючи довжину ланок та величину їх переміщення. Для спрощення кінематичної схеми робота, необхідно добиватись найбільш доцільного розміщення та орієнтації деталей в позиціях, зручності підходу захвата робота до цих позицій і т.п.;

г) визначаються необхідні рухи для надання транспортованій деталі, а значить і захватам робота необхідної орієнтації в кожній позиції. Ці ступені рухомості складають кінематику кисті (n_K) і знаходяться в кінці кінематичного ланцюга робота. При використанні двозахватного виконання промислового робота, кінематика кисті застосовується не часто, бо її введення веде до збільшення массо - габаритних характеристик захватів. Але має місце процедура зміни захватів місцями (n_{33M}). Ступені рухомості по п. “в” та “г”, як правило, повинні визначатися спільно.

Після цього виконується порівняльний аналіз вибраних рухів в кожній кінематичній групі. При наявності повтору рухів в різних групах вирішується питання заміни їх одним рухом та остаточно формується кінематична схема робота.

Тоді, загальна кількість ступенів рухомості робота буде дорівнювати:

$$n = n_T + n_3 + n_{II} + n_{33M} + n_K; \quad (3.16)$$

Якщо робот буде мати нерухому основу то рухи n_T , n_3 , n_{II} складають ступені рухомості руки робота (n_p) і тоді в загальному вигляді кінематичну структуру робота можна представити:

$$n = n_p + n_{33M} + n_K; \quad (3.17)$$

$$\text{де: } n_p = n_T + n_3 + n_{II};$$

Для робота, де рухи виходу на позицію (n_{Π}) реалізуються локальним ступенем рухомості (n_{Π}), структура буде:

$$n = n_p + n_{\Pi} + n_{33M} + n_K; \quad (3.18)$$

або

$$n = n_p + n_{33M} + n_{\Pi} + n_K; \quad (3.19)$$

де: $n_p = n_T + n_3$;

В ряді випадків кінематику основи можуть складати ступені рухомості n_{Π} або n_3 .

В деяких роботах одна і та ж кінематична пара може виконувати різні функціональні рухи, наприклад, вихід на позицію або транспортні переміщення між позиціями та ін.

Розглянемо роботу роботизованого комплексу в склад якого входить токарний верстат, двозахватний промисловий робот, подаючий та приймаючий пристрої.

Умови роботи:

- верстат має горизонтальну вісь;
- робот порталний;
- деталі подаються поштчно у вихідну позицію для захвату їх роботом.

Захват 2 промислового робота виходить на позицію подаючого пристрою де вже знаходиться заготовка, опускається і відбувається її затиск. Захват 1 йде прожнім (поз. 1, 1'). Потім захвати переміщуються в позиції 2, 2'; 3, 3' і опускаються на вісь центрів верстату (поз. 4, 4'). Захватом 1 затискається оброблена деталь, відбувається її розтискання і захвати відходять в позицію 5, 5'. Для зміни захватів місцями передбачено обертову пару О, за допомогою якої відбувається ротація 1 і 2 захватів. Захвати вертаються в позицію 6, 6' , деталь затискається і захват 2 розтискається. Надалі захвати переміщуються по позиціям 7, 7'; 8, 8' і виходять на позицію приймального пристрою (поз. 9, 9'). Цикл повторюється.

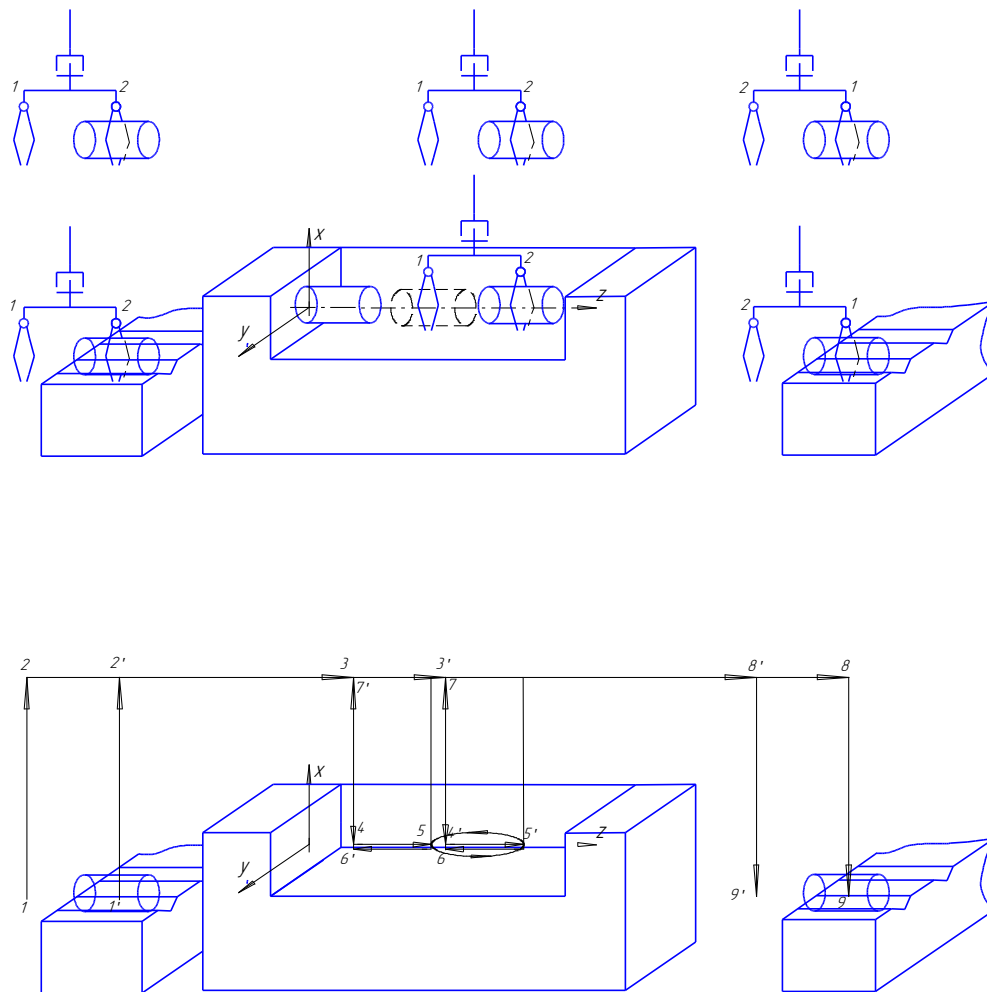
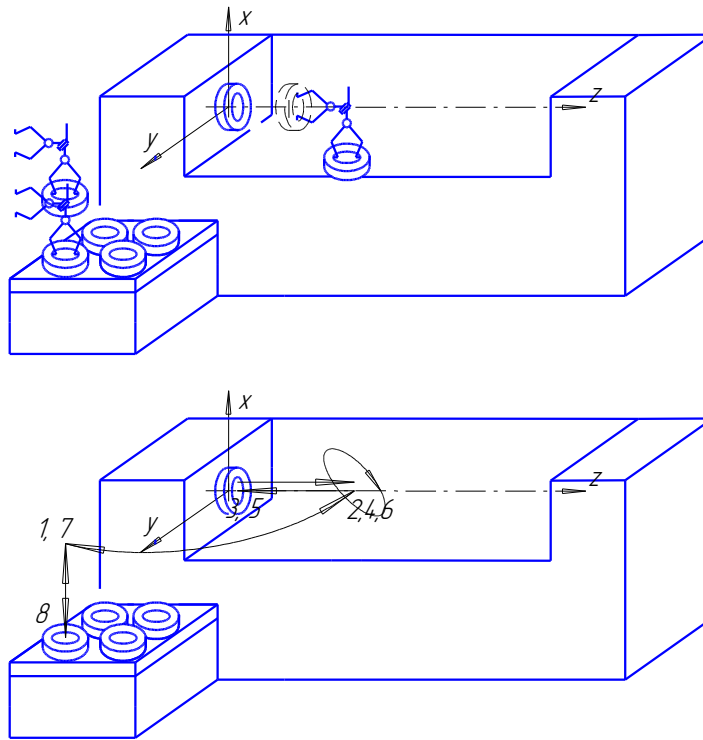


Рисунок 3.22 – Траєкторії руху та переміщення захватів робота

Розглянемо варіант РТК, в якому промисловий робот встановлено на передній бабці верстату, заготовки бере з позицій касети, а оброблені деталі встановлює на їх місце. Деталі типу втулка, з вертикально розміщеною віссю [25-27].

Захват 1 промислового робота виходить на позицію подаючого пристрою де вже знаходиться заготовка, опускається і відбувається її затиск. Захват 2 – залишається прожнім. Потім захвати переміщуються в позиції 1, 2, 3 і відбувається затиск обробленої деталі захватом 2. Захвати з деталлю і з заготовкою відходять в позицію 4, де відбувається їх ротація. Захват 2 з заготовкою виходить в позицію 5 і відбувається затиск. Захвати вертаються в позиції 6, 7, 8.



Рисинок 3.23 – Траекторії руху та переміщення захватів робота

В конструкціях промислових роботів, що мають напольне виконання, циклограмма руху де що схожа на циклограмму руху роботів портального типу.

Обґрунтований вибір оптимальної кінематичної схеми робота, з відповідними кінематичними та геометричними параметрами, повинен визначатися по показнику оптимальності або по окремих критеріях: часу виконання операції, складності конструктивної реалізації кінематичної схеми, вартості роботизації і т.п.

4 РОЗРОБКА СТАРТАПУ

4.1 Резюме проєкту

Оскільки кваліфікаційна магістерська робота, присвячена робототехніці, ми пропонуємо стартап: "Robo-Flex Assembly: Адаптивний двозахватний робототехнічний комплекс для дрібносерійного виробництва".

Назва стартапу: Robo-Flex Assembly

Місія: Забезпечити малі та середні підприємства (МСП) економічно вигідним, високоточним та гнучким рішенням для автоматизації складних складальних операцій в умовах дрібносерійного та індивідуалізованого (кастомізованого) виробництва, використовуючи двозахватні промислові роботи.

Цільовий ринок: Машинобудування, виробництво електроніки, медичних приладів, автомобілебудування (спеціалізовані компоненти) та аерокосмічна промисловість, де критично важлива висока точність та швидке переналагодження [18, 19].

Ключова перевага: Висока гнучкість завдяки двозахватній системі та програмному забезпеченню на основі штучного інтелекту для швидкої переналадки між різними продуктами без необхідності фізичного переобладнання.

4.2 Актуальність роботизації у виробництві (Індустрія 4.0)

В умовах Індустрії 4.0 ключовими вимогами до виробництва є гіпер-кастомізація та гнучкість. Традиційні монофункціональні автоматизовані лінії не можуть ефективно обробляти невеликі партії продукції з високою варіативністю. Це створює "дірку" на ринку між повністю ручною працею (неефективно, низька якість) та великосерійною автоматизацією (занадто дорого, негнучко) [18].

Промислові роботи необхідні для:

1. Підвищення якості: Усунення людського фактора (точність до ± 0.02 мм).

2. Безперервної роботи: Цикл 24/7, збільшення випуску продукції на 200-300%.
3. Безпеки праці: Виконання небезпечних та монотонних операцій.
4. Економічної ефективності: Зниження операційних витрат у довгостроковій перспективі (ROI 1-3 роки).

Двозахватні промислові роботи (наприклад, Yaskawa SDA-серії, ABB YuMi) вирішують проблему "вузького місця" однозахватних систем у складних операціях:

Таблиця 4.1 – Переваги двозахватних роботів (Dual-Arm)

Критерій	Однозахватний Робот	Двозахватний Робот (Robo-Flex)
Ефективність часу циклу	Високий час очікування: цикл "Взяти (деталь А) → Виконати → Повернутися → Взяти (деталь В)".	Скорочення часу циклу на 30-50%: Паралельний цикл "Взяти (деталь А) / Видалити (готову деталь В)".
Складність операцій	Обмежено: вимагає зовнішніх фіксаторів та пристосувань.	Висока гнучкість: Імітує роботу двох людських рук (наприклад, утримання корпусу однією рукою та встановлення плати іншою).
Зайнятість площі	Може вимагати двох окремих роботів для паралельних операцій.	Компактність: Один комплекс виконує роботу двох, економлячи виробничу площу.
Переналагодження	Потребує механічної заміни пристосувань.	Мінімальне фізичне переналагодження: Більшість змін виконується програмно через ШІ-модуль.

Концепція "Швидкого Переналагодження"

Ключовим теоретичним елементом стартапу є концепція швидкої зміни виробничої моделі (Single-Minute Exchange of Die - SMED, адаптований для роботів). Robo-Flex Assembly використовує:

- Універсальні кінцеві ефектори: модульні захвати, які швидко змінюються або адаптуються під широкий діапазон форм деталей.
- Системи технічного зору: камери 2D чи 3D-зору, які дозволяють роботу ідентифікувати та локалізувати нову деталь без необхідності точного позиціонування людиною.
- Алгоритми ШІ: самостійне генерування траєкторії руху та сили захоплення при зміні продукту.

4.3 Дослідження ринку та цільова аудиторія

4.3.1 Обсяг ринку (TAM, SAM, SOM)

- TAM (Total Addressable Market): Глобальний ринок промислових та коботів (Collaborative Robots), що становить понад \$50 млрд і зростає на 15-20% щорічно.
- SAM (Serviceable Available Market): Європейський та український ринок інтеграції робототехніки для МСП та спеціалізованого виробництва, який оцінюється у \$5 млрд.
- SOM (Serviceable Obtainable Market): Частка ринку, яку Robo-Flex може реалістично зайняти протягом 3-х років, орієнтовно \$50-70 млн, зосереджена на Східній та Центральній Європі.

4.3.2 Цільові клієнти

Насамперед, роботизація є критично важливою для великих та середніх виробничих підприємств у секторах з високою повторюваністю циклів та суворими вимогами до якості продукції, оскільки саме тут інвестиції окупаються найшвидше. Сюди входять, зокрема, виробники в автомобільній, аерокосмічній та електронній промисловості, де потрібна мікроскопічна точність і робота у режимі 24/7 для підтримки безперебійного конвеєра. У цих галузях роботи замінюють монотонну, але високоточну ручну працю, усуваючи "людський фактор" і знижуючи відсоток браку, що є ключовим для глобальної конкурентоспроможності.

Друга значна група – це підприємства, де існують небезпечні або шкідливі умови праці, такі як металообробка, ливарне виробництво, хімічна та фармацевтична промисловість. Тут роботи виконують функції обслуговування верстатів, зварювання при високих температурах, переміщення важких вантажів або роботу з токсичними матеріалами. Для цих клієнтів роботи є інструментом безпеки праці та дотримання нормативних вимог, а також рішенням проблеми дефіциту робочої сили, оскільки залучення людей до таких робіт стає все складнішим.

Особливий інтерес становлять малі та середні підприємства, які працюють в умовах дрібносерійного виробництва. Для них особливо актуальним є впровадження двозахватних роботів. Ці клієнти шукають гнучкість і швидке переналагодження лінії для роботи з різними моделями продукції, що дозволяє їм конкурувати з гігантами, пропонуючи індивідуальні рішення. Двозахватні системи дозволяють їм консолідувати дві операції в одному робочому просторі, заощаджуючи площу та час циклу, що робить їх ідеальними для складальних робіт у виробництві медичних приладів чи високотехнологічних компонентів [19].

Таким чином, цільовими клієнтами нашого стартапу можуть бути:

1. Виробники електроніки: складання друкованих плат, корпусів, тестування. Потреба в точності та гнучкості.

2. Медичне обладнання: складання мікронасосів, діагностичних приладів. Високі вимоги до стерильності та повторюваності.
3. Автомобільні постачальники Tier 2/3: складання підсистем (датчики, блоки керування). Потреба в швидкій адаптації до нових моделей авто;
4. Машинобудування: завантаження та розвантаження металообробного обладнання.

Таблиця 4.2 – Конкурентний аналіз

Конкурент	Тип Рішення	Переваги	Недоліки
Великі інтегратори (KUKA, ABB)	Готові монофункціональні лінії.	Надійність, глобальна підтримка.	Висока вартість, низька гнучкість, орієнтація на великі обсяги.
Малі локальні інтегратори	Спеціальні рішення "під ключ".	Низька початкова вартість.	Довге переналагодження, низька універсальність, обмежена підтримка.
Robo-Flex Assembly	Двозахватна система + III-контроль.	Найкраща гнучкість, швидке ROI, адаптація під дрібні серії.	Необхідність інвестувати у R&D та навчання персоналу.

4.4 Дослідження та технічна реалізація

Склад роботизованого комплексу

1. Технологічне обладнання.
2. Двозахватний робот: промисловий робот 6-7 ступенів свободи з високою вантажопідйомністю (3-5 кг на руку) та швидкістю (до 2 м/с).
3. Система технічного зору: 2D, 3D-камера високої роздільної здатності для локалізації деталей у просторі та контролю якості.
4. Контролер зі ШІ-модулем (Core):
 - модуль Path-Planning: генерує оптимальну траєкторію руху обох рук (за наявності), уникаючи колізій;
 - модуль Force Control: керує зусиллям захоплення для роботи з крихкими деталями;
 - модуль Quick-Teach: дозволяє оператору "навчати" робота новому завданню шляхом фізичного ведення руки (Lead-Through Programming), а ШІ потім оптимізує рухи.
5. Модульна периферія: система швидкої заміни захватів, універсальні допоміжні пристрої (подавачі деталей).

Алгоритм роботи ШІ для гнучкості

Робота базується на алгоритмах глибокого навчання з підкріпленням (Deep Reinforcement Learning).

$$P = \sum_{t=0}^T \gamma^t \cdot R(S_t, a_t); \quad (4.1)$$

де: P – продуктивність;

$R(S_t, a_t)$ – винагорода (Reward) за успішне складання/виконання операції в стані S_t та дії a_t ;

γ – коефіцієнт дисконтування.

Мета: максимізувати дохід, що відповідає мінімізації часу циклу та мінімізації браку.

При зміні продукту:

1. Оператор: Завантажує 3D-модель нової деталі.
2. ШІ-модуль: використовує моделі машинного зору для ідентифікації та початкового позиціонування деталей.
3. ШІ-модуль (навчання): на основі бази даних схожих операцій генерує початкову траєкторію для двох рук (за наявності).
4. Оптимізація: за допомогою Force Control та Path-Planning робот виконує операцію, коригуючи параметри в реальному часі для забезпечення точності та уникнення колізій. Час переналагодження скорочується з годин до 15-20 хвилин.

4.5 Фінансовий аналіз та розрахунки

Таблиця 4.3 – Початкові інвестиції (CAPEX)

Стаття витрат	Вартість (тис. €)	Примітки
Придбання 1-го двозахватного Робота	90	Yaskawa або ABB (середній клас).
Інтеграція та Периферія (захвати, подавачі, безпека)	35	Модульність.
Розробка та ліцензування ПЗ (ШІ-модуль)	60	R&D, включаючи зарплату інженерів.
Маркетинг та продажі (початковий)	15	Створення демо-стенду.
Загальні CAPEX	200 тис. €	Початковий пілотний проєкт (1 РК).

Таблиця 4.4 – Операційні витрати (ОРЕХ) на рік

Стаття витрат	Вартість (тис. €)
Зарплата (2 інженери-програмісти, 1 менеджер)	80
Обслуговування та Енергоспоживання	10
Оренда офісу/демо-зони	5
Загальні ОРЕХ (на рік)	95 тис. €

Модель доходу:

1. Продаж роботизованого комплексу (основний дохід): середня ціна інтегрованого комплексу для клієнта: 250 тис. €.
2. Ліцензійні платежі/сервіс (Recurring Revenue): щорічна плата за оновлення порогового забезпечення (ШІ-модуль), підтримку та навчання – 10% від вартості роботизованого комплексу (25 тис. € на рік з клієнта).

Ключові фінансові показники наведено в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Прогноз продажів (перші 3 роки):

Рік	Продано РК	Дохід від Продажів (тис. €)	Дохід від Сервісу (тис. €)	Загальний Дохід (тис. €)
Рік 1	2	500	0	500
Рік 2	5	1250	50	1300
Рік 3	10	2500	250	2750

Розрахунок Точки Безбитковості (Break-Even Point) (Рік 2):

1. Постійні витрати (Fixed Costs): ОРЕХ + амортизація (200 / 5 років)

$$95 + 40 = 135 \text{ тис. € на рік.}$$
2. Середня маржа на 1 роботизований комплекс:

$$250 \text{ (ціна)} - 150 \text{ (собівартість)} = 100 \text{ тис. €.}$$
3. Точка безбитковості (за кількістю роботизованих комплексів):

135 тис. €/100 тис. €/РК≈1.35 РК.

Тож стартап, який розглядається досягає точки беззбитковості на етапі 2-го року при продажі 5 роботизованих комплексів.

Також розглянемо показник окупності інвестицій (ROI) для клієнта.

Клієнт замінює 3-х робітників, які працюють у 2 зміни, із середньою зарплатою 15000 €/рік.

Річна економія на заробітній платі:

$$3 \times 2 \times 15000 = 90000 \text{ €}.$$

Річне підвищення продуктивності (за рахунок 24/7 і швидкості) ≈50000 €.

Річний грошовий потік для клієнта:

$$90000 + 50000 = 140000 \text{ €}.$$

Вартість роботизованого комплексу: 250000 €.

Термін окупності:

$$250000 / 140000 \approx 1.78 \text{ року}.$$

Це є критичною перевагою для інвестиційної привабливості.

4.6 Рекомендації щодо залучення інвестицій

Мета залучення інвестицій: €250 000 на початковому етапі (Seed Round) в обмін на 15-20% капіталу.

4.6.1 Інвестиційна пропозиція (Investment Pitch)

Потреба у фінансуванні (€250000):

1. Розширення R&D (€120000): фіналізація та комерціалізація ШІ-модуля.
2. Створення демо-центру (€50000): проведення доказових пілотних проєктів для клієнтів (Proof-of-Concept).
3. Маркетинг та продажі (€80000): найм першого сейлз-менеджера та участь у галузевих виставках.

4.6.2 Цільові інвестори та стратегія залучення

1. Венчурні фонди (VC): орієнтовані на B2B-технології, Industry 4.0 та AI-рішення (наприклад, TMT Investments, Horizon Capital).
2. Стратегічні партнери: пелікі інтегратори або виробники обладнання (наприклад, Bosch Rexroth, Siemens), які зацікавлені в інтеграції гнучкого ШІ-контролю у свої рішення.
3. Ангельські інвестори: з досвідом у машинобудуванні або автоматизації.

Ключові аргументи для інвесторів:

- Доведена потреба ринку: малі підприємства критично потребують гнучкості, яку не можуть забезпечити великі гравці.
- Технологічна перевага: швидке переналадження (15-20 хвилин) завдяки ШІ є УТП.
- Швидка окупність (ROI) для клієнта: 1.78 року — низький ризик для кінцевого покупця.
- Масштабованість: модель Recurring Revenue (сервісна плата) забезпечує стабільний дохід після продажу роботизованого комплексу.

4.6.3 Рекомендації для Залучення (План Дій)

1. Розробка мінімально життєздатного продукту (Minimum Viable Product): створення робочого прототипу двозахватного роботизованого комплексу із повністю функціональним ШІ-модулем Quick-Teach.
2. Пілотний Проєкт (Proof-of-Concept): впровадження роботизованого комплексу на безкоштовній або мінімальній основі на одному реальному підприємстві (ідеально – у виробництві електроніки). Документальне підтвердження скорочення часу циклу на 40%.

3. Створення фінансової моделі: детальна 5-річна фінансова модель, що включає чутливість (Sensitivity Analysis) до зміни ціни промислового робота та кількості продажів.

4. Створення Pitch Deck: презентація, що чітко відображає проблему, рішення, технологію, команду та фінансові показники (особливий акцент на 1.78 року ROI та 25% річного сервісного доходу).

Висновок

Стартап Robo-Flex Assembly пропонує високоактуальне рішення, яке відповідає потребам глобальної тенденції роботизації виробництва. Використання двозахватних промислових роботів, інтегрованих з власним ШІ-модулем швидкого переналагодження, дозволяє малим підприємствам досягти ефективності великосерійного виробництва при збереженні гнучкості. Фінансовий аналіз демонструє високу інвестиційну привабливість завдяки швидкій окупності для клієнта та наявності стабільного доходу від сервісного обслуговування. Залучення інвестицій у розмірі €250 000 є критичним для комерціалізації унікального програмного забезпечення та масштабування продажів на ринки Східної Європи.

ВИСНОВКИ

1. Розроблено технологію обробки диска СЗГ00.126 та спроектовано затискний пристрій пневматичного типу, який буде використовуватися на фрезерній операції.
2. Закладено основи використання методу морфологічного аналізу для синтезу конструкцій промислових роботів та роботизованих комплексів, зокрема було проведено детальний розподіл об'єктів на морфологічні ознаки і складено морфологічні матриці.
3. Розроблено методику кінематичного структурного аналізу та синтезу двозахватних промислових роботів з різною кількістю ступенів рухомості та різним їх розподілом на окремі кінематичні групи, в залежності від їх функціонального призначення та приналежності до тієї чи іншої частини пристрою.
4. Проведено структурні дослідження можливих комбінованих варіантів виконань двозахватних пристроїв та сформовано методику визначення таких варіантів.
5. Створено алгоритмічну основу для прийняття оптимальних рішень щодо конфігурації роботизованих комплексів на ранніх стадіях проєктування, що мінімізує ризики та вартість інтеграції.
6. Розроблено стартап Robo-Flex Assembly, який пропонує високоактуальне рішення, яке відповідає потребам глобальної тенденції роботизації виробництва.

ЛІТЕРАТУРА

1. Добрянський, С. С. Технологічні основи машинобудування [Електронний ресурс] : підручник для студентів спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» / С. С. Добрянський, Ю. М. Малафєєв ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 379 с.
2. Боженко Л. І. Технологія машинобудування. Проектування технологічного спорядження : посібник. Львів : Світ, 2001. 296 с.
3. Крижанівський, В. А., Кузнєцов, Ю. М., Валявський, І. А., & Склярів, Р. А. (2004). Технологічне обладнання з паралельною кінематикою: Навчальний посібник для ВНЗ/Під ред. ЮМ Кузнєцова. Кіровоград: ІМЕКС.
4. Гевко Б.М., Дичковський М.Г., Матвійчук А.В. Технологічна оснастка. Контрольні пристрої : навч. посіб. Київ : «Кондор», 2008. 220 с.
5. Павленко І. І., Мажара В. А., Скібінський О. І. Методичні рекомендації до кваліфікаційної роботи. – 2021.
6. Мажара, В. А., Гречка, А. І., Свяцький, В. В., Щербина, К. К., Мірзак, В. Я., Селєхова, В. М., ... & Шмельов, В. М. (2024). Кваліфікаційна робота за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти. Спец. 131 «Прикладна механіка».
7. Скібінський О. І., Селєхова В. М. Технологія машинобудування. Самостійні роботи. – 2023.
8. Мажара, В. А., & Годунко, М. О. (2018). Основи гнучкого автоматизованого виробництва. Методичні вказівки до виконання самостійної роботи студентами спеціальності “Прикладна механіка”. Кропивницький. ЦНТУ. 2018. – 32 с.
9. Павленко І.І. Захватні пристрої роботів / І.І. Павленко, М.О. Годунко // Захватні пристрої роботів: монографія. – Кропивницький: «КОД», 2020. – 386 с.
10. Годунко М.О. Основи 3D моделювання і робототехніки: Навч. посіб. для

- проведення практичних занять / М.О. Годунко, А.І. Гречка. – К. : 7БЦ, 2024. – 42 с.
11. Mazhara, V., Shcherbyna, K., Maniakin, S., & Filonenko, V. (2023). Efficiency of using turning machining centers. *Global science: prospects and innovations : proceedings of IV international scientific and practical conference, Liverpool, 1-3 December, 2023.* – Liverpool, United Kingdom : Cognum Publishing House, 2023. – P. 216-221.
12. Мажара, В. А., Артюхов, А. М., & Тененика, С. А. (2024). Проектування затискних пристроїв та оснащення. Самостійна робота.
13. Павленко, І. І., & Мажара, В. А. (2017). Технологічне оснащення. Методичні вказівки виконання курсового проекту студентами спеціальності “Прикладна механіка”. – Кропивницький: ЦНТУ, 2017. – 36 с.
14. Мажара, В. А., Щербина, К. К., Артюхов, А. М., Тененика, С. А., & Шестаков, І. С. (2024). Система автоматизованого проектування технологічного оснащення. // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин : загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. – Кропивницький : ЦНТУ, 2024. – Вип. 54. – С. 12-23.
15. Павленко І.І. Структура промислових роботів. Кіровоград: КІСМ, 1998. – 98с.
16. Сафронова Н. В., Мажара В. А. До ефективності використання сучасних токарних обробних центрів. – 2011.
17. Журило І.В., Семикіна М.В. Дипломне проектування з економіки підприємства: особливості, методика та основні етапи: навчально-методичний посібник. 3-тє вид., переробл. і доповн. Кропивницький: ЦНТУ, 2016. 80 с.
18. Sybirtsev, V., Mazhara, V., & Moskalenko, V. (2020). Analysis of discriminant models in forecasting bankruptcy of enterprises. *Bulletin of the Cherkasy Bohdan Khmelnytsky National University. Economic Sciences*, (2).

19. MAZHARA V., MOSKALENKO V. Principal component analysis in the forecasting bankruptcy of enterprises // Bulletin of the Cherkasy Bohdan Khmelnytsky National University. Economic Sciences. – 2019. – №. 3.
20. Pavlenko I. I. Robotic technological complexes: monograph / I. I. Pavlenko, V. A. Mazhara; under the editorship I. I. Pavlenko. – Kropyvnytskyi: KOD, 2019. – 382 p.
21. Shcherbyna, K., Hrechka, A., Mazhara, V., & Diachenko, T. (2020). Kinematics of cutting process while honing holes with a hone with variable geometry of sticks.
22. Павленко, І. І., & Мажара, В. А. (2005). Структура продуктивності верстатних роботизованих комплексів.
23. Павленко, І. І., & Мажара, В. А. (2006). Конструктивно–кінематична структура двозахватних пристроїв промислових роботів.
24. Павленко, І., & Мажара, В. (2006). Теоретичні основи аналізу кількості виконань двозахватних промислових роботів. Вісник Тернопільського державного технічного університету, 11(3), 53-58.
25. Мажара, В. А., Годунко, М. О., Кислун, О. А., & Ковальчук, Є. В. (2014). Визначення кутів повороту ведучих ланок адаптивного захватного пристрою.
26. Годунко, М. О., Кислун, О. А., Мажара, В. А., Щербина, В. К., Кравченко, Р. А., & Ключкін, В. В. (2023). Розробка методики силового розрахунку вертикально орієнтованого захватного пристрою.
27. Pidgaetskyi M.M., Shcherbyna K.K., Mazhara V.A., Dyachenko T.V. Dynamic analysis of the traditional final link of the honing head. All-state interdepartmental scientific and technical collection. Design, production and operation of agricultural machines. Kirovohrad: KNTU, 2019. Issue 49. P.194-200.
28. Павленко, І. І., & Мажара, В. А. (2006). Конструктивна структура двозахватних пристроїв промислових робіт.

- 29.Павленко, І. І., Мажара, В. А., & Mazhara, V. (2011). Дослідження варіантів двозахватних пристроїв промислових роботів методом розстановки пріоритетів.
- 30.Щербина К., Заїка А., Заїка С., Мажара В., Скібінський Я. Управління точністю нарізання черв'ячних коліс збірними черв'ячними фрезами з поділенням на дві частини профілем інструментальної рейки // Вісник Хмельницького національного університету : Технічні науки. - Хмельницький: ХНУ, 2025. - №2 (349). - С.364-370.
- 31.Лисенко О. В. Динамічна модель технологічної оброблювальної системи точіння з урахуванням компенсуючого пристрою //Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – 2011. – №. 24 (2). – С. 131-136.
- 32.Skibinskyi, O. I. A Novel Design of Cutting Tool for Efficient Finishing of G-Rotors / O. I. Skibinskyi, A. O. Hnatiuk // Advances in Gear Theory and Gear Cutting Tool Design / [editors : S. P. Radzevich, M. Storchak]. – Cham, Switzerland: Springer, 2022. – P. 181-203.
- 33.Кириченко А.М. Українська мова як мова науки (у контексті концептуальної картини світу) / А.М. Кириченко, З.В.. Стежко // Наука та наукознавство. – Київ, 2024. – Вип. 4 (126). – С. 40-50.
- 34.Щербина К., Мажара В., Торчілов Д., Заїка А., Масляніков В. Дослідження повздовжньої сталості пружно-гвинтового хону з гвинтовими канавками // Вісник Хмельницького національного університету : Технічні науки. - Хмельницький: ХНУ, 2025. - №2 (349). - С.493-499.
- 35.Mazhara, V., & Shcherbyna, K. Exploring the possibilities of using an adaptive gripping device.