Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет
Кафедра «Машинобудування, мехатроніки і робототехніки»

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної роботи

для освітнього ступеня «МАГІСТР»

за спеціальністю 131 «Прикладна механіка»

на тему:

Дослідження сил затиску в захватному пристрої робота при виготовленні деталі Вал

Investigation of clamping forces in a robot gripper during the manufacture of a shaft part

Виконавець: ст. гр. ПМ-22М-3
_____ Антон ТАТАРЧЕНКО
Керівник: к.т.н., доцент
_____ Максим ГОДУНКО
Рецензент: к.т.н., доцент
_____ Дмитро БОГАТИРЬОВ
Завідувач кафедри ММР
_____ Андрій ГРЕЧКА

Кропивницький – 2024

АНОТАЦІЯ

на випускну кваліфікаційну роботу здобувача гр. ПМ-22М-3

Татарченка Антона Сергійовича

Кваліфікаційна робота на тему: “Дослідження сил затиску в захватному пристрої робота при виготовленні деталі Вал” містить 100 сторінок та 10 листів графічного матеріалу.

У представленій роботі проаналізовано та обгрунтовано актуальну задачу, яка стосується промислових роботів. Поставленою задачею є розробка методики силового розрахунку захватного пристрою промислового робота та дослідження впливу чинників, які мають місце в роботі пристрою. Визначено мету роботи та поставлено завдання.

Як перший крок, було розроблено технологію виготовлення обраної деталі Вал, запропоновано компоновку роботизованого токарного комплексу для використання його на токарній операції, обрано промислового робота для обслуговування основного технологічного обладнання.

У якості другого кроку було обгрунтування поставленої задачі, визначення умов при яких функціонує захватний пристрій робота, складено розрахункову схему для визначення сил затиску при горизонтальній орієнтації захватного пристрою. Вибрані умови відповідають розташуванню робота на підлозі та особливостям встановлення і зняття деталі на верстаті.

Отримані результати проаналізовано, побудовано графіки впливу визначених факторів на сили затиску та надано відповідні рекомендації.

Проведено економічні розрахунки, де зроблено порівняння базового робота із захватним пристроєм та робота оснащеного модернізованим захватним пристроєм. Річний економічний ефект склав 19650 грн.

Ключові слова: сили затиску, промислові роботи, роботизовані комплекси

ABSTRACT

for the final qualifying work of the applicant gr. PM-22M-3

Anton Serhiyovych Tatarchenko

The qualification work on the topic: "Investigation of clamping forces in a robot gripper during the manufacture of a shaft part" contains 100 pages and 10 sheets of graphic material.

The presented work analyzes and substantiates the current problem related to industrial robots. The task is to develop a method of force calculation of the gripping device of an industrial robot and to study the influence of factors that take place in the operation of the device. The purpose of the work is determined and the task is set.

As a first step, the manufacturing technology of the selected part of the shaft was developed, the layout of the robotic lathe complex was proposed for its use in the turning operation, and an industrial robot was chosen to service the main technological equipment.

As a second step, there was a justification of the task, determination of the conditions under which the gripping device of the robot functions, a calculation scheme was drawn up for determining the clamping forces in the horizontal orientation of the gripping device. The selected conditions correspond to the location of the robot on the floor and the features of installing and removing the part on the machine.

The obtained results were analyzed, graphs of the influence of certain factors on clamping forces were drawn, and appropriate recommendations were given.

Economic calculations were carried out, comparing a basic robot with a gripping device and a robot equipped with a modernized gripping device. The annual economic effect was UAH 19,650.

Key words: clamping forces, industrial robots, robotic complexes

Зміст

	Вступ	5
1.	**Загальна частина**	
	1.1. Постановка задачі та методи її вирішення	6
	1.2. Особливості впровадження промислових роботів у автоматизоване виробництво	8
2.	**Технологічна частина**	
	2.1. Характеристика вузла та деталі, обраної для проектування технологічного процесу	15
	2.2. Аналіз точності та технологічності заданих деталей	16
	2.3. Аналіз діючого технологічного процесу	19
	2.4. Вибір заготовок та способу їх виготовлення	20
	2.5. Вибір методів обробки поверхонь	22
	2.6. Розробка маршрутів виготовлення деталей	24
	2.7. Вибір технологічних баз	25
	2.8. Розробка структури та змісту технологічних операцій, вибір металорізальних верстатів для їх здійснення	25
	2.9. Вибір затискних пристроїв	44
	2.10. Вибір різальних інструментів	45
	2.11. Вибір вимірювальних пристроїв та інструментів	46
	2.12. Визначення припусків та операційних розмірів деталей	48
	2.13. Визначення режимів різання	52
	2.14. Технічне нормування операцій	58
3.	**Наукова частина**	
	3.1. Розрахунок горизонтально розміщеного захвата при дії сили інерції вниз	61
	3.2. Розрахунок горизонтально розміщеного захвата при дії сили інерції в напрямку сили деталі	64
	3.3. Розрахунок горизонтально розміщеного захвата при дії сили інерції вниз (заготовка розміщена вертикально)	78
4.	**Економічна частина**	
	4.1. Загальні вихідні дані	90
	4.2. Визначення експлуатаційних витрат (собівартості обробки)	91
	4.3. Розрахунок показників економічної ефективності	96
	Література	99

Вступ

Впровадження промислових роботів у виробництво дає безліч переваг по продуктивності, точності, терміну окупності та ін. Дана робота присвячена дослідженню використання промислових роботів у технологічному процесі виготовлення деталей типу тіло обертання. В свою чергу при затиску деталей роботом виникають також важливі проблеми, які впливають на якість маніпулювання роботом деталей. Актуальним питанням серед існуючих є розрахунок сил затиску деталей захватним пристроєм робота та реалізація необхідних показників при проектуванні захватних пристроїв, або у процесі роботи самого робота.

При затиску деталі захватом робота на неї діють певні сили, такі як сила тяжіння, сила інерції, що виникає при переміщенні захвата, сили затиску, які саме і утримують деталь, сили тертя, що виникають в точках контакту деталі і призм захвата при руху робота. Велике значення має вага деталі, що переміщується роботом, адже вона визначає сили затиску, які її утримують. В свою чергу, сили затиску створюються в наслідок роботи привода захвата. Тому можна сказати, що між вагою деталі, яку переміщує робот і діаметром циліндра захвата існує залежність. Для встановлення даноі залежності розглянемо зміну сил, що діють на деталь при переміщенні захвата із деталлю в різних напрямках і при різному розташуванні самого захвата. Тобто розрахуємо сили затиску кожного варіанта, що розглядається, від яких безпосередньо перейдемо до визначення діаметра циліндра захвата. Важливо також встановити залежність розмірів захвату від зміни вантажності робота та обгрунтувати градації захватних пристроїв робота при модульному їх виконанні.

1. Загальна частина

1.1. Постановка задачі та методи її вирішення

Мета роботи

Дана кваліфікаційна робота має за мету дослідження силових характеристик захоплювальних пристроїв промислових роботів, врахування необхідних чинників впливу та виведення формул для розрахунку сил затиску деталі, а також побудова залежностей конструктивних характеристик захвату на його сили затиску.

Актуальність теми

Функцією промислових роботів у автоматизованому виробництві є виконання обслуговування основного технологічного обладнання. У процесі маніпулювання деталями виробництва важливою функціональною складовою є надійний затиск деталі при її знятті, встановленні, зєднанні чи запресовуванні. Надійний затиск має виконуватися при різних режимах роботи захватного пристрою робота. Серед таких режимів можна виділити різну орієнтацію самого захватного пристрою у просторі, максимально доцільні значення прискорення та гальмування, зберігання точностних характеристик, створення мінімально необхідних силових навантажень на захватний пристрій та конструкцію самого робота.

Враховуючи ці всі умови, необхідно витримувати потрібну якість виконання операцій, мінімальні енергетичні потреби та дотримуватися необхідних вимог по безпеці виконання операцій.

Крім основних задач, що ставляться до захватних пристроїв, бажано при проектуванні конструкцій враховувати універсальність пристрою. Це коли є можливість маніпулювати різні деталі зі зміною їх форми та розмірів, працювати з різним обладнанням та пристроями.

Отже, силові та функціональні дослідження захватних пристроїв є достатньо важливими. Тому в роботі і була поставлена задача дослідження силових характеристик захватів та створення методики силових розрахунків з урахуванням вище розглянутих умов.

Об'єкт дослідження

Роботизовані токарні комплекси (РТК) з промисловими роботами та їх захватними пристроями.

Предмет дослідження

Захватні пристрої промислових роботів та їх силові характеристики, необхідні для утримування деталей типу тіл обертання з достатньо високою точністю та мінімальними масо-габаритними параметрами.

Мета роботи

Розробка методики силового розрахунку захватного пристрою промислового робота, встановленого на полу біля токарного верстата, із врахуванням особливостей функціонування зазначених пристроїв. Також визначення впливу на сили затиску конструктивних параметрів захватного пристрою та побудова залежностей сил від усіх визначених чинників впливу.

Завдання

1. Розробити компоновку роботизованого верстатного комплексу для виконання токарної операції.

2. Визначити чинники, які впливають на сили затиску, враховуючи особливості функціонування промислового робота та його захватного пристрою у РТК.

3. Побудувати розрахункові схеми для проведення силового розрахунку.

4. Вивести рівняння для визначення мінімально необхідних сил затиску та утримування деталі при горизонтальному розташуванні пристрою.

3. Побудувати залежності сил затиску від конструктивних особливостей захватного пристрою та функціональних чинників.

4. Надати відповідні висновки та рекомендації.

Методи дослідження

Поставлені завдання вирішуються із застосуванням методів теоретичної і прикладної механіки, теорії робототехнічних систем, обчислювальної математики і систем управління.

Наукова новизна

В роботі досліджено особливості функціонування захватних пристроїв роботів із врахуванням чинників, які впливають на сили затиску деталі. На основі проведених досліджень обґрунтовано підходи для визначення сил затиску з врахуванням максимальної кількості умов виконання затиску деталі роботом та виведено рівняння для визначення мінімально-необхідних сил затиску деталі і побудовано відповідні залежності.

Достовірність результатів

Основні наукові результати кваліфікаційної роботи отримані на основі фундаментальних положень і методів теоретичної механіки, динаміки машин, експериментальних методів дослідження.

Практична цінність

Запропонована методика силового розрахунку затиску деталей, які маніпулюються захватним пристроєм робота при виконанні обслуговування верстатів, з визначеними характеристиками та побудовано залежності сил затиску деталі від конструктивних параметрів захвату, а також надано відповідні рекомендації для конструювання даних пристроїв роботів і їх використання на виробництві.

Апробація кваліфікаційної роботи

Основні положення роботи докладалися на: студентсько-викладацькій науковій конференції ЦНТУ.

1.2. Особливості впровадження промислових роботів у автоматизоване виробництво

Основою автоматизації виробництва є технологічні процеси, задача яких забезпечувати високу продуктивність, надійність, якість та ефективність виготовлення виробів. Враховуючи приведені характеристики, великого значення набувають прогресивні високопродуктивні методи обробки і збірки, що використовуються при проектуванні автоматизованих технологічних процесів.

Існує два принципово різних способи завантаження-розвантаження заготовок на верстатах гнучких виробничих систем: перший варіант - зміна із

застосуванням промислового робота, другий варіант - зміна заготовки разом із пристосуванням-супутником (палетою).

Якщо використовувати промислові роботи для обслуговування верстатів, то їх у свою чергу також можна розташовувати на підлозі, безпосередньо на верстаті та портально. Найбільш розповсюдженим варіантом є підлогове розташування робота (рис.1.1):

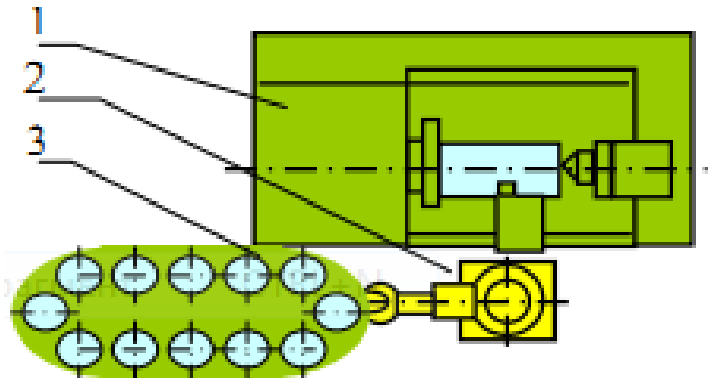
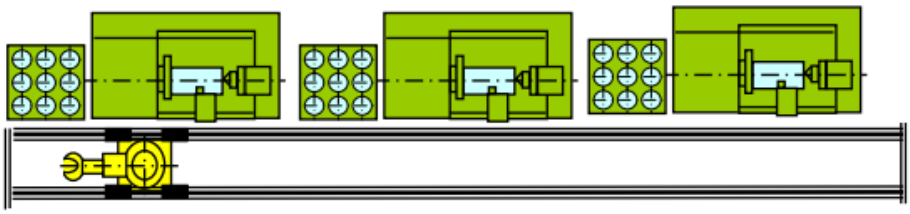
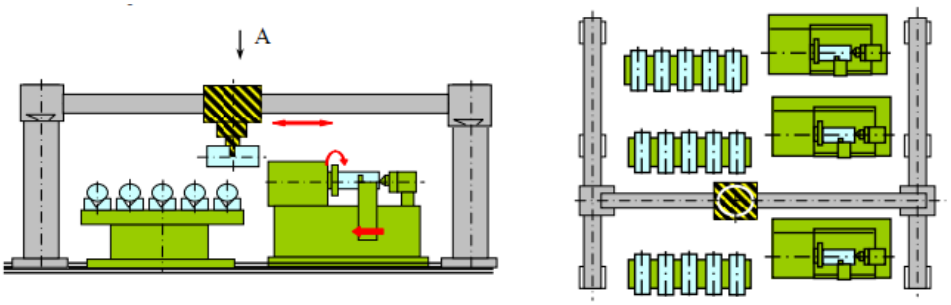


Рис.1.1. Роботизований технологічний комплекс: 1 - верстат з ЧПУ; 2 – промисловий робот; 3 – тактовий стіл накопичувач

Перший спосіб використовується при виготовленні деталей типу тіл обертання в токарних гнучких виробничих системах. Заготовки до верстата транспортуються поштучно або в тарі, а потім промисловим роботом поштучно замінюються в зоні різання. Крім тактового столу можуть використовуватися й інші допоміжні пристрої (лотки, конвеєри та ін). Промисловістю також випускаються токарні верстати з ЧПУ із вбудованими промисловими роботами і накопичувачем заготовок. Подібні роботизовані технологічні комплекси здатні працювати в автономному режимі протягом певного часу, на який розрахований запас заготовок в накопичувачі, також можуть використовуватися як виробничий модуль у складі гнучкої виробничої системи. При створенні гнучких виробничих систем промисловий робот портального або підлогового виконання може обслуговувати декілька верстатів, здійснюючи зміну заготовок в робочих зонах з приверстатних накопичувачів, як це показано на рис.1.2 а, б.



а)



б)

Рис.1.2. Гнучкі виробничі системи із токарних верстатів, що обслуговується промисловим роботом: а – підлогове виконання; б – портальне виконання

Промислові роботи є універсальним засобом автоматизації виробничих процесів в умовах великої номенклатури і частої зміни предметів виробництва. Промисловий робот це перепрограмована автоматична машина, здатна виконувати аналогічні людині рухові функції по маніпулюванню предметів виробництва або технологічного оснащення. Якщо робот має 2-3 ступені рухомості, то його називають автооператором, - це простий перепрограмований автоматичний маніпулятор, який призначений для виконання однієї заданої операції.

У технологічній частині буде запропоновано використати промислового робота для обслуговування саме токарного верстату з ЧПУ. Тому надалі розглядаємо особливості функціонування напільного робота у складі роботизованого токарного комплексу з верстатом HAAS SL-20. На основі обраних умов визначимо доцільні варіанти для обслуговування токарного верстату. Вирішення поставленої задачі починається з визначення контурів токарного верстату, в якому встановлюється положення оброблюваної деталі в основній позиції роботизованого комплексу (патроні, центрах і т.д.). Потім аналізуються можливі варіанти захвату оброблюваної деталі та прийнятні для

цього схеми захватних пристроїв роботів. Для циліндричних деталей невеликої ваги доцільна схема, що показана на рис.1.3:

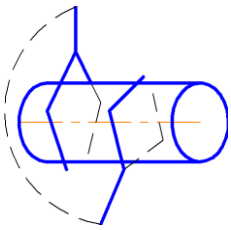


Рис.1.3. Схема захоплювання деталі невеликої ваги

Трапляються також випадки, коли можуть мати місце багатоваріантне виконання по формі затискних важелів, виду їх рухів, кількості точок контакту важелів з деталлю тощо. Для деталей великої довжини більш доцільні варіанти захоплення з двома парами затискних губок, як показано на рис.1.4:

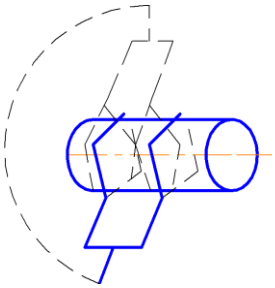


Рис.1.4. Схема захоплювання деталі великої довжини

Також на виробництві можуть бути пустотілі деталі, то в таких випадках захоплення проводиться по внутрішній поверхні, або з контролем сил затиску у захватному пристрої (рис.1.5). На схемах пунктиром відзначено діапазон можливих положень кінцевої ланки, яка утримує захват.

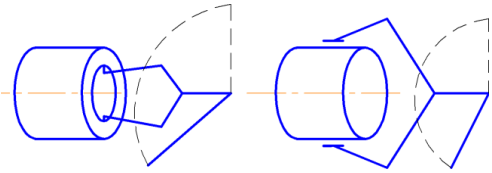


Рис.1.5. Схема захоплювання пустотілої деталі

Наступним етапом буде визначення варіантів руху захвату з останньою ланкою для підходу (відходу) до основної (від основної) позиції верстата. Для більш повного визначення цих рухів їх потрібно розглядати в два етапи: без деталі і з деталлю. Спочатку розглядається рух захвату від деталі, встановленої в позицію верстата (рис.1.6).

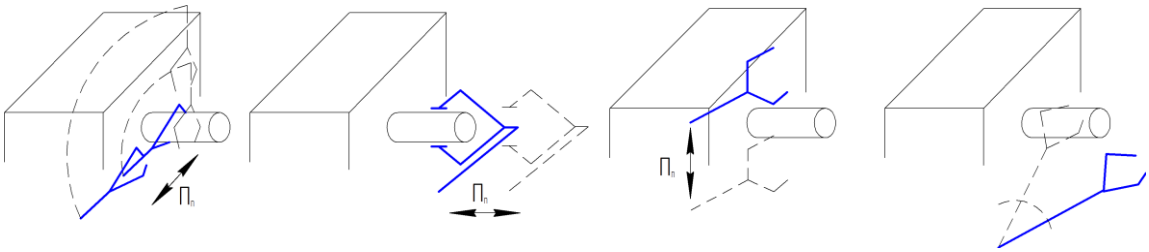


Рис.1.6. Схеми варіантів встановлення та зняття деталі на верстаті

Найбільш поширеною є схема з поступальним рухом захвату перпендикулярно вісі деталі. Цей варіант потребує невеликої величини переміщення для його здійснення з мінімально необхідним простором в робочій зоні верстата при руху захвату на основну позицію. Така схема руху також доцільна для захватів з двома парами затискних губок. Схема з поступальним рухом захвату співвісним вісі деталей використовується для захватних пристроїв роботів, які оперують з короткими деталями. Цей варіант можливий і для довгих деталей, але потребує більших витрат часу, так як при цьому необхідно спочатку виконати рухи для виходу на вісь деталі, а потім рух вздовж вісі деталі на кінцеву точку. Варіант з дотичним поступальним рухом відносно деталі потребує великого розкриття затискних губок, а ланки робота, які несуть захват, займають значний простір в зоні верстата. Все це робить такий варіант малодоцільним.

Далі складемо кінематичну схему промислового робота з напрямками рухів його ланок (кінематичних пар 5 класу), що і буде підгрунтям подальшого виконання роботи як у технологічній частині, так і в дослідній (рис.1.7).

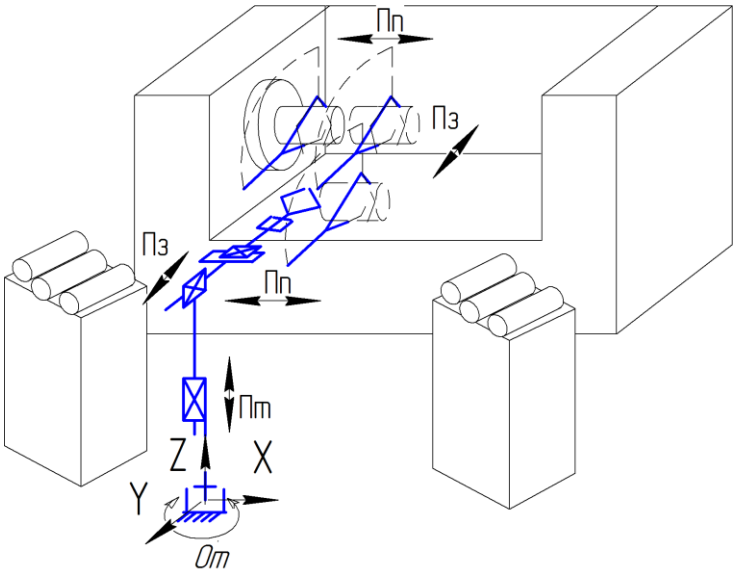


Рис.1.7. Кінематична схема робота із напрямками рухів його ланок

Основною вимогою до захватного пристрою є надійне утримування об’єкту маніпулювання при його мінімальних масово-габаритних параметрах. Дане питання є актуальним та доволі складним, так як при його вирішенні маємо справу із великою кількістю невідомих в рівняннях, що приводить до їх невирішуваності. Тому доводиться приймати деякі обґрунтовані умови для знаходження сил, які діють на об’єкт, що утримується захватом, на всіх етапах маніпулювання з ним.

Серед чинників, які впливають на сили затиску виділимо такі, як сила ваги деталі G , сила інерції I, сили тертя F. Сила інерції I виникає під час прискорення або гальмування захвата, і може бути спрямована вздовж осей при горизонтальному та вертикальному переміщенні захвата (при $\beta=0^\circ$ і $\beta=180^\circ$ рух захвата здійснюється вертикально, при $\beta=90^\circ$ і $\beta=270^\circ$- горизонтально), або під довільним кутом, що має місце при одночасному переміщенні захвата по двох координатах.

В результаті дії вхідних сил ваги G і інерції I на робочих елементах призматичного захватного пристрою утворюються реакції з боку елементів затиску (замикаючі сили) та сили тертя. Як відмічалось, надійне утримування об’єкту відбувається за рахунок сил тертя або комбінації сил тертя і замикаючих сил в залежності від схеми утримування об’єкту. Ця умова виконується, коли вхідні сили (сила ваги G і сила інерції I, що виникає під час прискорення та гальмування) врівноважуються відповідними реакціями з боку затискних елементів захватного пристрою та сил тертя. Таким чином для призматичного захватного пристрою маємо чотири сили, що характеризують сили затиску відповідних робочих елементів призм P_1, P_2, P_3, P_4 та відповідні їм сили тертя F_1, F_2, F_3, F_4.

Сили тертя визначаються як:

$$F_i = P_i \cdot f$$

де f - коефіцієнт тертя.

Намагання визначити сили затиску відповідних робочих елементів за рівняннями рівноваги показує, що задача є статично невизначеною. Тому при

розв'язанні цієї задачі приймаємо ряд припущень, основним з яких є визначення мінімально необхідних сил затиску. Простими словами, це сили які необхідні в даний момент і відповідають умовам, що відображені на розрахунковій схемі (рис.1.8).

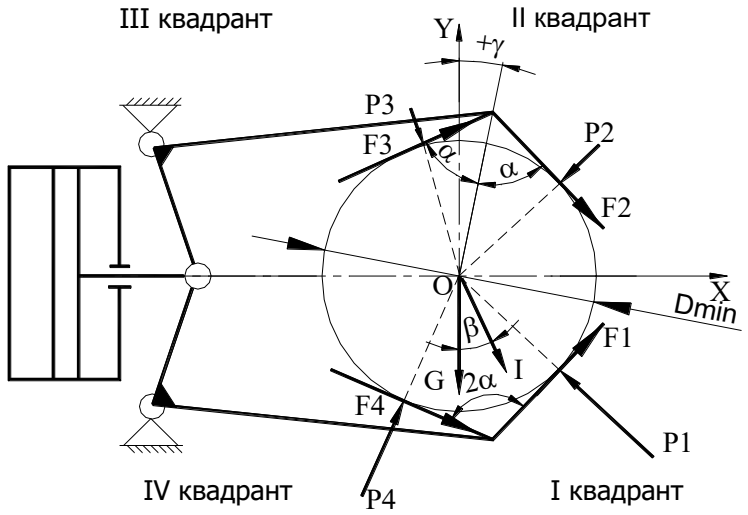


Рис.1.8. Схема розташування сил для горизонтально орієнтованого захватного пристрою

Подібна розрахункова схема дає можливість скласти рівняння рівноваги сил, кількість яких буде відповідати кількості невідомих. При цьому в рівняннях суми проекцій сил на відповідні вісі розглядаються тільки ті сили, що створюються на робочих елементах затискного пристрою, в бік яких спрямована проекція рівнодіючої вхідних сил на цю ж вісь.

Як зазначалося вище, затиск деталі забезпечується не тільки завдяки силам затиску, а і силам тертя. Тому в представлених далі розрахунках приймаємо до уваги ті сили тертя, які протидіють висковзуванню об'єкту маніпулювання із захватного пристрою.

Отже у наступних розділах пропонується розробити технологію виготовлення обраної деталі із використанням промислового робота на токарній операції. У науковій частині дослідити процес затиску деталі захватом робота з розробкою методики визначення сил затиску, вивести рівняння визначення даних сил та побудувати залежності сил від чинників, що на них впливають.

2. Технологічна частина

2.1. Характеристика вузла та деталі, обраної для проектування технологічного процесу

Деталь, обрана для кваліфікаційної роботи, входить до складу рульового механізму сільськогосподарських передньоприводних машин. Рульовий механізм перетворює обертання рульового колеса на поступальне переміщення тяг привода, які повертають керовані колеса та забезпечують цим поворот на заданий кут. Цей механізм, як правило, об'єднує в одному агрегаті такі механізми та деталі: гідро підсилювач, картер, глобоїдний черв'як, підшипники, сальники, рульова колонка, рульове колесо, карданний вал, корпус золотників та інші. Зазначені вузли та деталі конструктивно розміщуються та закріплюються на лонжероні та рамі машини. Обертання від рульового колеса через вал руля, карданну передачу, втулку шліцьову та маточину передається на глобоїдний черв'як і далі на трьохгребневий ролик закріплені в рульовому механізмі, а потім через рульові тяги на колеса.

У технології базового підприємства деталь позначена як Стержень шліцьовий УЯИШ 715413.002 і відноситься до деталей класу „вали" і призначений для передачі крутного моменту з карданного шарніру рульового валу, через палець який обертається в бронзових втулках, на вхідний вал рульового механізму. Деталь має просту конструктивну форму з перепадом діаметральних розмірів від Ø45 до Ø24 мм, тому заготовкою деталі є поковка. Дві поверхні: циліндрична Ø45 та шліцьова Ø44 є основними складальними базами. На циліндричну шийку Ø45 встановлюється підшипник і по цій поверхні деталь базується в корпусі, а на шліцьову поверхнею деталі встановлюється шліцьова втулка. По поверхні Ø32 розташовується ущільнювач який, враховуючи розташування цієї поверхні на стержні, закривається кришкою з двох частин. На різьбову поверхню М24х1,5 нагвинчується корончата гайка, яка фіксує на стержні шліцьовому втулку. Для запобіганню само згвинчуванню гайки на різьбовій поверхні передбачено отвір Ø4 мм для встановлення шплінта. В два отвори Ø24мм встановлюються дві бронзові втулки, які виконують роль підшипників скольження. В підшипниках вільно обертається палець, на який і

передається крутний момент від карданного шарніру. В торці стержня виконано різьбовий отвір М8х1 для встановлення змащувача. Аналізуючи креслення деталі можна відмітити, що всі розміри задані коректно та в достатній кількості і їх постановка виконана комбінованим способом. Враховуючи умови в яких працює стержень шліцьовий твердість основних робочих поверхонь повинна становити 230 - 286 НВ.

2.2. Аналіз точності та технологічності заданих деталей

Аналіз точності параметрів заданих деталей виконується з метою їх оцінки вимогам механічної обробки та відповідності діючим стандартам і службовому призначенню. Точність механічної обробки характеризується параметрами точності розмірів, геометричної форми та відносних поворотів поверхонь деталі, а також їх шорсткістю. Параметри точності визначаються відхиленням дійсних розмірів поверхонь деталі від заданих робочим кресленням. З метою виконання аналізу точності деталей необхідно виконати ескізи деталей з нумерацією всіх оброблюємих поверхонь, а висновки по точності параметрів занести в таблиці.

Таблиця 1.

Характеристика параметрів точності поверхонь деталі стержень шліцьовий

Номер поверх-ні	Найменування поверхні	Розмір з відхиленням, мм	Квалітет точності	Точність		Шорст-кість, Ra
				відносних поворотів	фор-ми	
1	2	3	4	5	6	7
1,9	Торець	$322\pm_{0,75}$	$\pm\frac{IT14}{2}$	-	-	12,5
2,14	Площина	$34_{-0,1}$	h10		-	6,3
3	Циліндрична поверхня	$Ø45_{-0,62}$	h14	-	-	12,5
4,15	Канавка	$Ø41_{-0,62}$ $2,5^{+0,3}$	h14	-	-	12,5
5	Цапфа	$Ø45^{+0,018}{}_{+0,002}$	к6	↗ 0,05 Г	-	0,8
6	Торець	$60\pm_{0,37}$	$\pm\frac{IT14}{2}$	-	-	12,5

Продовження таблиці 1.

1	2	3	4	5	6	7
7	Шліцьова поверхня	$Ø44^{-0,03}_{-0,069}$ $Ø36,6_{-1,6}$ $Ø6\pm0,001$	e8 h14	↗ 0,05 Г	-	1,6
8	Різьбова поверхня	M24x1,5	6g	-	-	3,2
10	Отвір	$Ø4^{+0,2}$	H12	-	-	6,3
11	Отвір	$Ø17^{+0,24}$	H14	-	-	12,5
12	Отвір	$Ø24^{+0,021}$ $12^{+0,5}$	H7		-	1,6
13	Різьбовий отвір	M10x1	7H	-	-	3,2
15, 16	Лиска	$30_{-0,4}$	h14	-	-	12,5
17	Шийка	$Ø32_{-0,1}$	h10	-	-	1,6

Аналізуючи параметри точності деталі стержень шліцьовий можна відмітити, що розміри всіх поверхонь задано коректно та в достатній кількості. Точність розмірів та шорсткість поверхонь технологічно взаємозв'язані. Більшість розмірів деталі задані по 14 квалітету точності, два по 6 і 8 квалітетах точності, що відповідає службовому призначенню цих поверхонь. Так на поверхню 5 встановлюється підшипник і ця поверхня є базовою при складанні збірної одиниці тому і шорсткість цієї поверхні становить Ra 0,8 , а також допуск радіального биття відносно вісі деталі не повинен перевищувати 0,05 мм. Так як одними з основних робочих поверхонь стержня є шліцьова (7) та два отвори (12) поверхні то точність їх розмірів задана, відповідно, по 8 і 7 квалітету з шорсткістю Ra 1,6 тому, що поверхнею 2 стержень входить в отвір шліцьової втулки, а в два отвори, по посадці з натягом, встановлюються бронзові втулки, і не співвісність цих двох отворів відносно загальної вісі не більше 0,08мм.

Точність розміру двох площин, поверхні 2, 14, задано по 10 квалітету, з шорсткістю Ra 6,3 і непаралельність цих двох поверхонь не більше 0,1мм – відносно цих двох поверхонь обертається вилка кардана.

Враховуючи, що деталь буде оброблюватись на верстаті з ЧПУ то є необхідність виконати технологічну переробку креслення деталі з постановкою всіх розмірів від однієї бази – нульової точки деталі.

На характер технологічних процесів обробки деталі впливає технологічність її конструкцій. Технологічність конструкції деталі повинна забезпечити широке застосування стандартних інструментів та пристроїв, вимагати мінімального об'єму механічної обробки, зменшення кількості технологічних операцій, переходів.

Обрана деталь відноситься до технологічного класу „тіл обертання". З точки зору механічної обробки деталь технологічна. Вона має досить просту форму, зручні базові поверхні (центрові отвори), а також вільний доступ різального і вимірювального інструментів до кожної поверхні, що оброблюється. Конструкція деталі дозволяє при токарній обробці поверхонь використовувати високопродуктивний токарний верстат з ЧПК, це дасть можливість обробити всі поверхні за одну установку використовуючи як праві так і ліві різці. Стержень відноситься до не жорстких деталей, тому що відношення L/D=322/28=11,5 що більше 10 і ця обставина є негативною, але так як поверхня Ø28 не підлягає механічній обробці, а точіння виконується на відстані 55 і 82 мм від двох опор (переднього та заднього центрів), то під час виконання токарної обробки цю обставину не слід враховувати при виборі режимів різання. Точність поверхонь та шорсткість технологічно взаємозв'язані, за виключенням Ø32 – точність розміру задано по 10 квалітету, а шорсткість Ra1,6, це пояснюється тим, що по цій поверхні працює ущільнювач. В конструкції деталі передбачено технологічну канавку для виходу різального інструменту при кінцевій обробці поверхні Ø45к6. Але на поверхні М24х1,5 технологічна канавка відсутня, це пояснюється необхідністю підвищити міцність стержня.

До нетехнологічних поверхонь слід віднести шліцьову: отримання шліцьової поверхні виконується малопродуктивним методом.

2.3. Аналіз діючого технологічного процесу

Аналіз виконується з метою виявлення його відповідності вимогам сучасної технології машинобудування, визначення відхилень та недоліків, а також розробці рекомендацій по їх реалізації. Аналізуючи базові технологічні процеси заданих деталей можна відмітити, що вони забезпечують виготовлення деталей в повній відповідності з заданими вимогами, що до точності, продуктивності та собівартості. До недоліків базових технологічних процесів у більшості випадків слід віднести те, що в них використовуються застарілі верстати з ЧПК і універсальні верстати, що не відповідає вимогам сучасної технології виробництва деталей і не дозволяє забезпечити високу продуктивність та точність механічної обробки.

Базовий технологічний процес механічної обробки валу складається з 12 операцій механічної обробки, при виконанні яких використовуються верстати напівавтомати, універсальні та з ЧПК. На першій операції – фрезерно-центрувальній на н/а МР-71М оброблюються технологічні бази для наступних операцій. При чорновій та чистовій токарній обробці зовнішніх циліндричних поверхонь використовуються токарні верстати з ЧПК 16К20Ф3. Фрезерування двох площин виконується на вертикально-фрезерному верстаті 6Р10. На свердлильних верстатах 2Н135, 2Н125 та 2Р125Ф2 оброблюються отвори та нарізається різьба. І при кінцевій обробці шліфувальні верстати 3М151. Таким чином при обробці деталь постійно переустановлюється, що впливає на точність обробки та точність взаємного розташування поверхонь.

Пропонується в базовий технологічний процес внести ряд змін: скоротити кількість операцій механічної обробки за рахунок більш широкого використання сучасних верстатів з ЧПК. Токарну обробку всіх поверхонь та нарізання різьби виконати на одній операції використав токарний верстат класу HAAS SL-20. Фрезерування площин та обробку трьох отворів виконати на двох операціях – фрезерних з ЧПК, а при шліфуванні використати шліфувальний верстат з ЧПК 3М151Ф2 це дозволить скоротити кількість операцій до 8, скоротити виробничу

площу, зменшити кількість транспортних операцій, зменшити кількість робітників і підвищити точність обробки.

Також планується використати напольний промисловий робот KUKA KR16 для обслуговування верстатів у даному технологічному процесі для підвищення продуктивності та гнучкості виробництва.

2.4. Вибір заготовок та способу їх виготовлення

Аналіз службового призначення заданих деталей, а також умов їх експлуатації і конструктивних форм визначають матеріал для їх виготовлення. Згідно з вихідними даними базових технологічних процесів та практичного досвіду проектування і експлуатації сільськогосподарських машин, для виготовлення стержня шліцьового використати леговану конструкційну сталь 40ХНА ГОСТ 4543-71 характеристику хімічного складу та механічних властивостей матеріалів наведені в таблицях.

Таблиця 2.

Хімічний склад матеріалу, %

Марка матеріалу	Вміст елементу в %							
	C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Mo
Сталь 40ХНА	0,4	0,4	0,7	0,02	0,02	1,8	0,75	0,7

Таблиця 3.

Механічні властивості матеріалу заготовок.

Марка Матеріалу	$\sigma_{T,}$ кг/мм^2	σ_B, кг/мм^2	δ_τ, %	a_H, кг/см^2	HB
Сталь 40ХНА	60	70	23	9	255

Легована конструкційна сталь 40ХН використовується для виготовлення зубчастих коліс, шліцьових валів, шпонок, черв’яків, та інших деталей які працюють при невисоких швидкостях і передають крутний момент та навантажені згинаючими моментами. Буква А в кінці марки вказує, що сталь високоякісна.

Після визначення матеріалів заданих деталей обираємо методи отримання заготовок, що здійснюється з врахуванням їх конструктивних форм, службового призначення та фізико – хімічних властивостей їх матеріалів, а також типу виробництва. На підставі аналізу методу отримання заготовок на базовому підприємстві, а також літературних джерел, що до методів отримання заготовок для виготовлення деталей аналогічних конструктивних форм та призначення обираємо метод отримання заготовок для стержня шліцьового – штамповка на ГКМ.

Визначаємо вартість заготовки для деталі стержень шліцьовий. Розглянемо два методи отримання заготовки: штамповка на ГКМ і прокат. За базовим технологічним процесом заготовка отримується на ГКМ і її вартість визначається:

$$S_{ЗАГ} = (\frac{C_i}{1000} \cdot Q \cdot R_T \cdot R_C \cdot R_B \cdot R_M \cdot R_П) - (Q - q) \cdot \frac{S_{ВІДХ.}}{1000}; грн$$

де: C_i – базова вартість 1т заготовок; R_T; R_C; R_B; R_T; R_M ; $R_П$ – коефіцієнти – від класу точності, групи складності, маси, марки матеріалу і об'єму виробництва; Q – маса заготовки; q – маса деталі.

$$S_{ЗАГ1} = (\frac{5000}{1000} \cdot 2{,}5 \cdot 1 \cdot 0{,}75 \cdot 0{,}87 \cdot 1 \cdot 1) - (2{,}5 - 2{,}2) \cdot \frac{1200}{1000} = 70{,}47 грн$$

Вартість заготовки з прокату:

$$M_{ЗАГ2} = Q \cdot S - (Q - q) \cdot \frac{S_{відх.}}{1000}, грн$$

де: Q – маса заготовки; S – ціна 1кг. матеріалу заготовки; q – маса готової деталі; S – ціна 1т. відходів;

$$M_{ЗАГ2} = 4{,}4 \cdot 3{,}2 - (4{,}4 - 2{,}2) \cdot \frac{1200}{1000} = 110{,}2 грн$$

Порівняння двох методів отримання заготовки показує, що в даному випадку більш доцільною заготовкою для деталі стержень шліцьовий є штамповка на ГКМ.

2.5. Вибір методів обробки поверхонь.

Методи та маршрути обробки поверхонь визначаємо виходячи з вимог, що до точності та якості готової деталі та щоб найкоротшим і най економнішим шляхом забезпечити задані параметри. На підставі розрахунку уточнень визначаємо оптимальний варіант маршрутів обробки поверхонь заданих деталей.

Загальне уточнення:

$$\varepsilon_{ЗАГ} = \frac{\delta_{ЗАГ}}{\delta_{ДЕТ}};$$

де: $\delta_{ЗАГ}$ – допуск заготовки; $\delta_{ДЕТ}$ – допуск деталі.

Фактичне уточнення $\varepsilon_{Ф} = \varepsilon_{Ф1} \cdot \varepsilon_{Ф2} \cdot .... \cdot \varepsilon_{Фn}$;

де: $\varepsilon_{Ф1} = \frac{\delta_{i-1}}{\delta_i}$;

При умові: $\varepsilon_{Ф} \geq \varepsilon_{ЗАГ}$.

Будуємо маршрут обробки для поверхні деталі стержень шліцьовий Ø45к6($^{+0,018}_{+0,002}$).

Маршрут обробки поверхні:

Заготовка – δз = 2,0 мм

1. Точіння чорнове δ_1 = 0,39 мм;
2. Точіння чистове δ_2 = 0,062 мм;
3. Шліфування чорнове δ_3 = 0,039 мм;
4. Шліфування чистове δ_4 = 0,016 мм;

$$E_{заг.} = \frac{\delta_{заг.}}{\delta_{дет.}} = \frac{2,0}{0,016} = 125;$$

$$E_{ф1} = \frac{2,0}{0,39} = 5,1;; \quad E_{Ф2} = \frac{0,39}{0,062} = 6,3; \quad E_{Ф3} = \frac{0,062}{0,039} = 1,6; \quad E_{ф4} = \frac{0,039}{0,016} = 2,44;$$

Еф = 3,58 · 6,3 · 1,6 · 2,44 = 88;

Еф > *Ез*; 88 > 87,5;

Умова виконується. На інші поверхні деталей розрахунки виконуємо аналогічно і результати заносимо в таблицю 7.

Таблиця 4.

Вірогідні маршрути обробки поверхонь заданих деталей.

Позначення поверхні	Допуск на поверхню по кресленню δ, мм	Шорсткість Ra	Допуск на заготовку поверхні, мм	Загальне уточнення	Можливі технологічні маршрути обробки		Технологічні допуски	Розрахункові уточнення	Фактичне уточнення
					Номер маршруту	Зміст маршруту			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1, 9	1,5	12,5	1,5	1	1	Фрезерування	1,5	1	1
					2	Точіння чорнове	1,5	1	1
2, 14	0,1	6,3	0,62	6,2	1	Фрезерування	0,1	6,2	6,2
3	0,62	12,5	2,0	3,2	1	Точіння чорнове	0,62	3,2	3,2
5	0,016	1,6	2,0	12 5	1	Точіння чорнове Точіння чистове Шліф. чорнове Шліф. чистове	0,39 0,062 0,039 0,016	5,1 6,3 1,6 2,44	125
					2	Точіння чорнове Точіння чистове Точіння тонке	0,39 0,039 0,016	5,1 10 2,44	12 5
6	0,74	12,5	1,4	3,1	1	Точіння чорнове	0,74	3,1	3,1
7	0,039	1,6	2,0	51, 2	1	Точіння чорнове Точіння чистове Шліф. чорнове	0,39 0,062 0,039	5,1 6,3 1,6	51,2
8	0,052	3,2	1,4	27	1	Точіння чорнове Точіння чистове Нарізання різьби	0,21 0,052	6,7 4,04	27,1
10	0,2	6,3	-	-	1	Свердління	0,2	-	-
11	0,24	12,5	-	-	1	Свердління	0,24	-	-
12	0,021	1,6	0,24	11,4	1	Розсвердлення Зенкерування Розвірчування	0,084 0,033 0,021	2,9 2,5 1,6	11,6
15, 16	0,4	12,5	0,6 2	1,55	1	Фрезерування	0,4	1,55	1,55

17	0,1	1,6	2,0	20	1	Точіння чорнове Точіння чистове Шліфування	0,39 0,1 0,1	5,1 3,9 1,0	20

2.6 Розробка маршрутів виготовлення деталей

Вибір оптимального варіанту маршрутного технологічного процесу механічної обробки деталі здійснюється на підставі вибраних маршрутів обробки поверхонь, типу виробництва, технологічних можливостей вибраних металорізальних верстатів. При виборі маршрутів обробки слід розроблювати технологічні операції з максимальним суміщенням обробки окремих поверхонь деталей, скорочувати загальну кількість різального інструменту, а також кількість переустановлень деталей та скоротити тривалість циклу обробки.

Стержень шліцьовий УЯИШ 715413.002

005 Фрезерно - центрувальна

Фрезерно – центрувальний н/а МР-71М

Фрезерувати одночасно два торці, свердлувати одночасно два центрових отвори.

010 Токарна з ЧПК.

Токарний з ЧПК HAAS-SL20

Точити послідовно чотири поверхні деталі начорно, точити поверхню начорно з іншої сторони, точити начисто чотири поверхні та чотири фаски, точити послідовно дві канавки, нарізати різьбу.

015 Фрезерна з ЧПК

Фрезерний з ЧПК 6Р13РФ3

Фрезерувати послідовно дві лиски; фрезерувати площину, свердлити отвір, розсвердлити отвір, зенкерувати отвір, розточити фаску, розвернути отвір

020 Фрезерна з ЧПК

Фрезерний з ЧПК 6Р13РФ3

Фрезерувати площину, розсвердлити отвір, зенкерувати отвір, розточити фаску, розвернути отвір, свердлити отвір Ø4

025 Шліцефрезерна

Шліцефрезерний н/а 5350

Фрезерувати шліци

030 Слюсарна

Верстак слюсарний

Зачистити задирки, правити різьбу

035 Шліфувальна з ЧПК.

Шліфувальний з ЧПК 3М151 Ф2

Шліфувати послідовно три поверхні попередньо, шліфувати поверхню цапфи начисто

040 Свердлильна

Вертикально – свердлильний 2Н125

Свердлити отвір в торці, нарізати різьбу

045 Мийна

Машина мийна

Мити деталь

050 Контрольна

Контролювати розміри деталі.

2.7. Вибір технологічних баз.

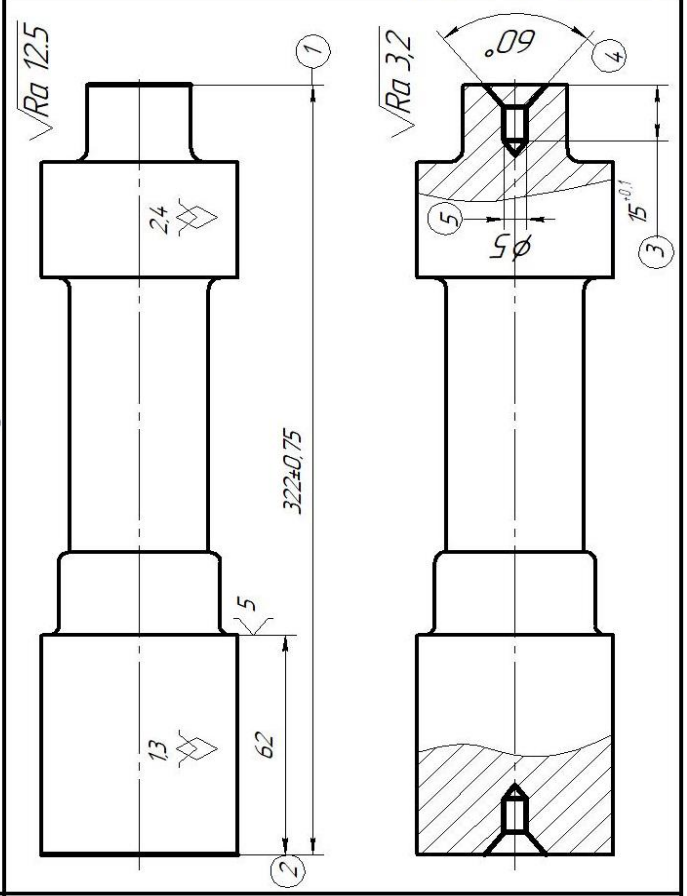
На першій операції механічної обробки деталі технологічними базами являються необроблені поверхні заготовки: дві зовнішні поверхні Ø48 та торець. При токарній обробці деталі, технологічні бази – центрові отвори та торець. На наступних двох операціях фрезерних , технологічні бази це оброблені поверхні деталі Ø45 і Ø40 та торець. На шліцефрезерній та шліфувальних операціях технологічні бази – центрові отвори та торець.

2.8. Розробка структури та змісту технологічних операцій, вибір металорізальних верстатів для їх здійснення

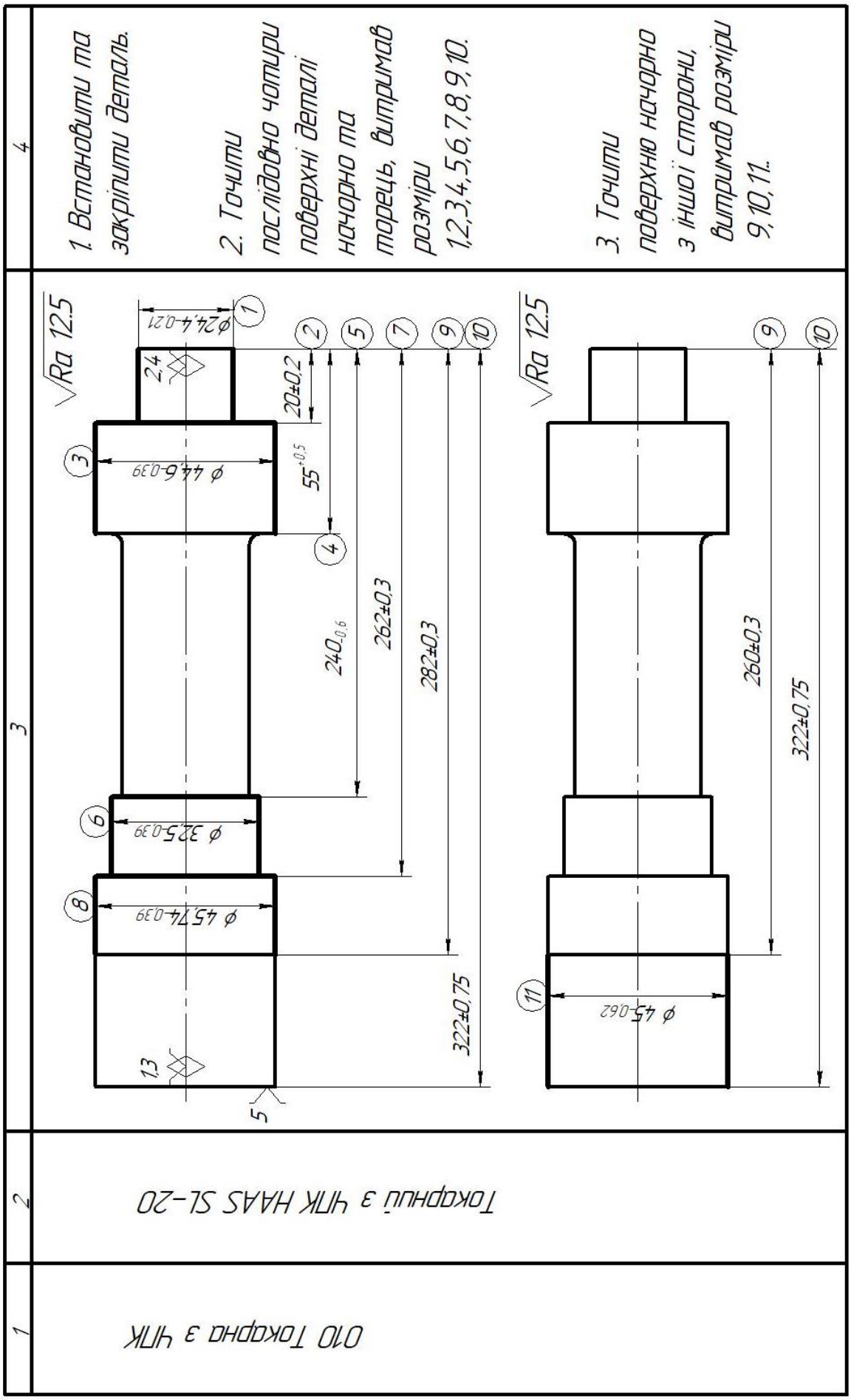
Розробка структури та змісту операцій технологічного процесу механічної обробки заданої деталі виконується по прийнятим методам та маршрутам обробки. Представимо операційні ескізи з позначенням оброблюваних поверхонь та розмірів та зведемо у таблицю 5.

Таблиця 5

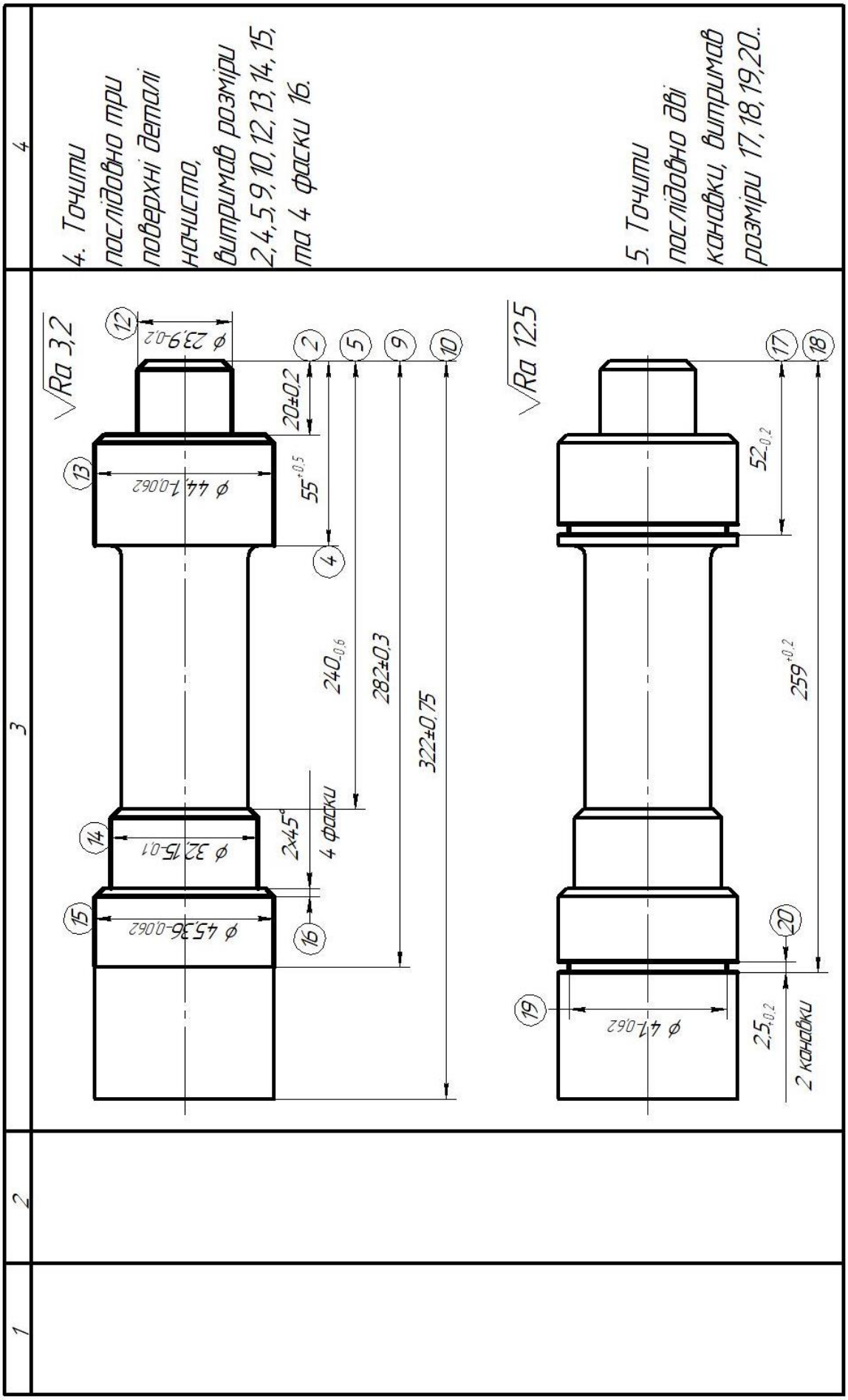
Технологічний операційний процес механічної обробки деталі стержень шліцьовий УЯИШ 7715413.002

Номер та найменування операції	Найменування та модель верстата	Операційний ескіз та схема базування	Зміст операції
1	2	3	4
005 Фрезерно-центрувальна	Фрезерно-центрувальний н/д МР-76		1. Встановити та закріпити деталь. 2. Фрезерувати одночасно два торці, витримавши розмір 1. 3. Сверлити одночасно два центрових отвора, витримав розміри 2,3,4. 4. Зняти деталь.

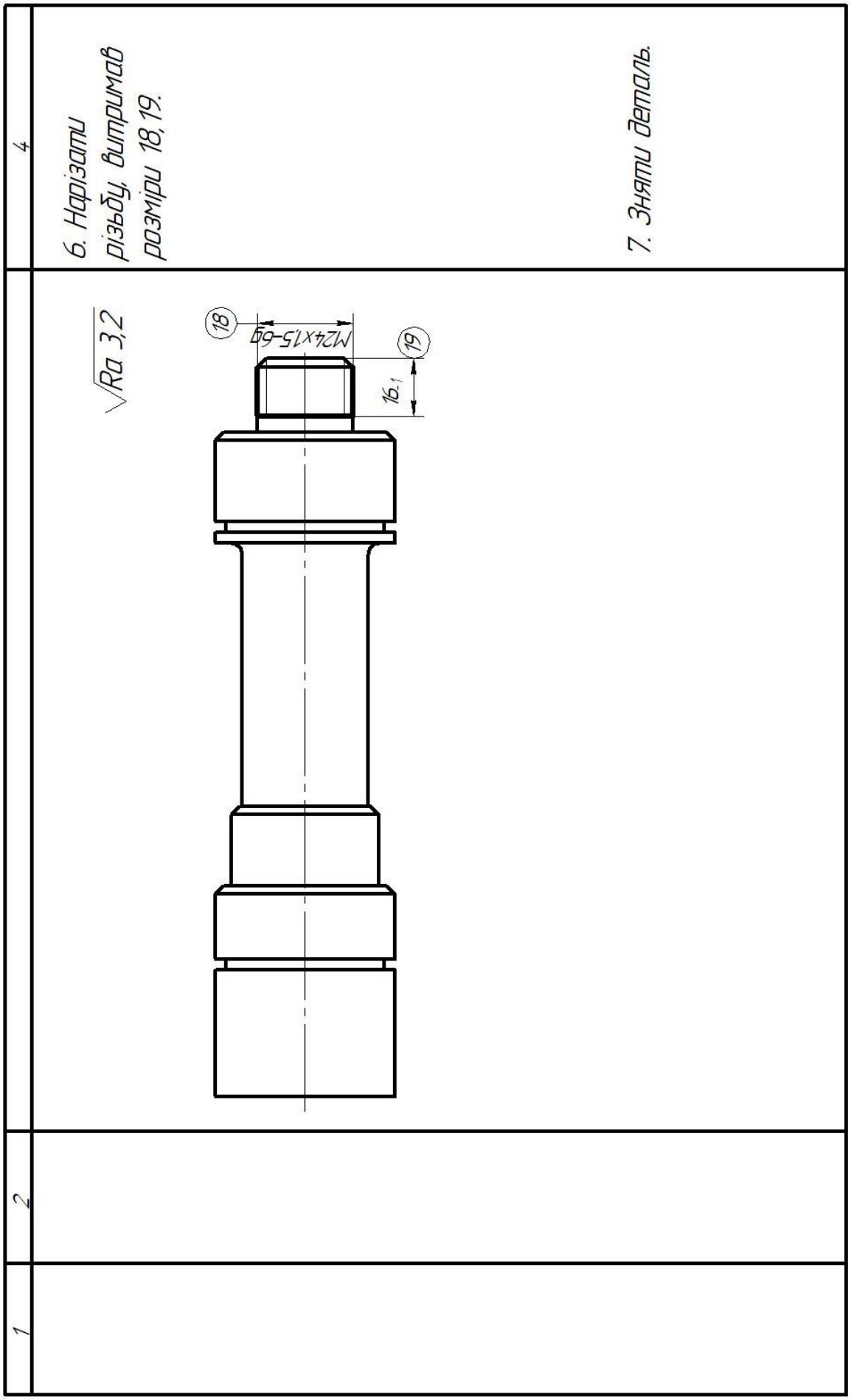
Продовження табл.5



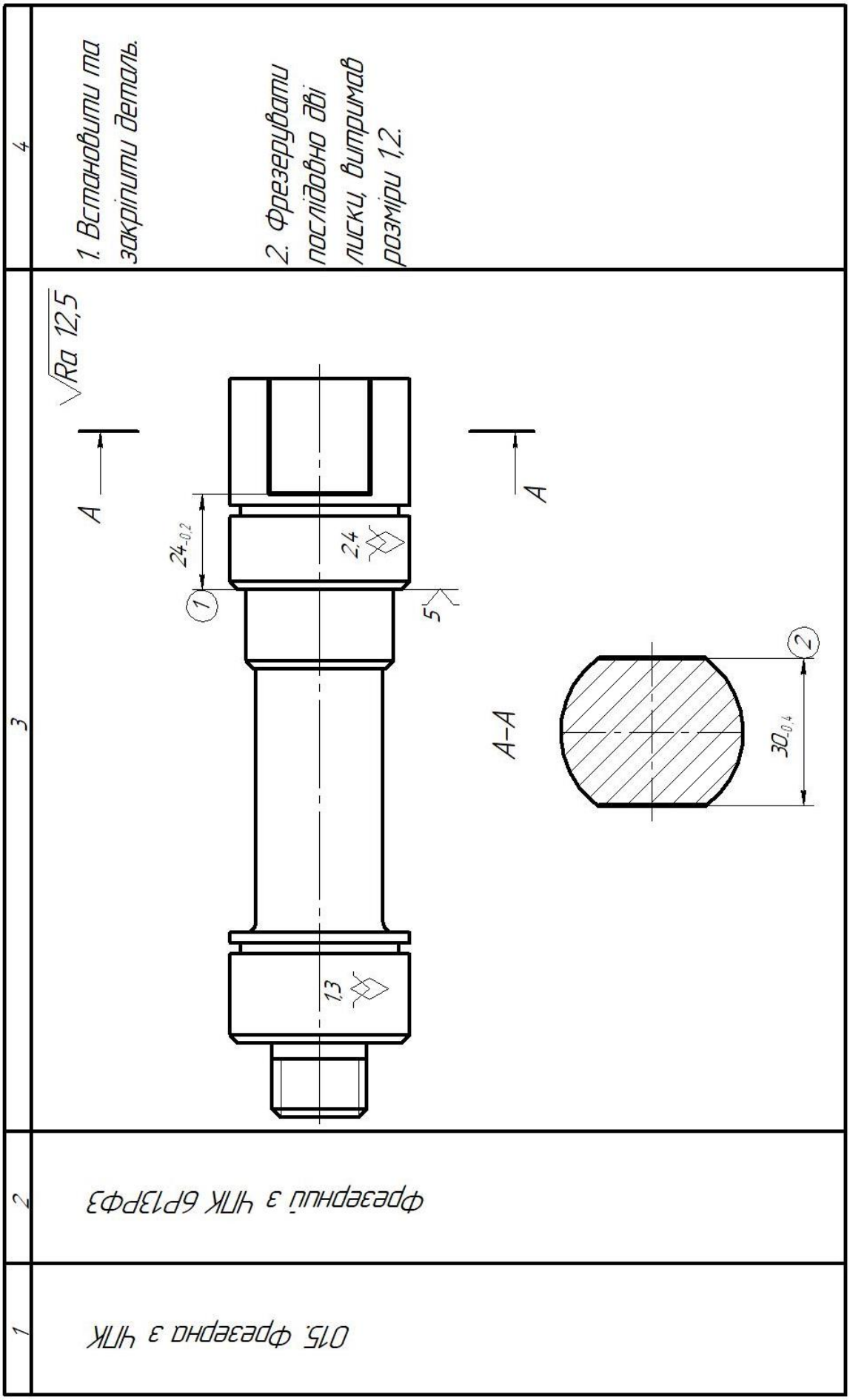
Продовження табл.5



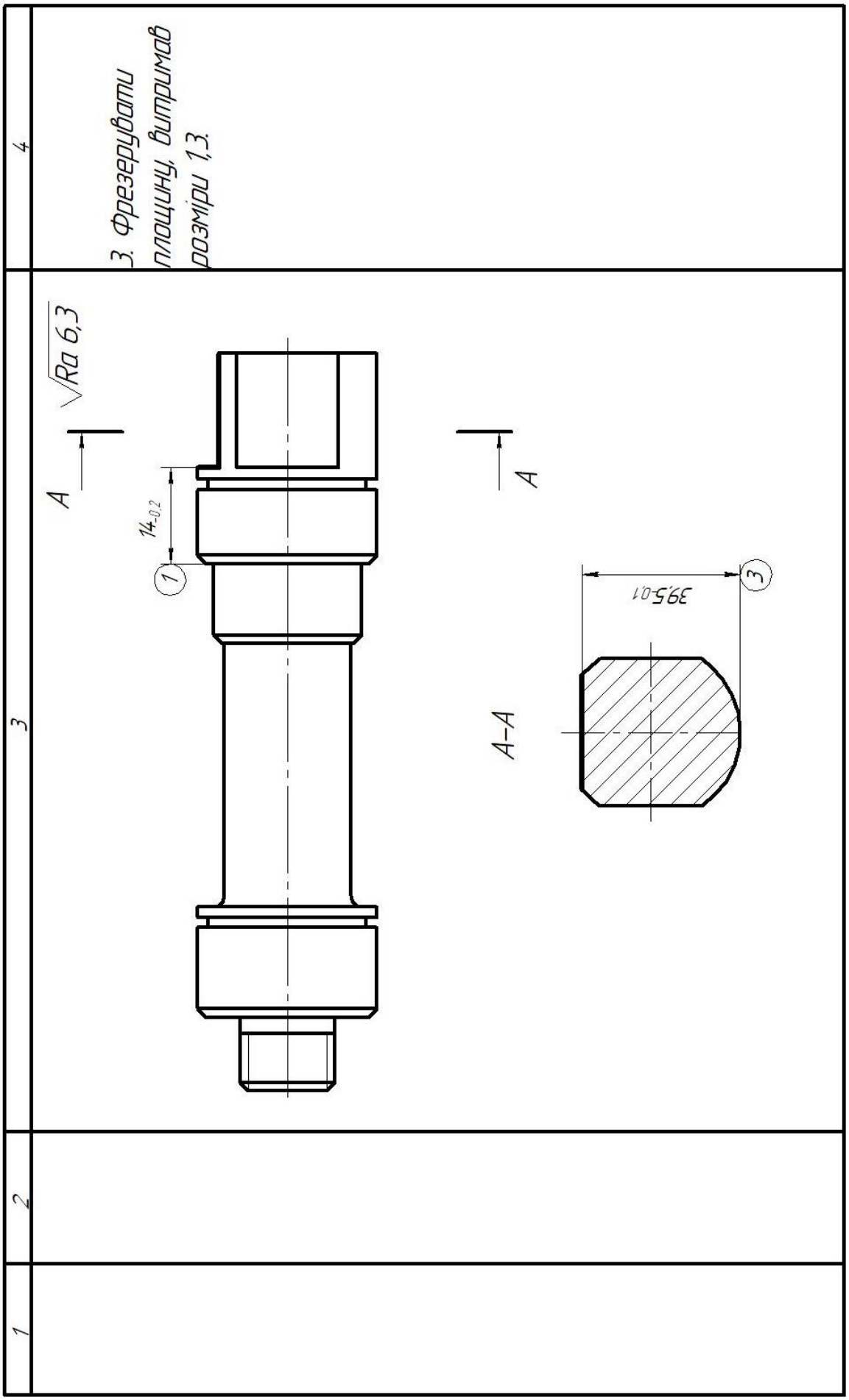
Продовження табл.5

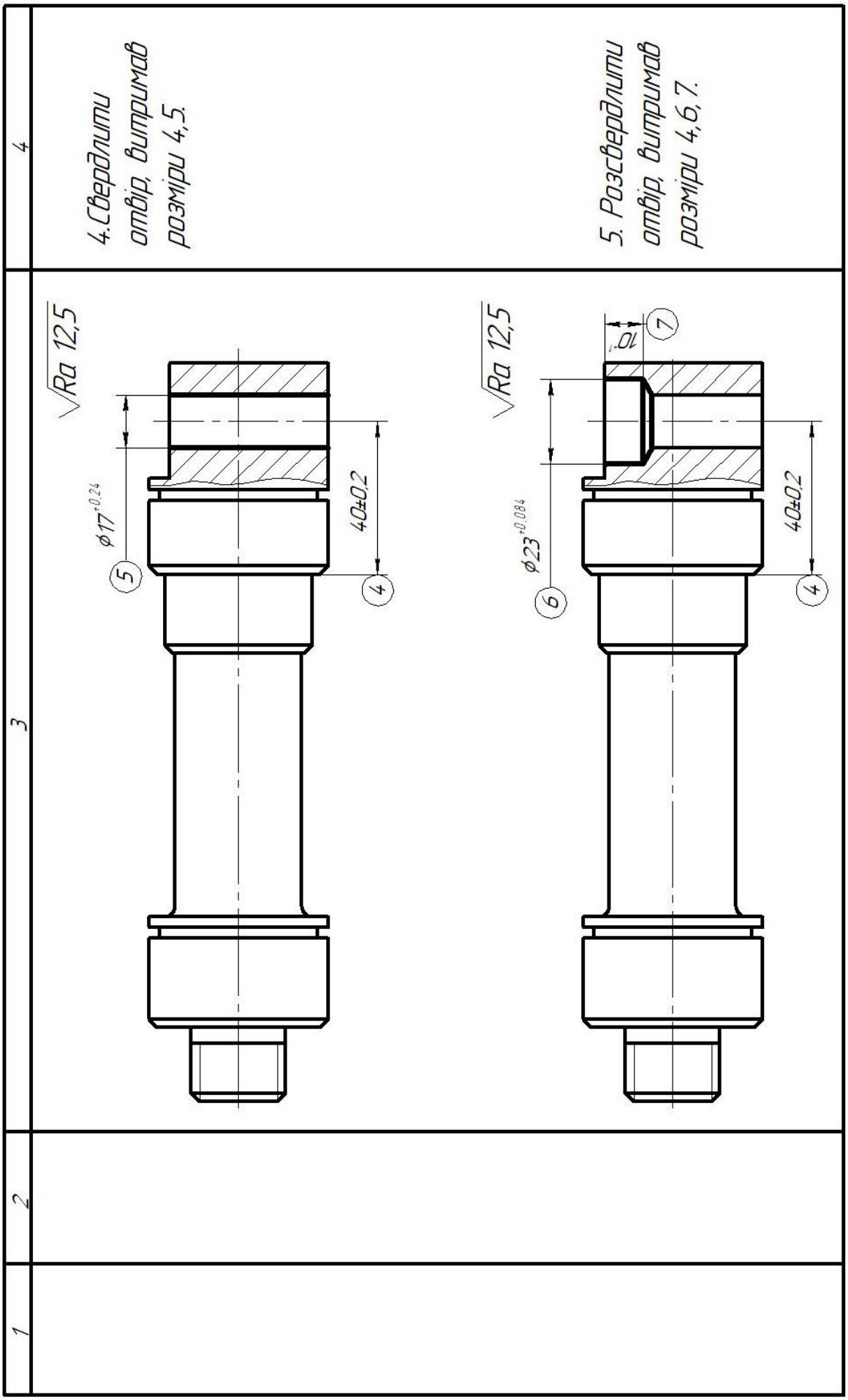


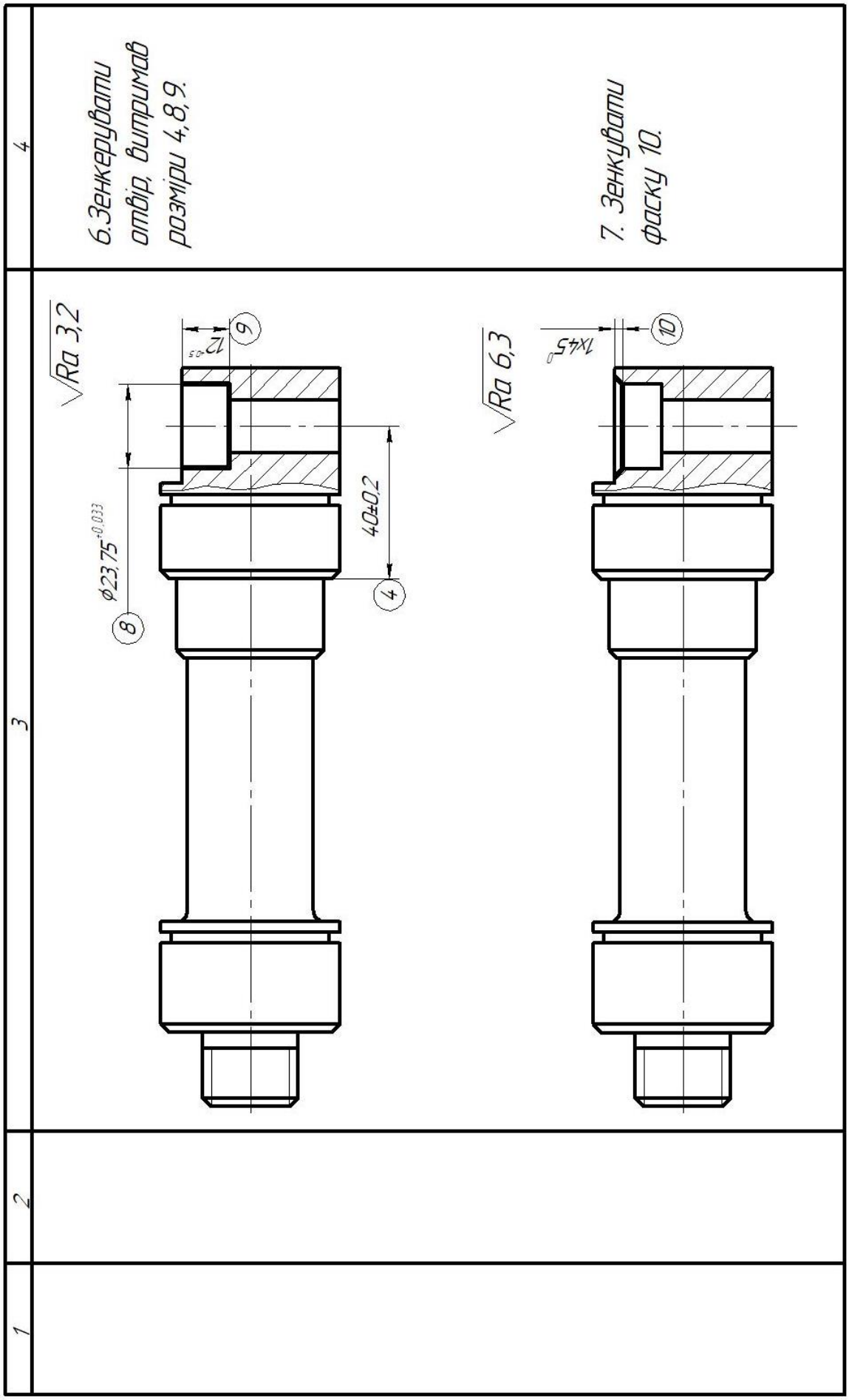
Продовження табл.5



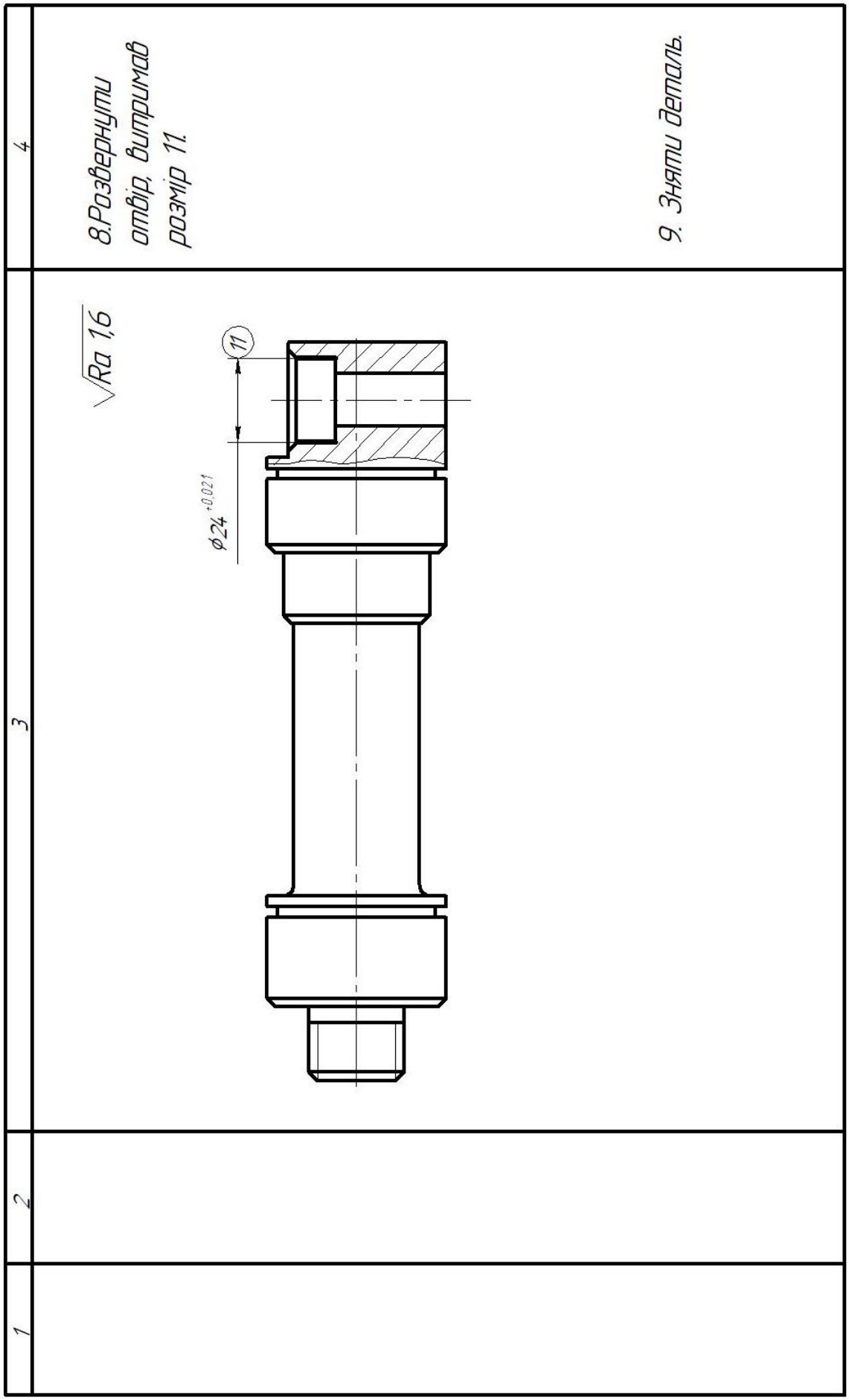
Продовження табл.5

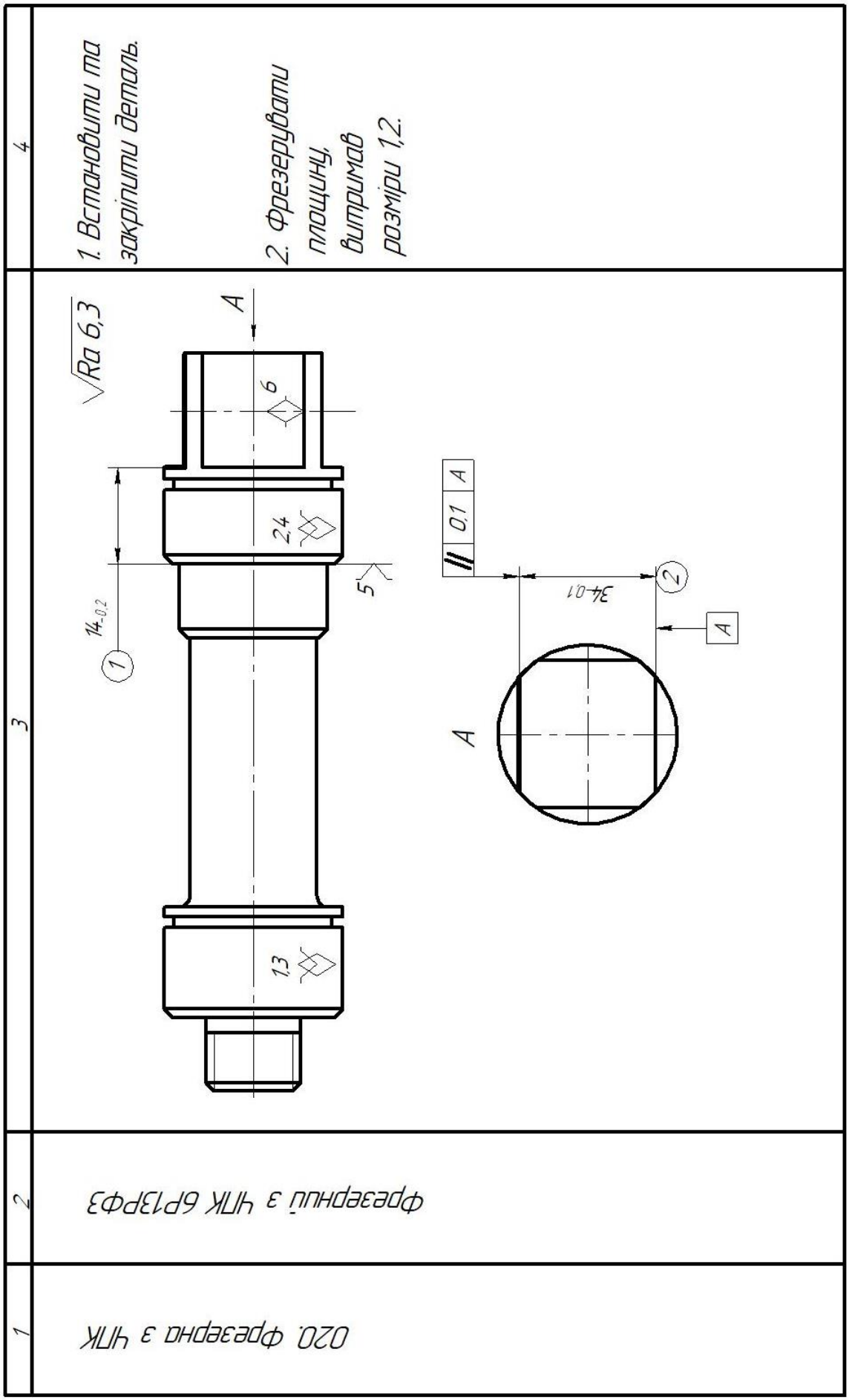

4
3. Фрезерувати площину, витримав розміри 1,3.
3
Ra 6,3
A
A
14-0,2
1
A–A
39,5-0,1
3
2
1

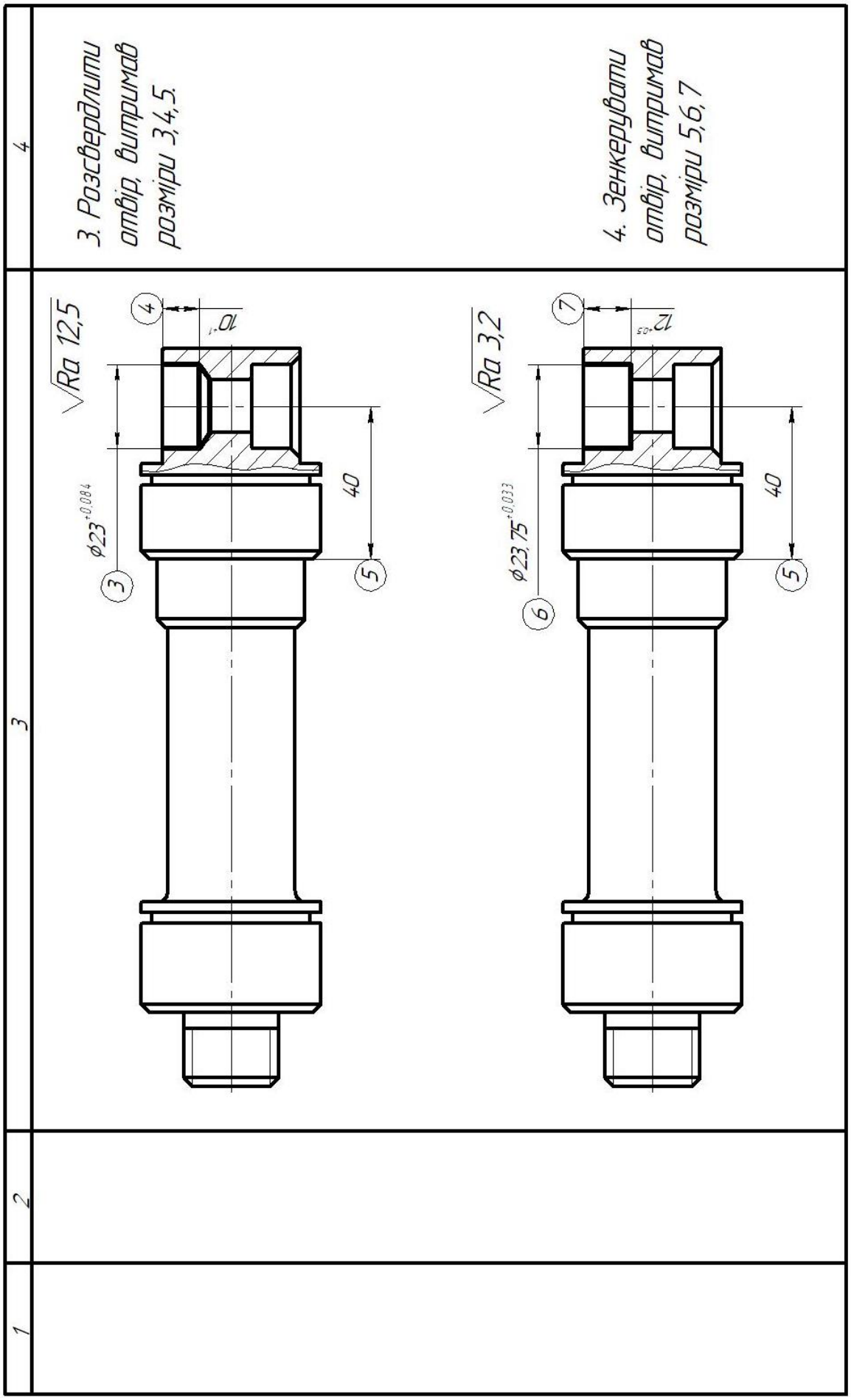

4
4.Свердлити отвір, витримав розміри 4,5.
5. Розсвердлити отвір, витримав розміри 4,6,7.
3
Ra 12,5
Ø17+0,24
40±0,2
5
4
Ra 12,5
10°
7
Ø23+0,084
6
40±0,2
4
2
1

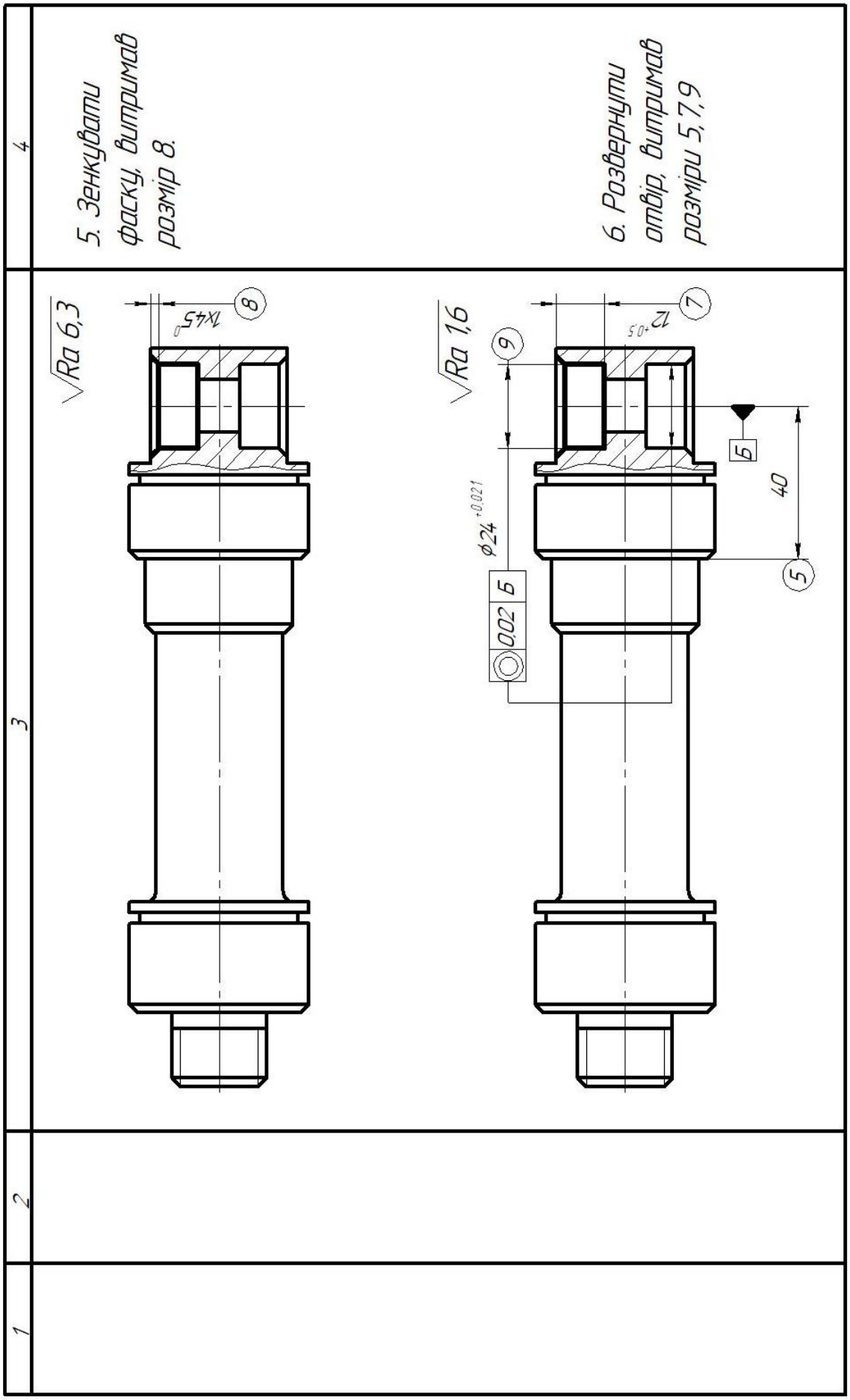

4
6.Зенкерувати отвір, витримав розміри 4,8,9.
7. Зенкувати фаску 10.
3
Ra 3,2
Ra 6,3
12+0,5
9
ϕ23,75+0,033
8
40±0,2
4
1x45°
10
2
1

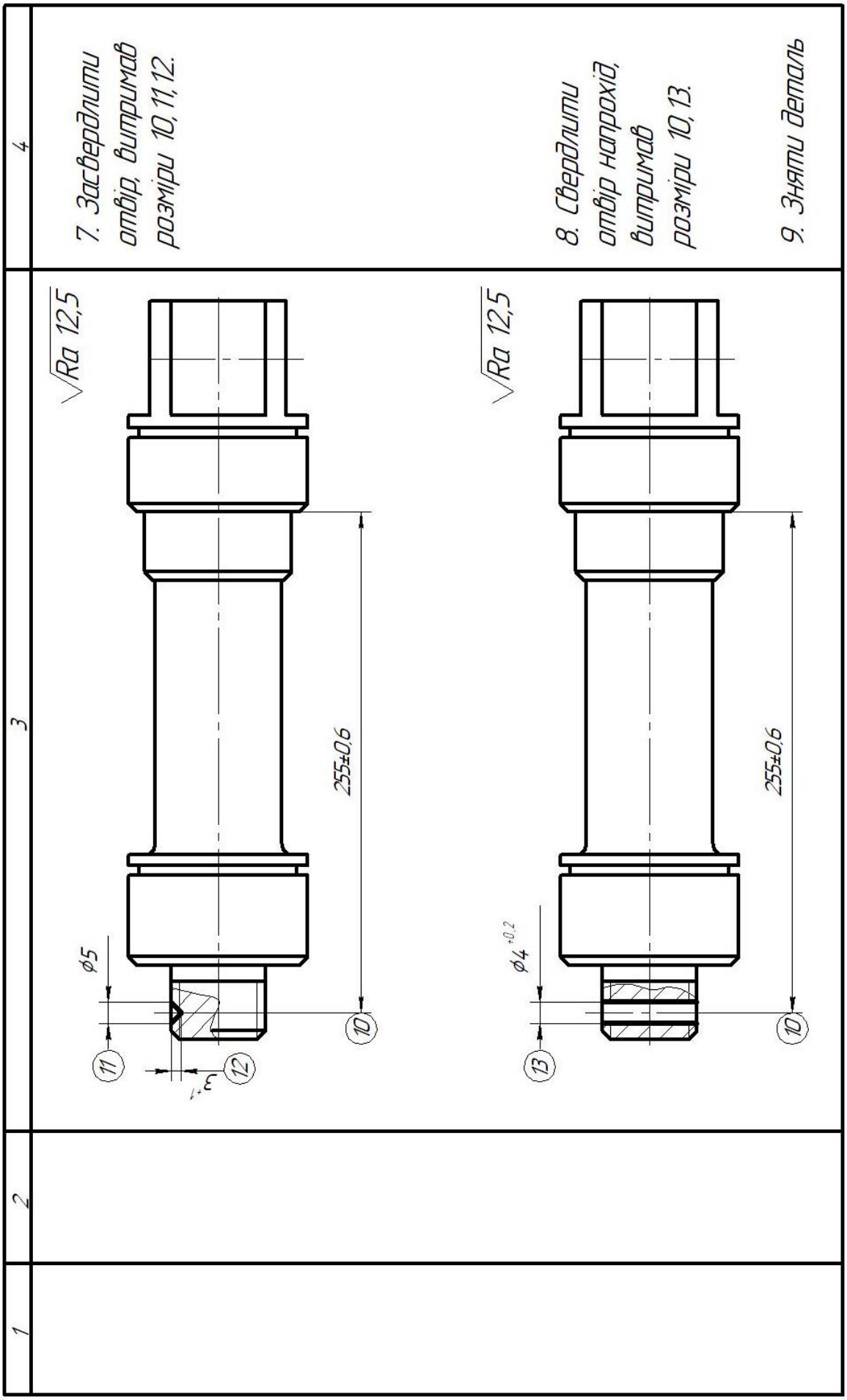
Продовження табл.5

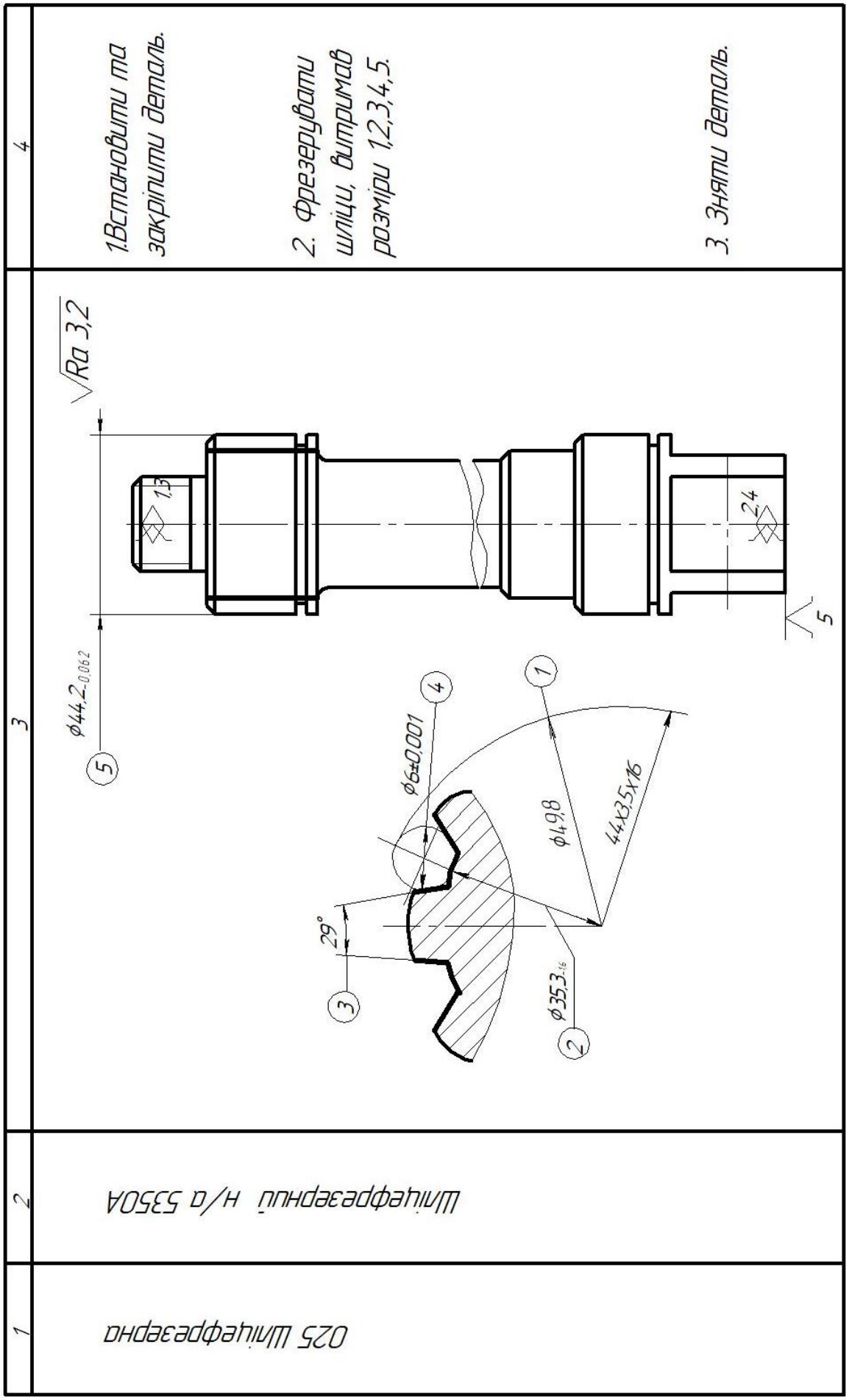


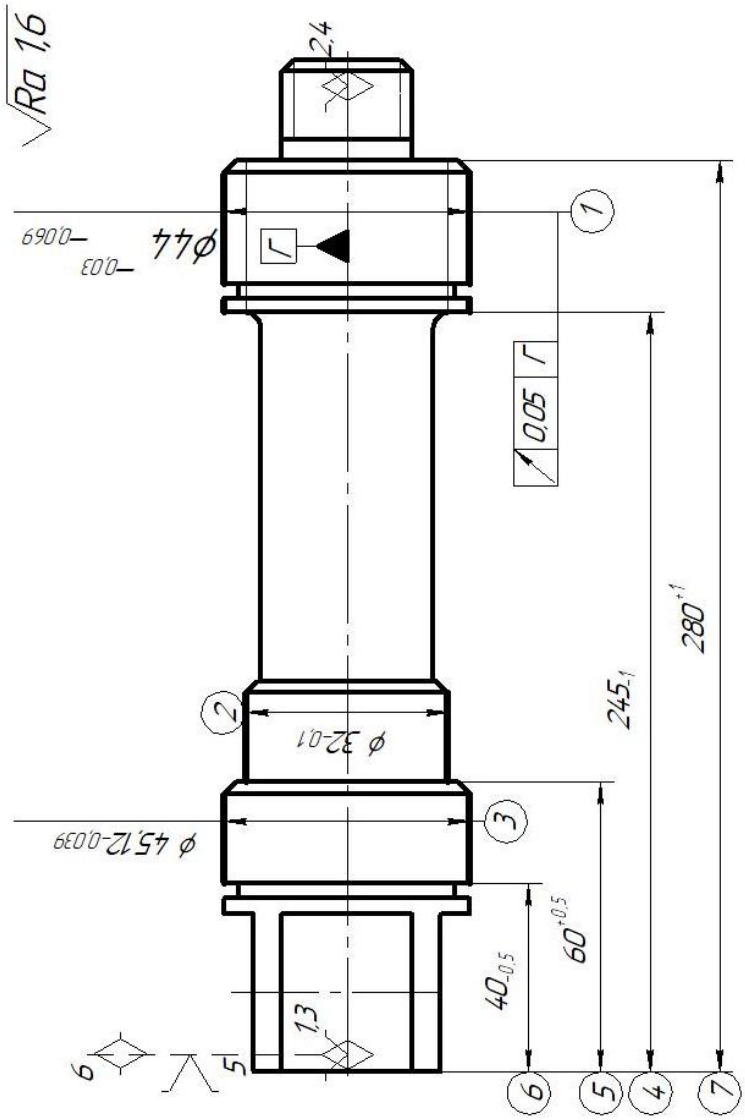

4
1. Встановити та закріпити деталь.
2. Фрезерувати площину, витримав розміри 1,2.
3
Ra 6,3
A
6
2,4
1,3
5
14-0,2
1
0,1
A
34-0,1
2
A
A
2
фрезерний з ЧПК 6Р13РФ3
1
020. фрезерна з ЧПК

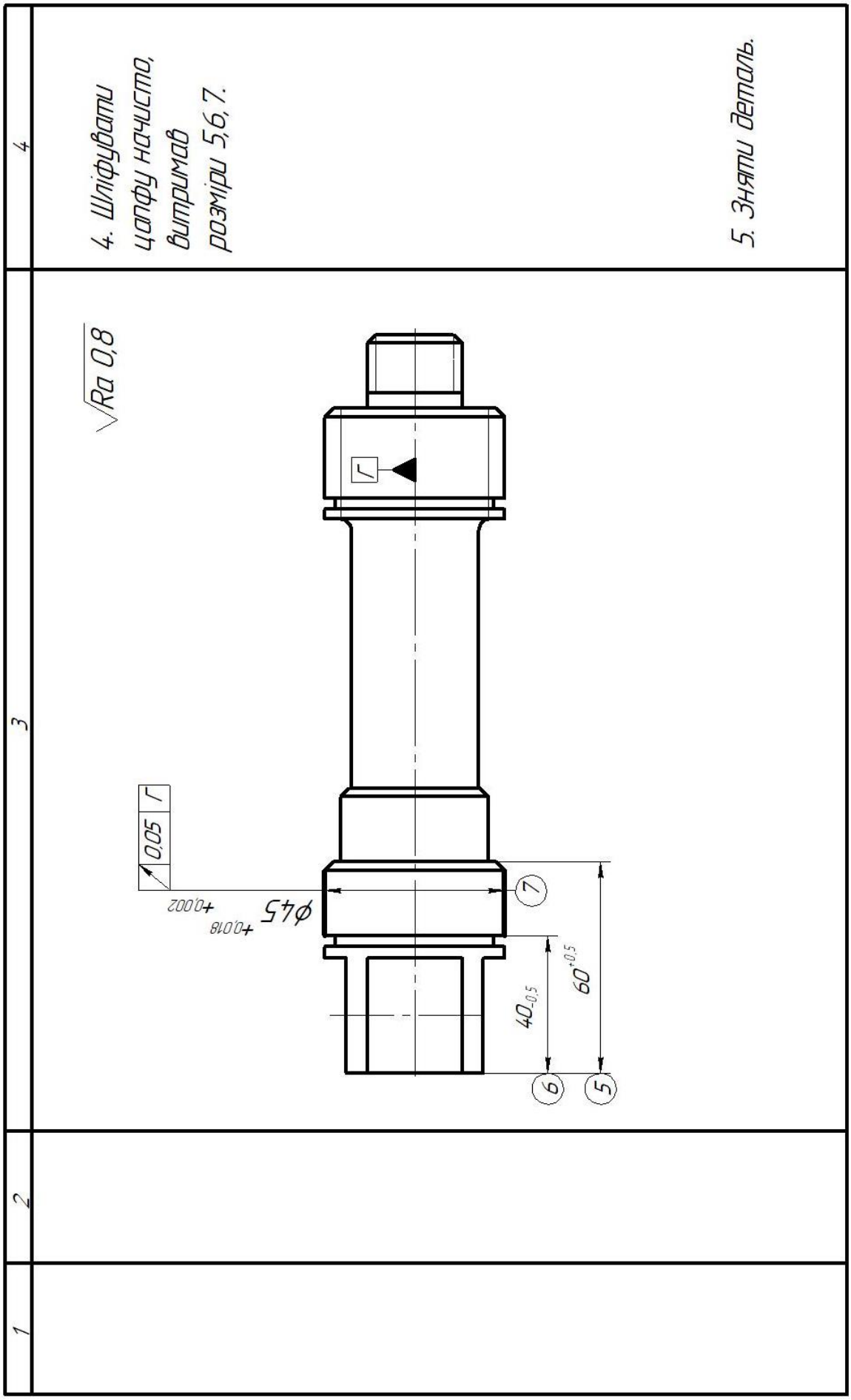

4
3. Розсвердлити отвір, витримав розміри 3,4,5.
4. Зенкерувати отвір, витримав розміри 5,6,7
3
Ra 12,5
Ra 3,2
10+1
12+0,5
ø23+0,084
ø23,75+0,033
40
40
4
3
5
7
6
5
2
1

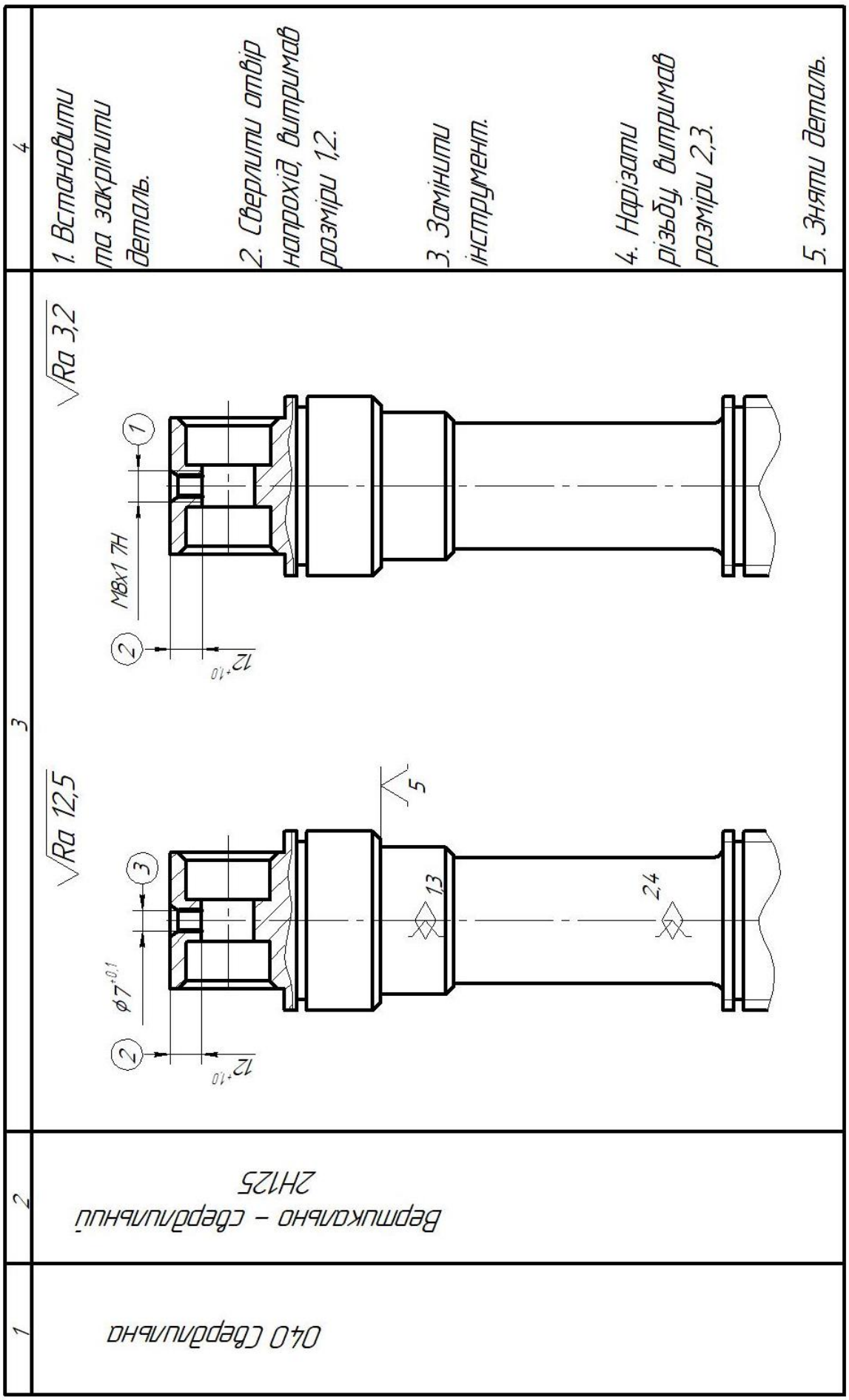

4
5. Зенкувати фаску, витримав розмір 8.
6. Розвернути отвір, витримав розміри 5,7,9
3
Ra 6,3
1x45°
8
Ra 1,6
9
7
12+0,5
Ø24+0,021
0,02 Б
Б
40
5
2
1


7. Засвердлити отвір, витримав розміри 10, 11, 12.
Ra 12,5
255±0,6
ϕ5
3+1
11
12
10
8. Сверлити отвір напрохід, витримав розміри 10, 13.
Ra 12,5
255±0,6
ϕ4 +0,2
13
10
9. Зняти деталь


4
1.Встановити та закріпити деталь.
2. Фрезерувати шліци, витримав розміри 1,2,3,4,5.
3. Зняти деталь.
3
Ra 3,2
1,3
2,4
5
ϕ44,2-0,06,2
ϕ6±0,001
ϕ4,9,8
44x35x16
29°
ϕ35,3-16
2
Шліцфрезерний н/а 5350А
1
025 Шліцфрезерна

1	030 Слюсарна	035 Шліфувальна з ЧПУ		
2	Верстак слюсарний	Шліфувальний з ЧПУ 3М151Ф2		
3				
4	Зачистити задирки, правити різьбу.	1. Встановити та закріпити деталь.	2. Шліфувати послідовно три поверхні, витримав розміри 1,2,3,4,5,6.	3. Правити круг.


4
4. Шліфувати цапфу начисто, витримав розміри 5,6,7.
5. Зняти деталь.
3
Ra 0,8
Г
0,05 Г
ϕ45 +0,018 +0,002
7
40-0,5
60+0,5
6
5
2
1


1
040 Свердильна
2
Вертикально – свердильний
2H125
3
Ra 12,5
Ra 3,2
M8x1 7H
12+1,0
ϕ7-0,1
5
1,3
2,4
4
1. Встановити та закріпити деталь.
2. Свердлити отвір напрохід, витримав розміри 1,2.
3. Замінити інструмент.
4. Нарізати різьбу, витримав розміри 2,3.
5. Зняти деталь.

Продовження табл.5

1	045 Мийна	050 Контрольна	
2	Мийна машина	Стіл ВТК	
3			
4	Мити деталь	Контролювати розміри деталі	

Для реалізації запропонованого технологічного процесу механічної обробки стержня шліцьового визначаємо відповідне металорізальне обладнання. Вибір металорізальних верстатів здійснюється з врахуванням структури та змісту операцій, методів обробки та типу виробництва. Стисла технічна характеристика вибраного обладнання наведена в таблиці 6.

Таблиця 6.

Металорізальні верстати для обробки стержня

№ операції	Найменування та модель верстата	Стисла технічна характеристика				
		Габар. розміри робоч. столу чи мах діаметр обробки	Ряд частот обертання (хв$^{-1}$)	Ряд подач (мм/об)	Потужність (кВт)	Габаритні розміри верстату (мм)
1	2	3	4	5	6	7
005	Фрезерно-центрувальний н/а МР76	Ø80 L=1000	270;354; 1254	20… 400 мм/хв	6,6	3300 х 1575
010	Токарний з ЧПК HAAS SL-20	Ø320 Ø200	20÷ 2500	0,05… 4,0	11	3700х 2260
015 020	Фрезерний з ЧПК 6Р13РФ3	400х1600	40÷ 2000	10 ÷ 1200 мм/хв.	7,5	3425 х 3200 х 2520
025	Шліцефрезерний н/а 5350А	Ø150 m=6	80… 250	0,63…5	7,5	2335 х 1550
035	Шліфувальний з ЧПК 3М151Ф2	Ø200 L - 700	50÷500 1500	0,001÷ 1,2	15	5400 х 2400 х 2170
040	Вертикально-сверд-лильний 2Н125	400х 450	45… 2000	0,1-1,6	2,2	1130х 805

2.9. Вибір затискних пристроїв

Для забезпечення заданої точності обробки деталей їх необхідно надійно встановити та закріпити. З цією метою визначаються верстатні затискні пристрої в залежності від теоретичної схеми базування, конструктивної форми деталі, методу обробки та типу виробництва. Пристрої для верстатів з ЧПК не мають елементів для орієнтації та направлення різального інструменту, крім того вони повинні мати можливість швидкого переналагодження на обробку іншої деталі наближеної до неї. Стисла характеристика вибраних затискних пристроїв для закріплення деталей наведені в таблиці 7.

Таблиця 7.

Затискні пристрої для стержня

№ операції	Найменування пристрою	Стандарт	Рід приводу
005	Призми	Спец.	Гідравлічний
010	Центр передній рифлений Центр задній	13214-89 8742-85	Гідравлічний
015	Пристосування фрезерне	Спец.	Пневматичний
020	Пристосування фрезерне	Спец.	Пневматичний
025	Центр передній , центр задній Пристосування фрезерне	13214-89 8742-85	Гідравлічний
035	Хомутик повідковий Центр обертальний	16488-80 8742-85	Механічний
040	Пристосування свердлильне	Спец.	Пневматичний

2.10. Вибір різальних інструментів

Вибір різальних інструментів для обробки заданих деталей виконується в залежності від методу обробки, матеріалу деталі, різальних властивостей інструментального матеріалу, а також типу виробництва. Вибір різальних інструментів здійснюється за довідковими таблицями, а їх характеристика наведена в таблиці 8.

Таблиця 8.

Різальний інструмент для обробки деталі

Номер		Назва інструменту	Стандарт	Різальна частина	
опера-ції	пере-ходу			мате-ріал	стандарт
1	2	3	4	5	6
005	2	Фреза торцева Ø 120	24359-80	Т5К10	3882-74
	3	Свердло центрувальне Ø 5	14952-75	Р6М5	19265-73
010	2	Різець прохідний	26611-85	Т5К10	3882-74
	3	Різець прохідний (лівий)	26611-85	Т5К10	3882-74
	4	Різець прохідний	26611-85	Т15К6	3882-74
	5	Різець канавочний	26611-85	Т5К10	3882-74
	6	Різець різьбонарізний	20717-85	Т5К10	3882-74
015	2	Фреза кінцева Ø 30	18151-82	Р6М5	19265-75
	3	Фреза торцева Ø 80	24359-80	Т5К10	3882-74
	4	Свердло Ø 17	10903-77	Р6М5	19265-75
	5	Свердло Ø 23	10903-77	Р6М5	19265-75
	6	Зенкер Ø 23,75	3231-81	Т5К10	3882-74

	7	Зенківка Ø 30	14953-80	Р6М5	19265-75
	8	Розвертка Ø 24	11175-80	Т5К10	3882-74
020	2	Фреза торцева Ø 80	24359-80	Т5К10	3882-74
	3	Свердло Ø 23	10903-77	Р6М5	19265-75
	4	Зенкер Ø 23,75	3231-81	Т5К10	3882-74
	5	Зенківка Ø 30	14953-80	Р6М5	19265-75
	6	Розвертка Ø 24	11175-80	Т5К10	3882-74
	7	Свердло Ø 5	10903-77	Р6М5	19265-75
	8	Свердло Ø 4	10903-77	Р6М5	19265-75
025	2	Фреза черв'ячна шліцьова	9324-80	Р6М5	19265-73
035	2 3	Круг шліфувальний ПП400 х 40 х 127 24АС 2 6к 35м/с 1кл А	2424-83	Э	21445-84
040	2	Свердло Ø 7	10903-77	Р6М5	19265-75
	4	Мітчик М 8х1	17931-82	Р6М5	19265-75

2.11 Вибір вимірювальних пристроїв та інструментів

Для контролю поверхонь, які обробляються необхідно визначити вимірювальний інструмент і пристосування. Цей інструмент вибирається в залежності від конструктивної форми поверхні, вимог, що до точності поверхні та типу виробництва. Стисла характеристика вибраного вимірювального інструменту наведена в таблиці 9.

Таблиця 9.

Вимірювальний інструмент для контролю деталі

Номер		Параметр деталі, який контролюється	Найменування вимірювального інструменту	Стандарт на конструкцію
опе-рації	пере-ходу			
1	2	3	4	5
005	2	322±0,75	Штангенциркуль ШЦ-Ш О- 500 - 0,1	166-80
	3	Ø 5; $15^{+0,1}$; 60^{0}	Калібр	16085-80
010	2	Ø24,4 $_{-0,21}$ Ø44,6 $_{-0,39}$ Ø32,5 $_{-0,39}$ Ø45,74 $_{-0,39}$ 20±0,2; $55^{+0,5}$; $240_{-0,6}$; 262±0,3; 282±0,3	Штангенциркуль ШЦ І-125-0,1 Штангенциркуль ШЦ І-300-0,1	166-80 166-80
	3	Ø $45_{-0,62}$ 260±0,3	Штангенциркуль ШЦ І-125-0,1	166-80

	4	Ø23,9 $_{-0,2}$; Ø44,1 $_{-0,062}$; Ø32,15 $_{-0,1}$; Ø45,36 $_{-0,062}$;	Штангенциркуль ШЦ 1-125-0,1 Мікрометр МК 25-50 – 0,01	166-80 6507-88
	5	Ø 41$_{-0,62}$; 2,5$^{+0,2}$; 52$_{-0,2}$; 259$^{+0,2}$	Штангенциркуль ШЦ І-250-0,1	166-80
	6	М24х1,5-6q	Кільце різьбове М24х1,5-6q	17763-82
015	2	24$_{-0,2}$; 30$_{-0,4}$;	Штангенциркуль ШЦ І-125-0,1	166-80
	3	14$_{-0,2}$; 39,5$_{-0,1}$;	Штангенциркуль ШЦ І-125-0,1	166-80
	4	Ø17$^{+0,24}$; 40±0,2;	Штангенциркуль ШЦ І-125-0,1	166-80
	5	Ø23$^{+0,084}$;	Штангенциркуль ШЦ І-125-0,05	166-80
	6	Ø23,75$^{+0,033}$;	Пробка Ø23,75Н7	14807-89
	7	1х45^{0};	Шаблон 1х45^{0}	Спец.
	8	Ø24$^{+0,021}$;	Пробка Ø22Н7	14807-89
020	2	14 $_{-0,2}$; 34$_{-0,1}$;	Штангенциркуль ШЦ І-125-0,1 Пристосування контрольне	166-80 Спец.
	3	Ø23$^{+0,084}$;	Штангенциркуль ШЦ І-125-0,05	166-80
	4	Ø23,75$^{+0,033}$;	Пробка Ø23,75Н7	14807-89
	5	1х45^{0};	Шаблон 1х45^{0}	Спец.
	6	Ø24$^{+0,021}$;	Пробка Ø22Н7 Пристосування контрольне	14807-89 Спец.
	7	Ø5; 3$^{+0,1}$; 255±0,6	Штангенциркуль ШЦ І-125-0,1 Штангенциркуль ШЦ 1-300-0,1	166-80
	8	Ø4$^{+0,2}$;	Штангенциркуль ШЦ І-125-0,1	166-80
025	2	Ø6±0,001; 44х3,5х16	Калібр для шліців	24959-81
035	2	Ø44$^{-0,03}$ $_{-0,069}$; Ø32$_{-0,1}$; Ø45,12$_{-0,039}$;	Скоба Ø44е8 Мікрометр МК 25-50-0,002 Пристосування контрольне Б-10М	2216-84 6507-88 5368-81
	4	Ø45$^{+0,018}$ $_{+0,002}$;	Скоба Ø45к6 Пристосування контрольне Б-10М	2216-84 5368-81
040	2 4	Ø7$^{+0,1}$; М8х1- 7Н	Штангенциркуль ШЦ І-125-0,1 Пробка різьбова М8х1-7Н	166-80 17756-87

2.12. Визначення припусків та операційних розмірів деталей

Величина операційного припуску на механічну обробку впливає на точність, якість та продуктивність обробки. Розрахунок припусків та операційних розмірів виконуємо для однієї з найбільш точних поверхонь деталі стержень шліцьовий: Ø45к6($^{+0,018}_{+0,002}$);

Маршрут обробки поверхні:

Заготовка – δз = 2,0 мм;

Точіння чорнове – δ_1 = 0,39 мм;

Точіння чистове – δ_2 = 0,062 мм;

Шліфування чорнове – δ_3 = 0,039 мм;

Шліфування чистове – δ_4 = 0,016 мм.

Точіння та шліфування поверхні виконується в центрах , тому похибка установки в радіальному напрямку дорівнює нулю.

Сумарне відхилення:

$$\rho_з = \sqrt{\rho^2{}_{см} + \rho к^2 + \rho \mu^2};$$

$$\rho к = \Delta_к \cdot l = 0.5 \cdot 60 = 30 мкм = 0{,}03 мм; \quad \rho_{см} = 1{,}0 мм$$

де: l – довжина оброблюваної поверхні.

$$\rho ц = \sqrt{(\delta_3/2)^2 + 0{,}25^2} = \sqrt{(2/2)^2 + 0{,}25^2} = 1{,}1 мм$$

$$\rho з = \sqrt{1{,}0^2 + 0{,}03^2 + 1{,}1^2} = \sqrt{0{,}07} = 1{,}48 мм$$

Величина залишкового просторового відхилення

- після точіння чорнового:

ρ_1 = 0,06 · 1480 = 89 мкм;

- після точіння чистового:

ρ_2= 0,04 · 1480 = 59 мкм;

- після шліфування чорнового:

ρ_3 = 0,02 · 1480 = 30 мкм;

Таблиця 10.

Розрахунок припусків і граничних розмірів по технологічним переходам на обробку поверхні Ø45к6

Технологічні переходи	Елементи припуску, мкм			Розрахунковий припуск, 2Z min, мкм	Розрахунковий розмір, dp, мм	Допуск δ, мкм	Граничні розміри, мм		Гранич-ні припуски, мкм	
	R_Z	T	ρ				dmin	dmax	$2Z^{гр}$ min	$2Z^{гр}$ max
Заготовка	150	250	14 80	-	49,5	2000	49,5	51,5	-	-
Точіння чорнове	50	50	89	2 ·1880	45,74	390	45,74	46,13	3760	5370
Точіння чистове	30	30	59	2 · 189	45,36	62	45,36	45,42	380	710
Шліфування чорнове	10	20	30	2 · 119	45,12	39	45,12	45,16	240	260
Шліфування чистове	5	15	-	2 · 60	45,002	16	45,002	45,018	118	142

Розрахунок мінімальних значень припусків виконуємо за формулою:

$2Z\ min_i = 2\ (R_{z-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1})$;

Мінімальний припуск:

при чорновому точінні:

$2Z\ min_1 = 2(150+250+1480) = 2 \cdot 1880$мкм;

при чистовому точінні:

$2Z\ min_2 = 2\ (50+50+89) = 2 \cdot 189$мкм;

при чорновому шліфуванні:

$2Z\ min_3 = 2\ (30+30+59) = 2 \cdot 119$мкм;

при чистовому шліфуванні:

$2Z\ min_4 = 2\ (10+20+30) = 2 \cdot 60$ мкм;

Графу таблиці «Розрахунковий розмір» заповнюємоз кінцевого розміру:

$d_{p3} = 45{,}002 + 0{,}12 = 45{,}122 \approx 45{,}12$мм;

$d_{p2} = 45{,}12 + 0{,}238 = 45{,}358 \approx 45{,}36$ мм;

$d_{p1} = 45{,}36 + 0{,}378 = 45{,}738 \approx 45{,}74$ мм;

$d_{p\,з} = 45{,}74 + 3{,}76 = 49{,}5$ мм;

Визначаєм найбільші граничні розміри:

$d_{max4} = 45{,}002 + 0{,}016 = 45{,}018$ мм;

$d_{max3} = 45,12 + 0,039 = 45,16$ мм;

$d_{max2} = 45,36 + 0,062 = 45,42$ мм

$d_{max1} = 45,74 + 0,39 = 46,13$ мм

$d_{max\ з} = 45,9 + 2,0 = 51,5$ мм;

Граничні значення припусків $Z^{гр}$ max визначаємо як різницю найбільших граничних розмірів і $Z^{гр}$ min – як різність найменших граничних розмірів на попередніх та виконуємих переходів.

$2Z^{гр}max_4 = 45,16 – 45,018 = 0,142$ мм $= 142$ мкм;

$2Z^{гр}max_3 = 45,42 – 45,16 = 0,26$ мм $= 260$ мкм;

$2Z^{гр}max_2 = 46,13 – 45,42 = 0,71$ мм $= 710$ мкм;

$2Z^{гр}max_1 = 51,5 – 46,13 = 5,37$ мм $= 5370$ мкм;

$2Z^{гр}min_4 = 45,12 – 45,002 = 0,118$ мм $= 118$ мкм;

$2Z^{гр}min_3 = 45,36 – 45,12 = 0,24$ мм $= 240$ мкм;

$2Z^{гр}min_2 = 45,74 – 45,36 = 0,38$ мм $= 380$ мкм;

$2Z^{гр}min_1 = 49,5 – 45,74 = 3,76$ мм $= 3760$ мкм;

Перевірка правильності виконаних розрахунків:

$2Z^{гр}max_4 - 2Z^{гр}min_4 = 142 – 118 \approx 23$мкм; $\delta_3 – \delta_4 = 39 – 16 = 23$мкм;

$2Z^{гр}max_3 - 2Z^{гр}min_3 = 260 – 240 \approx 23$ мкм; $\delta_2 – \delta_3 = 62 – 39 = 23$мкм;

$2Z^{гр}max_2 - 2Z^{гр}min_2 = 710 – 380 \approx 328$ мкм; $\delta_1 – \delta_2 = 390 – 62 = 328$мкм;

$2Z^{гр}max_1 - 2Z^{гр}min_1 = 5370 – 3760 = 1610$мкм; $\delta_з – \delta_1 = 2000 – 390 = 1610$мкм;

Розрахунки виконано вірно. На підставі даних розрахунків виконуємо схему графічного розташування припусків і допусків поверхні Ø45к6.

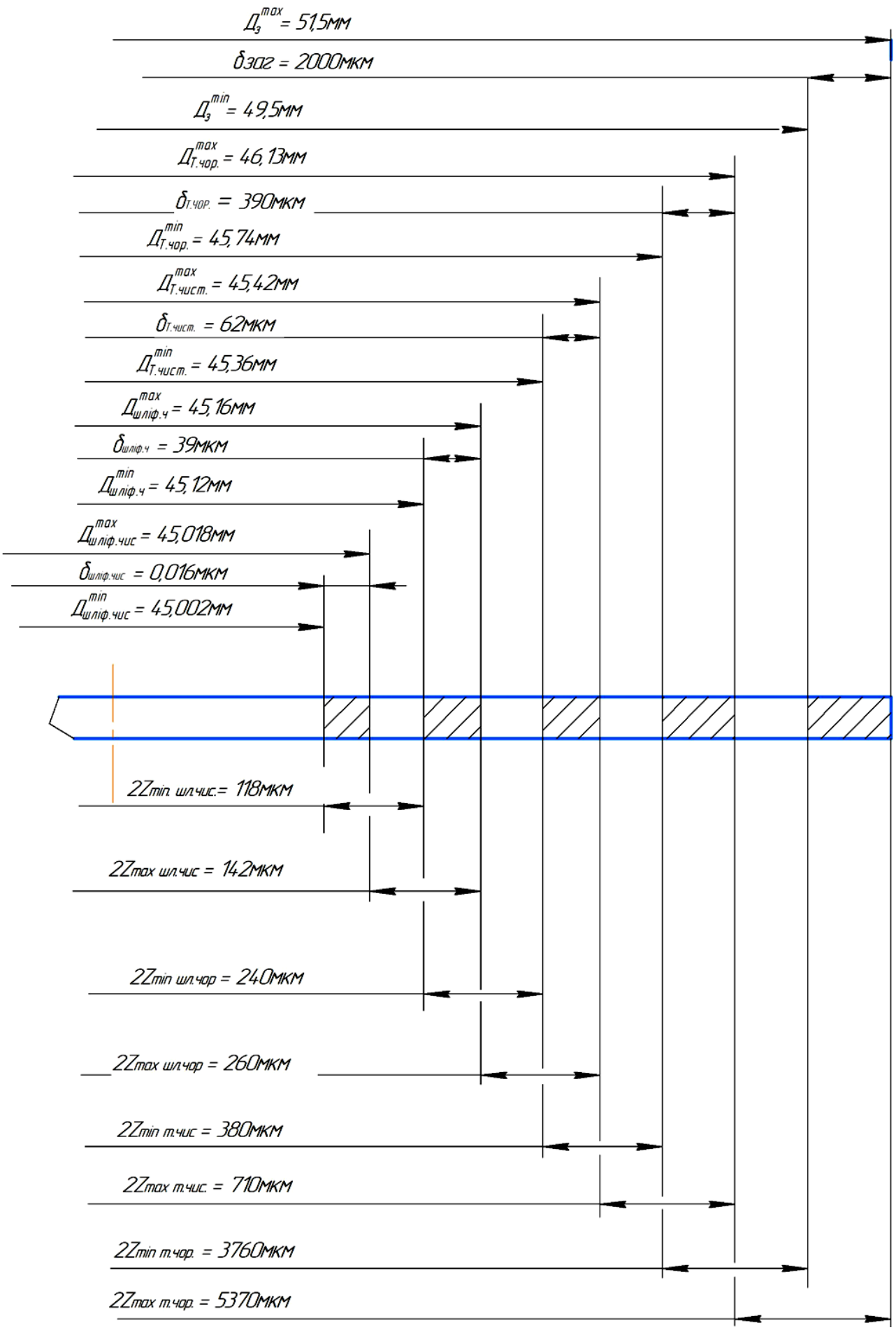


Рис.2.1. Схема розташування припусків

Таблиця 11.

Припуски на обробку заданих деталей

№ поверхні	Найменування поверхні	Найменування переходу	Припуск Zmin (мм)	Технологічний допуск (мм)
1,9	Торець	Фрезерування чорнове	2,5х2	1,5
2,14	Площина	Фрезерування	5,5х2	0,1
3	Циліндрична пов.	Точіння чорнове	2,5	0,62
4,15	Канавка	Точіння	2,5	0,3
5	Цапфа	Точіння чорнове Точіння чистове Шліфування чорнове Шліфування чистове	1,9 0,19 0,12 0,06	0,39 0,062 0,039 0,016
6	Торець	Точіння чорнове	1,5	0,74
7	Шліцьова поверхня	Точіння чорнове Точіння чистове Шліфування чорнове	2,3 0,3 0,1	0,39 0,062 0,039
8	Різьбова поверхня	Точіння чорнове Точіння чистове Нарізання різьби	1,6 0,25 0,25х6	0,21 0,052
11	Отвір	Свердління	8,5х2	0,24
12	Отвір	Розсвердлення Зенкерування Розвірчування	3х2 0,37х2 0,12х2	0,084 0,033 0,021
15, 16	Лиска	Фрезерування	7,5х2	0,4
17	Шийка	Точіння чорнове Точіння чистове Шліфування	1,4 0,3 0,1	0,39 0,1 0,1

2.13. Визначення режимів різання.

Розрахунок режимів різання виконуємо для операції 010 Токарна з ЧПК, технологічного процесу механічної обробки деталі стержень шліцьовий.

Структура операції

1. Встановити і закріпити деталь.
2. Точити послідовно чотири поверхні деталі начорно з однієї сторони.
3. Точити одну поверхню деталі начорно з іншої сторони.
4. Точити послідовно чотири поверхні деталі начисто та чотири фаски
5. Точити послідовно дві канавки.
6. Нарізати різьбу.
7. Зняти деталь.

Вихідні данні: Токарний верстат з ЧПК HAAS SL-20

Різальні інструменти:

пер.2. Різець прохідний правий.

пер.3. Різець прохідний лівий.

пер.4. Різець прохідний правий.

пер.5. Різець канавочний.

пер.6. Різець різьбонарізний.

1. Визначення глибини різання:

t_1 = 1,9 мм; t_2 = 2,5мм; t_3 = 0,19мм; t_4 = 2,5мм; t_5 = 0,25х6 мм;

2. Визначення величини подачі:

Для переходів 2,3 – чорнове зовнішнє точіння - величина подачі визначається за формулою:

$S_o = S_{от} \cdot K_{si} \cdot K_{sp} \cdot K_{sд} \cdot K_{sh} \cdot K_{sl} \cdot K_{sn} \cdot K_{sφ} \cdot K_{sj} \cdot K_{sм}$;

де: $S_{от}$ - табличне значення величини подачі;

K_{si} - коефіцієнт від інструментального матеріалу;

K_{sp} - коефіцієнт від способу кріплення пластини;

$K_{sд}$ - коефіцієнт від діаметра деталі;

K_{sh} - коефіцієнт від стійкості різальної частини;

K_{sl} - коефіцієнт від вильоту різця;

K_{sn} - коефіцієнт від стану поверхні заготовки;

$K_{sφ}$ - коефіцієнт від геометричних параметрів різця;

K_{sj} - коефіцієнт від жорсткості верстата;

$K_{sм}$ - коефіцієнт від механічних властивостей оброблюваного матеріалу;

Таким чином величина подачі для переходів 2,3 становить:

$S_{o1,2}$ = 0,45 · 1,15 · 1,0 · 1,0 · 1,0 · 1,0 · 0,85 · 0,85 · 0,95 · 0,9 = 0,356 мм/об;

Для переходу 4 – точіння чистове становить:

S_{o3} = 0,17 · 1,0 · 0,85 · 1,2 · 1,15 = 0,199 мм/об;

Для переходу 5 – точіння канавки становить:

S_{o4} = 0,21 · 1,0 · 0,85 · 1,2 · 1,15 = 0,24 мм/об;

Для переходу 6 – нарізання різьби:

S_{o5} = $t_{різьби}$ = 1,5 мм/об;

Корегуємо отримані величини подач за паспортними даними верстата і приймаємо:

$S_{o\,1,2}$ = 0,35 мм/об; $S_{o\,3}$ = 0,2 мм/об; $S_{o\,4}$ = 0,2 мм/об;

3. Визначення швидкості різання:

$$V_{1,2,3} = \frac{C_V}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_V; \qquad V_{4,5} = \frac{C_V}{T^m \cdot S^y} \cdot K_V;$$

де: T – стійкість інструменту;

$T_{1,2,3}$ = 60хв; $T_{4,5}$ = 50хв;

$C_{V1,2,3}$ = 350; C_{V4} = 47; C_{V5} = 244;

$X_{1,2,3}$ = 0,15; X_4 = 0; X_5 = 0,23; $y_{1,2,3}$ = 0,35; y_4 = 0,8; y_5 = 0,3;

$m_{1,2,3,4,5}$ = 0,2;

$K_V = K_{MV} \cdot K_{NV} \cdot K_{IV} \cdot K_\varphi \cdot K_r$;

де: K_{MV} – коефіцієнт, що залежить від матеріалу заготовки;

K_{NV} – коефіцієнт від стану поверхні;

K_{IV} – коефіцієнт від матеріалу заготовки;

K_φ – коефіцієнт від кута;

K_r – коефіцієнт від радіуса при вершині різця.

$$K_{MV} = \left(\frac{750}{700}\right)^{1.0} = 1{,}03;$$

$K_{nv1,2}$ = 0,8; $K_{nv3,4,5}$ = 1.0; K_{iv} = 0,65; $K_{\varphi1,2,4}$ = 0,94; $K_{\varphi3,5}$ = 1,0;

$K_{r1,2}$ = 0.9; K_{r3} = 1.03.

$K_{V1,2}$ = 0,8 · 1,03 · 0,65 · 0,9 · 0,94 = 0,45;

K_{V3} = 1,03 · 1,0 · 0,65 · 0,7 · 1,03 = 0,48;

$K_{V4,5}$ = 1,03 · 1,0 · 0,65 · 0,7 = 0,47;

$$V_{1,2} = \frac{350}{60^{0.2} \cdot 2{,}5^{0{,}15} \cdot 0{,}35^{0{,}45}} \cdot 0{,}45 = \frac{350}{2{,}3 \cdot 1{,}16 \cdot 0{,}66} \cdot 0{,}45 = 89{,}5 м/хв;$$

$$V_3 = \frac{350}{60^{0.2} \cdot 0{,}19^{0{,}15} \cdot 0{,}2^{0{,}35}} \cdot 0{,}48 = 113 м/хв;$$

$$V_4 = \frac{47}{50^{0.2} \cdot 0{,}2^{0{,}8}} \cdot 0{,}47 = 39 м/хв;$$

$$V_6 = \frac{244}{50^{0.2} \cdot 1{,}5^{0{,}3}} \cdot 0{,}47 = 71 м/хв;$$

Визначення частоти обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot d};$$

$$n_{1,2} = \frac{1000 \cdot 89{,}5}{3{,}14 \cdot 45} = 633 хв^{-1};$$

$$n_3 = \frac{1000 \cdot 113}{3{,}14 \cdot 45} = 799 хв^{-1};$$

$$n_4 = \frac{1000 \cdot 39}{3{,}14 \cdot 45} = 276 хв^{-1};$$

$$n_5 = \frac{1000 \cdot 71}{3{,}14 \cdot 24} = 722 хв^{-1};$$

Визначені значення частот обертання шпинделя корегуємо за паспортними даними верстата:

$n_{1,2} = 630 хв^{-1}$;

$n_3 = 800 хв^{-1}$;

$n_4 = 250 хв^{-1}$;

$n_5 = 630 хв^{-1}$;

Дійсна швидкість різання:

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000};$$

$$V_{1,2} = \frac{3{,}14 \cdot 45 \cdot 630}{1000} = 89 м/хв;$$

$$V_3 = \frac{3{,}14 \cdot 45 \cdot 800}{1000} = 113 м/хв;$$

$$V_4 = \frac{3{,}14 \cdot 45 \cdot 250}{1000} = 35{,}3 м/хв.$$

$$V_5 = \frac{3{,}14 \cdot 24 \cdot 630}{1000} = 47{,}5 м/хв.$$

4. Визначення сили різання – перехід 2 – чорнове точіння.

$$P_Z = 10Cp \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_P;$$

Ср = 300; X = 1,0; y = 0,75; n = -0,15;

$K_P = K_{MP} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{YP} \cdot K_{\lambda P} \cdot K_{гр}$;

$$K_{MP} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^{0,75} = \left(\frac{700}{750}\right)^{0,75} = 0,8;$$

$K_{\varphi p} = 1,0$; $K_{YP} = 1,0$; $K_{\lambda P} = 1,0$; $K_{гр} = 0,98$;

$K_P = 0,8 \cdot 0,93 = 0,74$;

$P_Z = 10 \cdot 300 \cdot 2,5^{1,0} \cdot 0,35^{0,75} \cdot 89^{-0,15} \cdot 0,74 = 1287,5$Н;

Потужність різання: $N = \frac{P_Z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{1287,5 \cdot 89}{61200} = 1,87 КВт.$

При потужності електродвигуна верстата N = 11 кВт.

5. Визначення основного часу на обробку здійснюється за формулою:

$$t_0 = \frac{L_{P.X}}{n \cdot S};$$

де: $L_{P.X.}$ – довжина робочого ходу кожного інструменту по переходах – визначаємо за операційними ескізами:

$L_{P.X.1}$ = 116 мм; $L_{P.X.2}$ = 43 мм; $L_{P.X.3}$ = 120 мм; $L_{P.X.4}$ = 8 мм; $L_{P.X.5}$ = 108 мм;

$$t_1 = \frac{116}{630 \cdot 0,35} = 0,53 хв; \qquad t_2 = \frac{43}{630 \cdot 0,35} = 0,19 хв;$$

$$t_3 = \frac{120}{800 \cdot 0,2} = 0,75 хв; \qquad t_4 = \frac{8}{250 \cdot 0,2} = 0,16 хв;$$

$$t_5 = \frac{108}{630 \cdot 1,5} = 0,11 хв;$$

Сумарний основний час на обробку деталі на операції:

$\Sigma t_0 = 0,53 + 0,19 + 0,75 + 0,16 + 0,11 = 1,74$ хв;

На решту технологічних операцій механічної обробки заданих деталей елементи режимів різання визначаємо за довідниковими таблицями. Результати вибору наведені в таблиці 12.

Таблиця 12

Режими різання на операціях механічної обробки

Номер		$L_{Р.Х.}$, мм	t, мм	S, мм/об	S, мм/хв	V, м/хв	n, хв.$^{-1}$	t_0, хв.
Операції	Переходу							
005	2	140	2,0	-	238	120	400	0,4
	3	17	2,5	-	22	9,1	580	0,2
010	2	116	1,9	0,35	-	89	630	0,53
	3	43	2,5	0,35	-	89	630	0,19
	4	120	0,19	0,2	-	113	800	0,75
	5	8	2,5	0,2	-	35,3	250	0,16
	6	108	0,25	1,5	-	47,5	630	0,11
015	2	76	7,5	-	$0{,}08_{мм/зуб}$	23,5	250	0,44
	3	106	5,5	-	$0{,}14_{мм/зуб}$	100,5	400	0,32
	4	40	8,5	0,35	-	18,7	350	0,33
	5	12	3,0	0,2	-	14,4	200	0,15
	6	14	0,37	0,8	-	12,9	180	0,09
	7	2,0	1,0	0,4	-	14	180	0,01
	8	14	0,12	1,1	-	9,1	120	0,11
020	2	106	5,5	-	$0{,}14_{мм/зуб}$	100,5	400	0,32
	3	12	3,0	0,2	-	14,4	200	0,15
	4	14	0,37	0,8	-	12,9	180	0,09
	5	2,0	1,0	0,4	-	14	180	0,01
	6	14	0,12	1,1	-	9,1	120	0,11
	7	5,0	2,5	0,1	-	4,7	300	0,03
	8	28	2,0	0,2	-	6,3	500	0,28
025	2	125	4,2	1,2	-	23	110	7,9
035	2	12,5	0,1	0,07	-	$V_{кр}$=30м/с	$n_д$=100	0,34
	3	12,5	0,06	0,035	-	$V_{кр}$=35м/с	$n_д$=40	0,25
040	2	14	3,5	0,2	-	11	500	0,14
	3	30	0,5	1,0	-	2,5	100	0,3

2.14. Технічне нормування операцій.

Розрахунок норм часу виконуємо для операції 010 Токарна з ЧПУ технологічного процесу механічної обробки деталі стержень шліцьовий.

Для умов серійного типу виробництва визначаємо:

$$t_{шт.к} = t_{ц.а} + t_{д} + t_{Т.ОБ} + t_{від} + \frac{t_{п.з}}{n}, хв$$

де: $t_{ц.а}$ – час цикл автоматичної роботи верстату;

$t_{ц.а}$ містить в собі:

- час автоматичної роботи верстату; - $t_о$;
- машинно - допоміжний час;

$t_{м.д} = t_{м.дi} + t_{м.д.n}$;

де: $t_{м.дi}$ – машинно допоміжний час на зміну інструменту;

$t_{м.д.n}$ – машинно–допоміжний час на прискоренні переміщення.

$t_о = 1,74$ хв;

$t_{м.д.i}$ – для верстату мод. HAAS SL-20 час повороту револьверної головки та фіксації складає 0,07хв.

Для заміни інструментів на 5 позицій:

$t_{м.д.i} = 5 \cdot 0,07 = 0,35$хв;

$$t_{м.д.n} = \frac{2R + L_{n.n}}{S_{n.n.}};$$

де: R – величина шляху інструменту від нульового положення до деталі;

$L_{n.n}$ – довжина прискореного переміщення (з операційних ескізів);

R = 80мм;

$S_{n.n}$ = 10000мм/хв.

$L_{n.n1}$ = 465 мм; $L_{n.n2}$ = 604 мм; $L_{n.n3}$ = 465 мм;

$L_{n.n4}$ = 564 мм; $L_{n.n5}$ = 20 мм;

Тоді:

$$t_{М.Д.i1} = \frac{2 \cdot 80 + 465}{10000} = 0,06 хв;$$

$$t_{М.Д.i2} = \frac{2 \cdot 80 + 604}{10000} = 0,08 хв;$$

$$t_{М.Д.i.3} = \frac{2 \cdot 80 + 465}{10000} = 0{,}06 хв;$$

$$t_{М.Д.i.4} = \frac{2 \cdot 80 + 564}{10000} = 0{,}07 хв;$$

$$t_{М.Д.i.5} = \frac{2 \cdot 80 + 20}{10000} = 0{,}02 хв;$$

Тоді:

$\Sigma t_{м.д.i}$ = 0,06 + 0,08 + 0,06 + 0,07 + 0,02 = 0,29 хв;

$t_{м.д.i}$ = 0,35 + 0,29 = 0,64 хв;

Час цикл автоматичної роботи верстата:

$t_{ц.а} = t_о + t_{м.д.i}$ = 1,74 + 0,64 = 2,38 хв.

$t_д$ – допоміжний час на операцію;

$t_д = t_{вст.} + t_{д.кер} + t_{вим}$;

$t_{вст.}$ – час на встановлення деталі;

$t_{вст.}$ = 0,12хв.

$t_{д.кер.}$ – допоміжний час на виконання операції (керування верстатом).

$t_{д.кер}$ – 0,2хв;

$t_{вим.}$ – час на вимірювання;

$t_{вим.}$ = 1,3хв;

$t_д$ = 0,12 + 0,2 +1,3 = 1,62хв;

Оперативний час:

$t_{оп.} = t_{ц.а.} + t_д$ = 2,38 + 1,62 = 4,0 хв;

$t_{т.о} + t_{о.о} + t_{від}$ – час на технічне, організаційне обслуговування і час на відпочинок

$t_{т.о} = t_{о.о}$ = 4% $t_{о.п}$; = 0,16 хв.

$t_{від.}$ =4,5% $t_{о.п}$; = 0,18 хв;

$T_{п.з.}$ – підготовчо – заключний час;

$T_{п.з.}$ = 21хв ;

n – кількість деталей в партії; n = 40 шт;

Тоді:

$T_{шт.}$ = 4,0 + 0,16 + 0,16 + 0,18 = 4,5 хв;

$T_{шт.к}$ = 4,5 + 21/40 = 5,1 хв;

Визначення норм часу на виконання решти операцій здійснюється аналогічно, і результати розрахунків наведені в таблиці 13.

Таблиця 13.

Результати технічного нормування операцій

№ операції	$t_{о(ц.а)}$, хв.	$t_{д}$, хв.	$t_{оп.}$, хв.	$t_{т.об.}$, хв.	$t_{орг.об}$, хв.	$t_{від}$, хв.	$t_{шт}$, хв.	$t_{п.з.}$, хв.	$t_{шт.к}$, хв.
005	0,6	1,1	1,7	0,06	0,06	0,07	1,89	20	2,04
010	2,38	1,62	4,0	0,16	0,16	0,18	4,5	21	5,1
015	2,17	1,51	3,68	0,14	0,14	0,15	4,11	19	4,58
020	1,52	1,13	2,65	0,1	0,1	0,12	2,97	19	3,44
025	7,9	1,6	9,5	0,3	0,3	0,35	10,45	18	10,63
035	0,59	0,71	1,3	0,05	0,05	0,06	1,46	20	1,96
040	0,44	0,67	1,11	0,04	0,04	0,05	1,24	16	1,64

3. Наукова частина

3.1. Компоновка роботизованого технологічного комплексу

В даній роботі пропонується використати промисловий робот (ПР) у токарній операції. Створення роботизованого технологічного комплексу (РТК) надає ряд переваг, це покращення економічних показників, точності та якості виготовлення деталі, продуктивності та ін. Враховуючи особливості сучасного ринку, у процесі виробництва відбувається постійне оновлення продукції, зміна номенклатури деталей, випуск партіями і тд. Це все визначає серійний і дрібносерійний тип виробництва. В таких умовах дуже важлива гнучкість основного та додаткового технологічного обладнання. З цього і випливає актуальність використання промислових роботів.

У загальному випадку в РТК входять наступні компоненти: основне технологічне обладнання та допоміжне обладнання, до якого можна віднести ПР. Допоміжне устаткування виконує транспортні функції, функції накопичення і зберігання заготовок. Мають місце також технологічне спеціальне устаткування типу контрольно-вимірювальних пристроїв, установок для розмагнічування, таврування, системи автоматики РТК. Порівняємо два компонування РТК: РТК з підлоговим ПР та РТК з портальним ПР.

Компонування обох РТК забезпечує легкий доступ до устаткування при ремонті і наладці. Робоче місце оператора знаходиться поза робочою зоною промислового робота. Це забезпечує безпечну роботу оператора під час збоїв в роботі промислового робота. Компонування РТК дозволяє легко робити ремонт технологічного устаткування. У випадку з підлоговим роботом - легкий доступ для наладки і ремонту, ніж як у портального виконання. РТК з портальним ПР займає велику площу, складніше в установці і дорожче РТК за варіант з підлоговим ПР. Також є можливість при використанні підлогового робота більш компактно встановлювати додаткове технологічне обладнання. Тим самим вирівнюється такт виробництва при наявності більш трудоємких операцій.

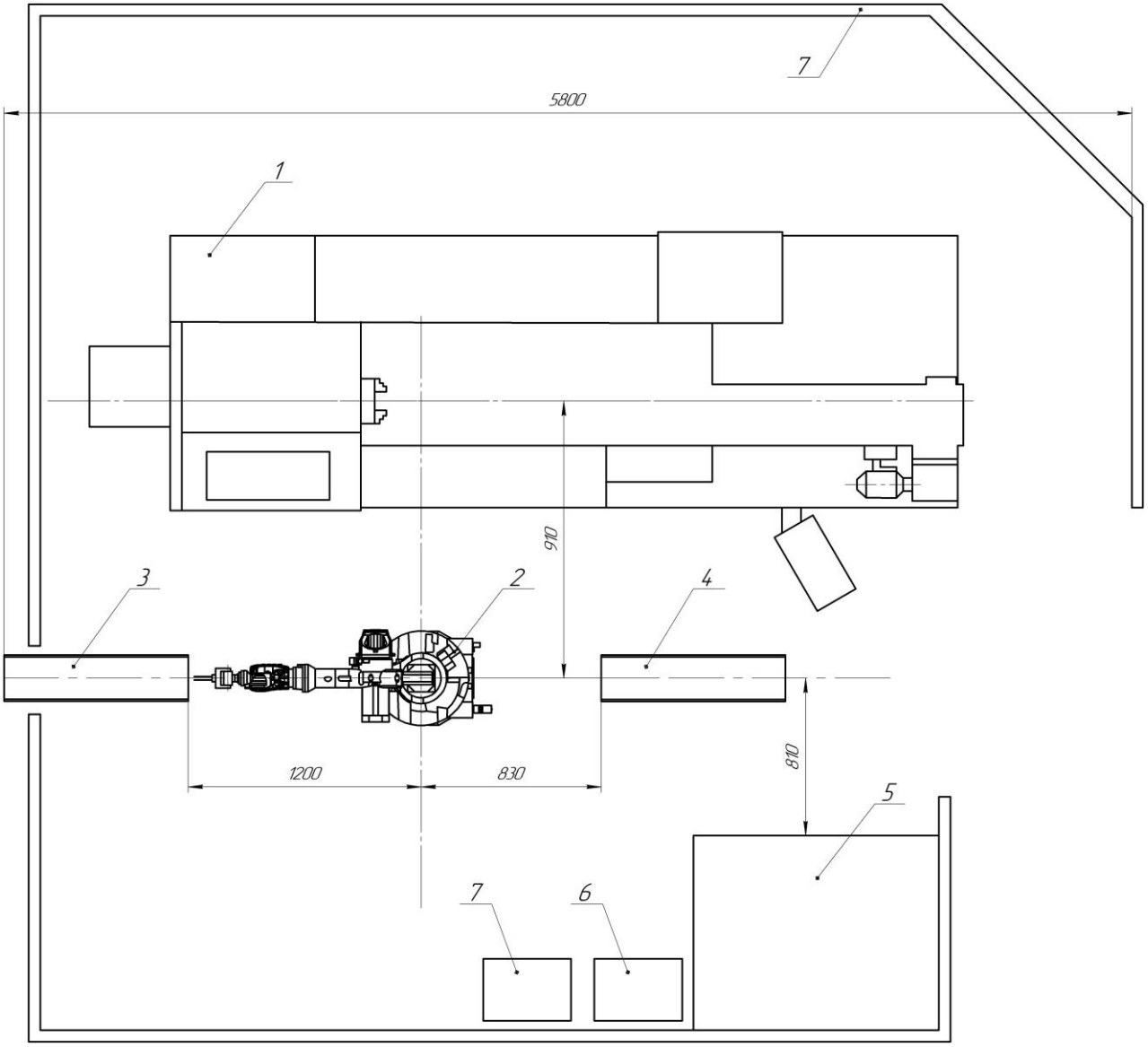


Рис. 3.1. Компонування РТК

На рис.3.1 зображено компонувальну схему запропонованого РТК, де 1 – верстат з ЧПК, 2 – промисловий робот, 3 – подавальний пристрій (подає заготовки або деталі з попередньої операції), 4 – приймальний пристрій (приймає деталі, вже оброблені на даній операції), 5 – місце оператора, 6 – шафа з системою керування промислового робота (також має пульт керування, який може встановлюватися в зоні роботи оператора), 7 – шафа з системою керування верстата з ЧПК. Застосування ПР значною мірою вирішує питання розвитку комплексної автоматизації виробництва з можливістю його швидкої переналадки на випуск нового виду продукції. ПР звільняє робітника від некваліфікованої монотонної і шкідливої для здоров'я праці, покращує умови безпеки робітників. Також застосування ПР дозволяє підвищити продуктивність

праці в 2-3 рази, збільшити змінність роботи устаткування і поліпшити ритмічність.

Для організації автоматизованого робочого місця для здійснення технологічного процесу обробки валу можна використати підлоговий промисловий робот моделі KUKA KR-16. KR-16 це промисловий робот з маніпулятором у формі руки, і це ідеальне рішення для економії простору і енергетичних витрат.

Основні технічні характеристики KR-6:

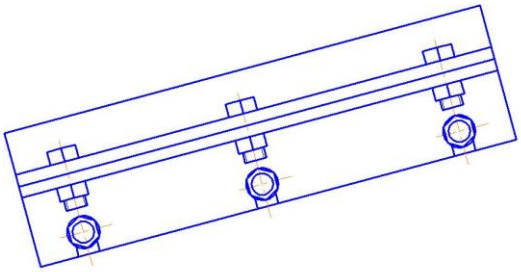
- вантажність 16 кг;
- додаткова вага (витримує колона) 30кг;
- робоча зона: максимальна досяжність 1611 мм, займана площа 14,5 м^2;
- кількість ступенів рухомості 6;
- точність позиціонування 0,1 мм;
- вага 235 кг.

Даного промислового робота представлено на рис.3.2.

Рис.3.2. Промисловий робот KUKA KR-16

Крім промислового робота в РТК також входять пристрої подавання та приймання оброблюваних деталей з інших позицій чи операцій. Дані пристрої виготовленні у вигляді лотків, які розташовані під кутом для скочування деталей зверху вниз до упора. Лоток (рис.3.3) виготовляється розбірним, та складається

з двох куточків. Куточок 1 - представляє бічні стінки лотка, куточок 2 - представляє напрямну кочення. Куточки сполучені засобами гвинтового з'єднання. В якості опор лотка застосовуємо планку 3. Відстань між бічними стінками лотка регулюється за допомогою розташування гайок на шпильці 4.



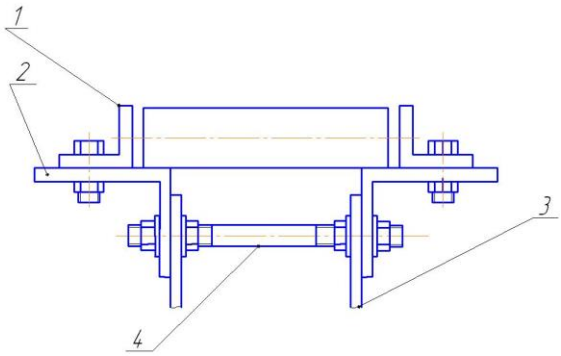


Рис. 3.3. Конструкція лотка

Отже, РТК на основі верстата моделі HAAS SL-20 та робота KUKA KR-16 дозволяє понизити час допоміжних операцій, тим самим, підвищивши продуктивність праці і ефективність виробництва. Підвищуючи продуктивність праці, відбувається зниження собівартості деталі, а, отже, і зниження ціни деталі. Так, застосовуючи РТК для усіх верстатів по технологічному процесу виготовлення деталі, досягають максимальної продуктивності і мінімальної собівартості виготовлення деталі. Крім того, застосовуючи такі автоматизовані системи, відбувається заміна важкої ручної праці людини на функцію контролю за роботою самого РТК, тобто відбувається поліпшення умов праці людини.

3.2.Розрахунок сил затиску деталі

Для якісного функціонування РТК доводиться вирішувати безліч проблем та задач, повязаних із якісною роботою верстатного комплексу. Однією з актуальних задач є розрахунок сил затиску в захватному пристрої робота з

урахуванням особливостей його функціонування. Вирішення даного питання з функціональної точки зору приводить до затиску деталі роботом із мінімально необхідними силами затиску. Завдяки цьому на поверхні деталі відсутні деформації та сліди захоплення деталі захватним пристроєм. Це особливо важливо при обслуговуванні роботом чистових операцій та затиску пустотілих деталей. З конструктивної точки зору перевагою точного розрахунку сил затиску призводить до зменшення масо-габаритних характеристик захватного пристрою. Тобто кінцева ланка незамкненої кінематичної схеми маніпулятора стає менш інерційною, що в свою чергу підвищує швидкість роботи маніпулятора, ресурс роботи та покращує точність позиціонування.

Тому пропонується розробити методику розрахунку сил затиску для горизонтально орієнтованого захватного пристрою, що відповідає схемі компонування РТК, представленої вище.

3.2.1. Розрахунок горизонтально розміщеного захвата при дії сили інерції вниз

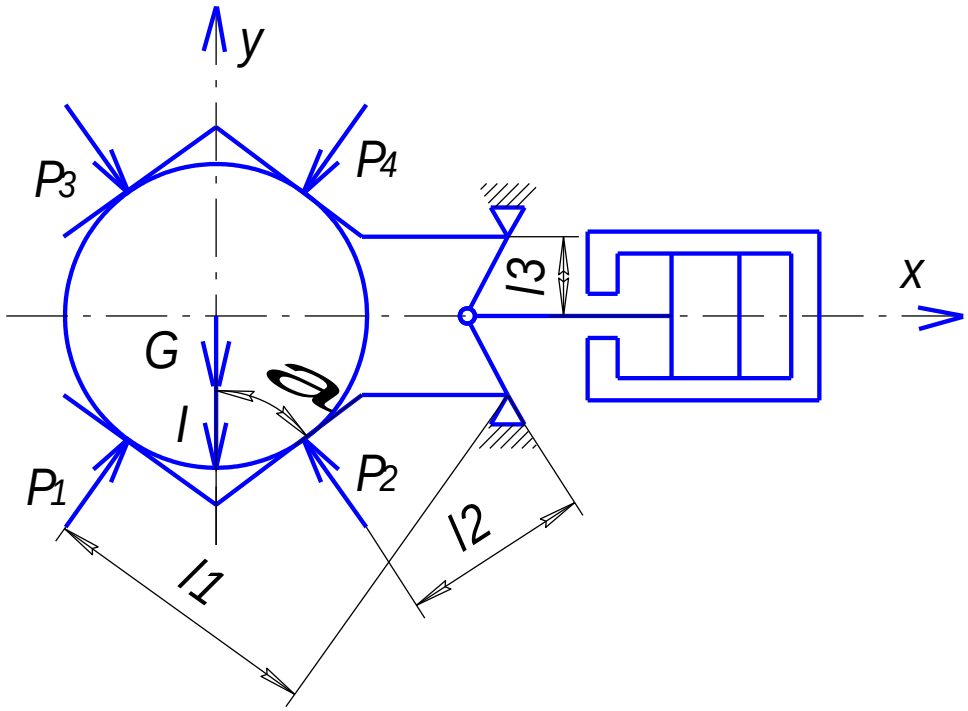


Рис.3.4. Розрахункова схема визначення сил затиску при дії сили інерції вниз

Розглянемо схему захвата робота при дії сили інерції вниз. Спочатку визначаємо мінімальні сили затиску, що діють на деталь. Для цього спроектуємо всі сили, які діють в системі, на вісі координат.

Вісь ох:

$P_1^x \cdot \cos\alpha - P_2^x \cdot \cos\alpha = 0$,

де α – половина кута призми;

Проекції даних сил на вісь ох компенсують одна одну, так як сили рівні між собою.

$P_1^x = P_2^x$

Вісь оу:

$P_1^y \cdot \sin\alpha + P_2^y \cdot \sin\alpha - I - G = 0$,

де I – сила інерції,

G - вага деталі.

Проекції сил на вісь оу рівні між собою $P_1^y = P_2^y$,

тому рівняння набуває вигляду:

$2P \cdot \sin\alpha = I + G$

Визначаємо значення сил $P_1 = P_2 = P$.

$$P = \frac{I + G}{2 \cdot \sin\alpha}$$

Сили затиску забезпечуються зусиллям, що виникає при роботі привода захвата. Визначемо це зусилля склавши рівняння рівноваги моментів.

$$Q \cdot l_3 = P_1 \cdot l_1 + P_2 \cdot l_2 = P(l_1 + l_2)$$

Звідки

$$Q = \frac{P(l_1 + l_2)}{l_3}$$

В той же час, зусилля на штоці можемо визначити.

$$Q = p(\frac{\pi D^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4})$$

D - діаметр циліндра;

d – діаметр штока;

p – тиск повітря чи рідини в приводі.

Приймемо що $d = D \cdot k$ тоді $Q = p\pi \frac{D^2}{4}(1-k)^2$,

Де к – коефіцієнт відношення діаметра штока (d) до діаметра циліндра (D)

$k = d / D$

Прирівнюючи два значення Q, визначаємо діаметр циліндра:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot p(1-k)^2}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot P(l_1 + l_2)}{\pi \cdot p(1-k)^2 \cdot l_3}} = \sqrt{\frac{4(I+G) \cdot (l_1 + l_2)}{2\sin\alpha\pi p(1-k)^2 \cdot l_3}} = \sqrt{\frac{2(I+G) \cdot (l_1 + l_2)}{\sin\alpha\pi \cdot p(1-k)^2 l_3}}$$

Величину сили інерції представимо як $I = a \cdot G$

де a – прискорення руху, яке можна визначити як частину (b) прискорення вільного падіння (g) $a = bg$

Тоді $I = b \cdot G$;

Відповідно: $D = \sqrt{\frac{2G(1+b) \cdot (l_1 + l_2)}{\sin\alpha\pi \cdot p(1-k)^2 l_3}}$

Для подальшого спрощення рівняння введемо слідуючи позначення:

$i = \frac{l_1 + l_2}{l_3}$ - передавальне відношення проміжних передач захвата;

$C_1 = 2(1+b)$ - показник інерційного навантаження на захват;

$C_2 = \pi p(1-k)^2$ - показник особливостей виконання привода захвата;

$C_3 = \frac{1}{\sin\alpha}$ - показник виконання затискних губок захвата.

Тоді кінцеве значення діаметра циліндра привода захвата набуде вигляду:

$$D = \sqrt{\frac{G \cdot C_1 \cdot i}{C_2}}$$

Приймаючи, що $C = \frac{i \cdot C_1 \cdot C_3}{C_2}$ тоді $D = \sqrt{C \cdot G}$.

3.2.2. Розрахунок вертикально розміщеного захвата при дії сили інерції вниз

Додамо ще одну розрахункову схему при вертикально орієнтованому захватному пристрої. Щоб передбачити зміну орієнтації захвата з деталлю при

захопленні деталі з подавального пристрою та встановленні її на приймальний пристрій (лоток).

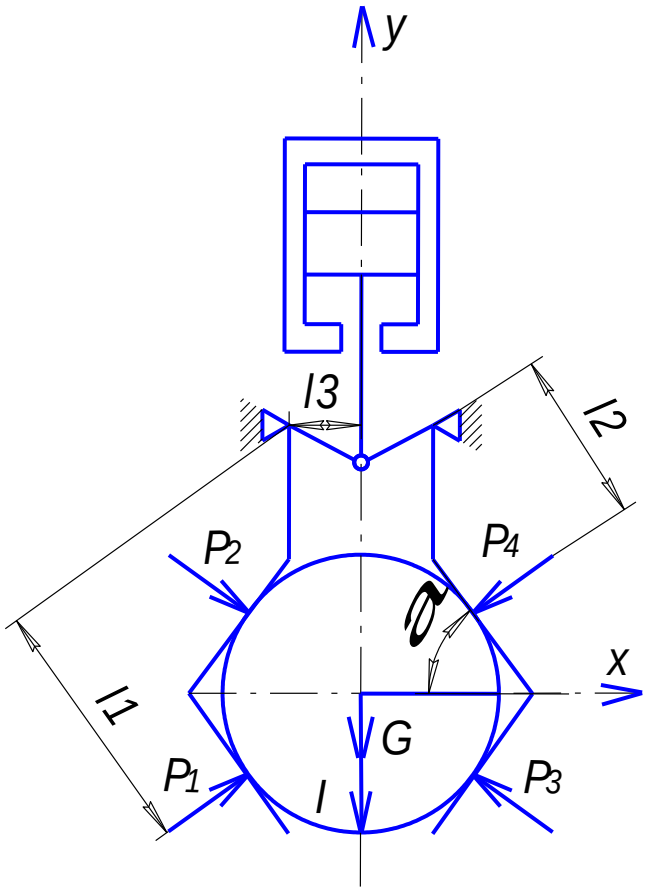


Рис.3.5. Розрахункова схема визначення сил затиску при дії сили інерції вниз та вертикальній орієнтації

Розглянемо схему захвата робота при дії сили інерції строго вниз.

Спочатку визначаємо мінімальні сили затиску, що діють на деталь. Для цього спроектуємо всі сили, які діють в системі.

Вісь OX:

$$P_1^x \cdot \sin\alpha - P_3^x \cdot \sin\alpha = 0,$$

де α – половина кута призми;

Проекції даних сил на вісь ох компенсують одна одну, так як сили рівні між собою.

$P_1^x = P_3^x$

Вісь оу:

$$P_1^y \cdot \cos\alpha + P_3^y \cdot \cos\alpha + F_1 \sin\alpha + F_2 \sin\alpha - I - G = 0,$$

де I – сила інерції,

G - вага деталі.

F_1, F_2 – сили тертя, які виникають внаслідок дії сили інерції між деталлю і призмами захвата.

$F_1 = F_2 = f \cdot P$ де f – коефіцієнт тертя.

Проекції сил на вісь оу рівні між собою $P_1^y = P_3^y$, тому рівняння набуває вигляду:

$$2P \cdot \cos\alpha + 2f \cdot P \sin\alpha = I + G$$

Визначаємо значення сил P_1 і P_2.

$$P = \frac{I + G}{2(\cos\alpha + f \cdot \sin\alpha)}$$

Сили затиску забезпечуються зусиллям, що виникає при роботі привода захвата. Визначемо це зусилля склавши рівняння рівноваги моментів.

$Q = Q_1 + Q_2$ В свою чергу $Q_1 = Q_2$

$$Q_1 \cdot l_3 = P_1 \cdot l_1 \quad Q_2 \cdot l_3 = P_3 \cdot l_1 \quad P_1 = P_3 = P$$

$$Q \cdot l_3 = 2P \cdot l_1$$

Звідки $Q = \dfrac{2P \cdot l_1}{l_3}$

В той же час, зусилля на штоці можна визначити: $Q = p(\dfrac{\pi D^2}{4} - \dfrac{\pi d^2}{4})$

Приймемо що $d = D \cdot k$ тоді $Q = p\pi \dfrac{D^2}{4}(1-k)^2$, де

k – коефіцієнт відношення діаметра штока (d) до діаметра циліндра (D) $k = d / D$

D - діаметр циліндра;

d – діаметр штока;

ρ – тиск повітря чи рідини в приводі.

Прирівнюючи два значення Q, визначаємо діаметр циліндра: $D = \sqrt{\dfrac{4 \cdot Q}{\pi \cdot p(1-k)^2}}$

$$D=\sqrt{\frac{4\cdot 2P\cdot l_1}{\pi\cdot p(1-k)^2\cdot l_3}}=\sqrt{\frac{8(I+G)\cdot l_1}{2(\cos\alpha+f\cdot\sin\alpha)\pi p(1-k)^2\cdot l_3}}=$$

$$\sqrt{\frac{4(I+G)\cdot l_1}{\pi\cdot p(1-k)^2 l_3(\cos\alpha+f\cdot\sin\alpha)}}$$

Величину сили інерції представимо як $I=a\cdot G$

Де a – прискорення руху, яке можна визначити як частину (b) прискорення вільного падіння (g) $a=bg$

Тоді $I=b\cdot G$; Відповідно: $D=\sqrt{\frac{4G(1+b)\cdot l_1}{\pi\cdot p(1-k)^2 l_3(\cos\alpha+f\cdot\sin\alpha)}}$

Для подальшого спрощення рівняння введемо слідуючі позначення

$i=\frac{l_1}{l_3}$ - передавальне відношення проміжних передач захвата;

$C_1=4(1+b)$ - показник інерційного навантаження на захват;

$C_2=\pi p(1-k)^2$ - показник особливостей виконання приводу захвата;

$C_3=\frac{1}{(\cos\alpha+f\cdot\sin\alpha)}$ - показник виконання затискних губок захвата.

Тоді кінцеве значення діаметра циліндра привода захвата набуде вигляду:

$D=\sqrt{\frac{G\cdot C_1\cdot i}{C_2}}$,приймаючи, що $C=\frac{i\cdot C_1\cdot C_3}{C_2}$ тоді $D=\sqrt{C\cdot G}$.

3.2.3. Розрахунок горизонтально розміщеного захвата при дії сили інерції в напрямку вісі деталі

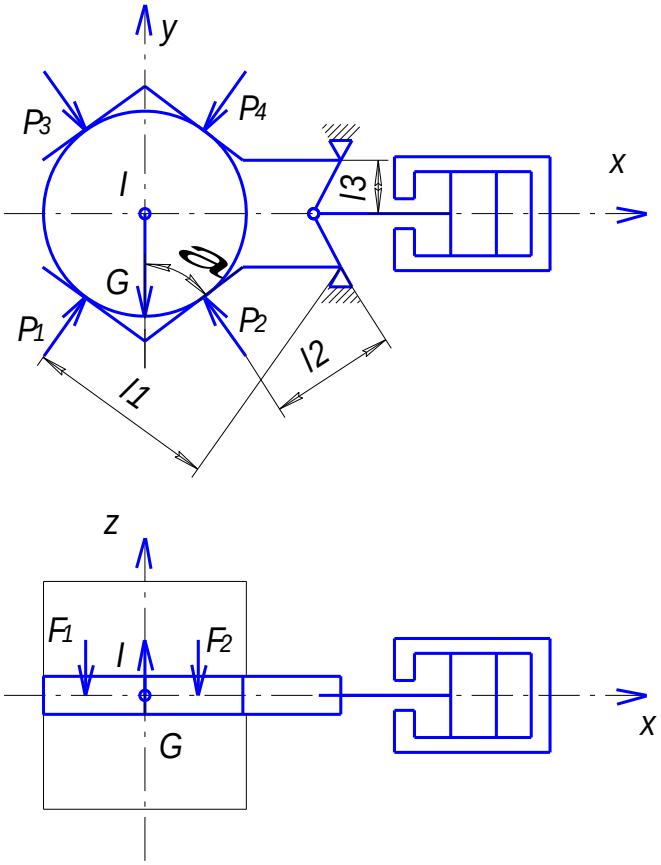


Рис.3.6. Розрахункова схема визначення сил затиску при дії сили інерції вздовж вісі деталі

Розглянемо схему захвата робота при дії сили інерції в напрямку вісі деталі.

Спочатку визначаємо мінімальні сили затиску, що діють на деталь. Для цього спроектуємо всі сили, які діють в системі, на вісі координат.

Вісь ох:

$$-P_1^x \cdot \cos\alpha + P_3^x \cdot \cos\alpha = 0,$$

де α – половина кута призми;

Проекції даних сил на вісь ох компенсують одна одну, так як сили рівні між собою.

$P_1^x = P_3^x$

Вісь оу:

$$P_1^y \cdot \sin\alpha + P_3^y \cdot \sin\alpha - G = 0,$$

G - вага деталі.

Проекції сил на вісь оу рівні між собою $P_1^y = P_3^y$,

тому рівняння набуває вигляду:

$2P \cdot \sin\alpha = G$

Визначаємо значення сил P_1 і P_2.

$$P = \frac{G}{2\sin\alpha}$$

Вісь oz: $I - F_1 - F_2 - F_3 - F_4 = 0$

де I – сила інерції,

F_1, F_2, F_3, F_4 – сили тертя, які виникають внаслідок дії сили інерції між деталлю і призмами захвата.

$F_1 = F_2 = F_3 = F_4 = f \cdot P$ де f – коефіцієнт тертя.

Враховуючи вище сказане $P_1^z = \dfrac{I}{4f}$.

В цілому ж значення сили P визначемо як суму її складових:

$$P_1^z = P_3^z = \frac{G}{2\sin\alpha} + \frac{I}{4f} = \frac{2G \cdot f + I \cdot \sin\alpha}{4f\sin\alpha}.$$

Величину сили інерції представимо як $I = a \cdot G$

Де a – прискорення руху, яке можна визначити як частину (q) прискорення вільного падіння (g) $a = qg$

Приймаючи до уваги, що $I = q \cdot G$ значення сил P набуде вигляду:

$$P = \frac{G(2f + qg\sin\alpha)}{4f\sin\alpha}$$

Сили затиску забезпечуються зусиллям, що виникає при роботі привода захвата. Визначемо це зусилля склавши рівняння рівноваги моментів.

$Q \cdot l_3 = P_1 \cdot l_1 + P_3 \cdot l_2$ в той же час: $P_1 = P_3 = P$

$Q \cdot l_3 = 2P \cdot (l_1 + l_2)$

Звідки $Q = \dfrac{2P \cdot (l_1 + l_2)}{l_3}$

Зусилля на штоці визначимо:

D - діаметр циліндра;

d – діаметр штока;

p – тиск повітря чи рідини в приводі

$$D=\sqrt{\frac{4\cdot 2P\cdot(l_1+l_2)}{\pi\cdot p(1-k)^2\cdot l_3}}=\sqrt{\frac{2G(2f+b\sin\alpha)\cdot(l_1+l_2)}{f\cdot\sin\alpha\pi p(1-k)^2\cdot l_3}}$$

Для подальшого спрощення рівняння введемо слідуючі позначення:

$i=\frac{l_1+l_2}{l_3}$ - передавальне відношення проміжних передач захвата;

$C_1\cdot C_3=\frac{2(f+b\sin\alpha)}{f\cdot\sin\alpha}$ - показник інерційного навантаження на захват та показник виконання затискних губок захвата;

$C_2=\pi p(1-k)^2$ - показник особливостей виконання приводу захвата.

Тоді кінцеве значення діаметра циліндра привода захвата набуде вигляду:

$D=\sqrt{\frac{G\cdot C_1\cdot i}{C_2}}$, приймаючи, що $C=\frac{i\cdot C_1\cdot C_3}{C_2}$ тоді $D=\sqrt{C\cdot G}$.

3.2.4Розрахунок горизонтально розміщеного захвата при дії сили інерції вниз (заготовка розміщена вертикально)

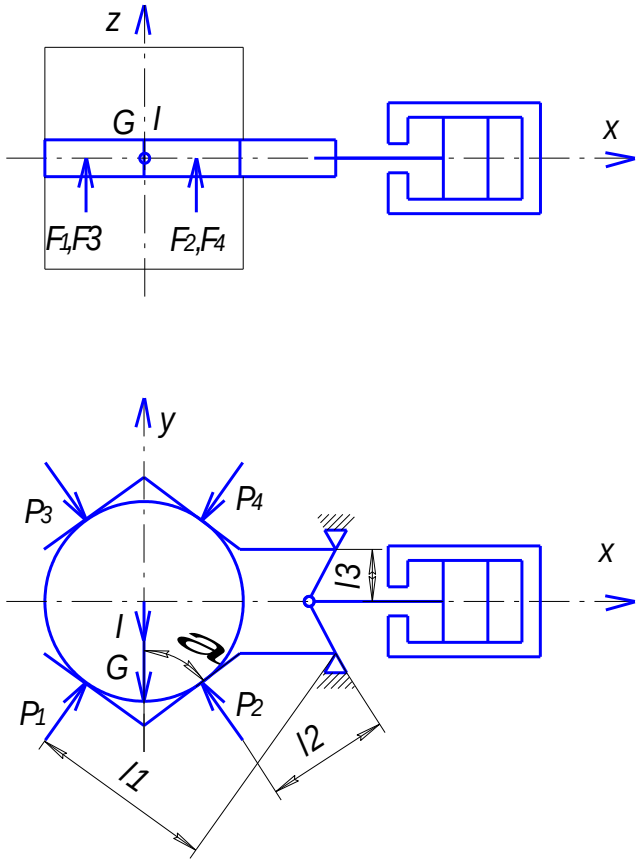


Рис.3.7. Розрахункова схема визначення сил затиску при дії сили інерції вниз при горизонтальній орієнтації деталі

Спочатку визначаємо мінімальні сили затиску, що діють на деталь. Для цього спроектуємо всі сили, які діють в системі, на вісі координат.

Вісь ох:

$$-P_1^x \cdot \cos\alpha - P_2^x \cos\alpha + P_3^x \cdot \cos\alpha + P_4^x \cos\alpha = 0,$$

де α – половина кута призми;

Проекції даних сил на вісь ох компенсують одна одну, так як сили рівні між собою.

$$P_1^x = P_3^x = P_2^x = P_4^x$$

Вісь оу:

$$P_1^y \cdot \sin\alpha + P_3^y \cdot \sin\alpha - P_2^y \sin\alpha - P_4^y \sin\alpha = 0,$$

Проекції даних сил на вісь оу компенсують одна одну, так як сили рівні між собою.

$$P_1^y = P_3^y = P_2^y = P_4^y$$

Вісь oz: $F_1 + F_2 + F_3 + F_4 - G - I = 0$

де I – сила інерції,

F_1, F_2, F_3, F_4 – сили тертя, які виникають внаслідок дії сили інерції між деталлю і призмами захвата.

$F_1 = F_2 = f \cdot P$ де f – коефіцієнт тертя.

G - вага деталі.

Проекції сил на вісь oz рівні між собою $P_1^z = P_2^z = P_3^z = P_4^z$

тому рівняння набуває вигляду: $4P \cdot f = G + I$

Визначимо знчення сил P : $P = \dfrac{G + I}{4f}$

Сили затиску забезпечуються зусиллям, що виникає при роботі привода захвата. Визначемо це зусилля склавши рівняння рівноваги моментів.

$Q \cdot l_3 = 2P_1 \cdot l_1 + 2P_2 \cdot l_2$ в той же час: $P_1 = P_2 = P$

$$Q \cdot l_3 = 2P \cdot (l_1 + l_2)$$

Звідки $Q = \dfrac{2P \cdot (l_1 + l_2)}{l_3}$

Зусилля на штоці визначимо: $Q = p(\dfrac{\pi D^2}{4} - \dfrac{\pi d^2}{4})$

D - діаметр циліндра;

d – діаметр штока;

p – тиск повітря чи рідини в приводі

Приймемо що $d = D \cdot k$ тоді $Q = p\pi \frac{D^2}{4}(1-k)^2$

к – коефіцієнт відношення діаметра штока (d) до діаметра циліндра (D) $k = d / D$

Прирівнюючи два значення Q, визначаємо діаметр циліндра:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot p(1-k)^2}}$$

Величину сили інерції представимо як $I = a \cdot G$

Де a – прискорення руху, яке можна визначити як частину (b) прискорення вільного падіння (g) $a = bg$

Приймаючи до уваги, що $I = b \cdot G$: $D = \sqrt{\frac{4 \cdot 2P \cdot (l_1 + l_2)}{\pi \cdot p(1-k)^2 \cdot l_3}} = \sqrt{\frac{2G(1+b) \cdot (l_1 + l_2)}{f \cdot \sin\alpha \pi p(1-k)^2 \cdot l_3}}$

Для подальшого спрощення рівняння введемо слідуючі позначення

$i = \frac{l_1 + l_2}{l_3}$ - передавальне відношення проміжних передач захвата;

$C_1 = 2(1+b)$ - показник інерційного навантаження на захват;

$C_2 = \pi p(1-k)^2$ - показник особливостей виконання приводу захвата;

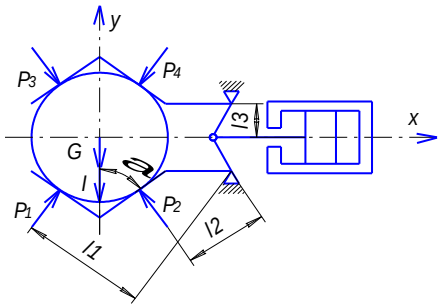
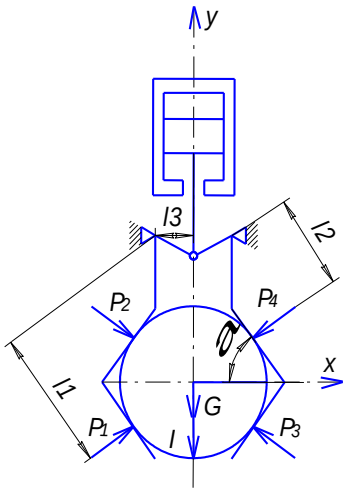
$C_3 = \frac{1}{f \cdot \sin\alpha}$ - показник виконання затискних губок захвата.

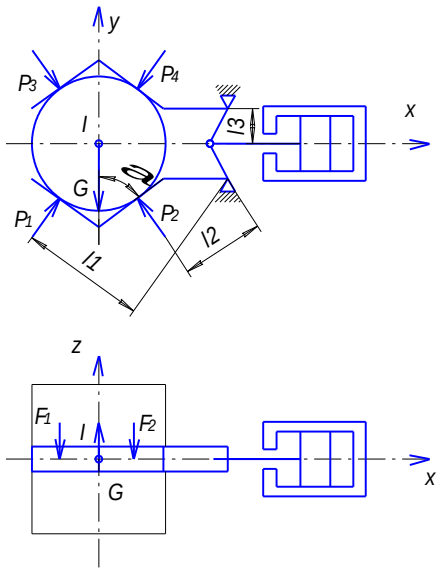
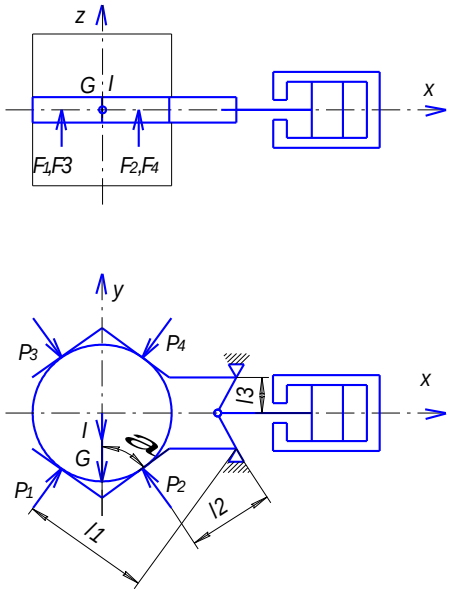
Тоді кінцеве значення діаметра набуде вигляду: $D = \sqrt{\frac{G \cdot C_1 \cdot i}{C_2}}$ Приймаючи, що $C = \frac{i \cdot C_1 \cdot C_3}{C_2}$ тоді $D = \sqrt{C \cdot G}$.

Дані розрахунків зведемо у підсумкову таблицю 3.1.

Таблиця 3.1

Сили затиску та діаметри циліндрів для різних розрахункових схем

№	Розрахункова схема	Сили затиску	Діаметр циліндра	Постійні сталі
1	2	3	4	5
1		$P_1 = P_3 = \frac{I+G}{2\cdot\sin\alpha}$ $P_2 = 0$ $P_4 = 0$	$D = \sqrt{\frac{2G(1+b)\cdot(l_1+l_2)}{\sin\alpha\pi\cdot p(1-k)^2 l_3}}$ $D = \sqrt{\frac{G\cdot C_1\cdot i\cdot C_3}{C_2}}$	$i = \frac{l_1+l_2}{l_3}$ $C_1 = 2(1+b)$ $C_2 = \pi p(1-k)^2$ $C_3 = \frac{1}{\sin\alpha}$
2		$P_1 = \frac{I+G}{2(\cos\alpha + f\cdot\sin\alpha)}$ $P_2 = \frac{I+G}{2(\cos\alpha + f\cdot\sin\alpha)}$ $P_2 = 0$ $P_4 = 0$	$D = \sqrt{\frac{4G(1+b)\cdot l_1}{\pi\cdot p(1-k)^2 l_3(\cos\alpha + f\cdot\sin\alpha)}}$ $D = \sqrt{\frac{G\cdot C_1\cdot i\cdot C_3}{C_2}}$	$i = \frac{l_1}{l_3}$ $C_1 = 4(1+b)$ $C_2 = \pi p(1-k)^2$ $C_3 = \frac{1}{(\cos\alpha + f\cdot\sin\alpha)}$

1	2	3	4	5
		$P_1 = \frac{G(2\cdot f + b\cdot\sin\alpha)}{4f\sin\alpha}$ $P_3 = \frac{G(2\cdot f + b\sin\alpha)}{4f\sin\alpha}$ $P_2 = 0$ $P_4 = 0$	$D = \sqrt{\frac{2G(2f + b\sin\alpha)(l_1 + l_2)}{f\sin\alpha\pi\rho(1-k)^2\cdot l_3}}$ $D = \sqrt{\frac{G\cdot C_1\cdot i\cdot C_3}{C_2}}$	$i = \frac{l_1 + l_2}{l_3}$; $C_1\cdot C_3 = \frac{2(f + b\sin\alpha)}{f\cdot\sin\alpha}$; $C_2 = \pi p(1-k)^2$
		$P_1 = \frac{G+I}{4f}$ $P_3 = \frac{G+I}{4f}$ $P_2 = 0$ $P_4 = 0$	$D = \sqrt{\frac{2G(1+b)\cdot(l_1 + l_2)}{f\sin\alpha\pi\rho(1-k)^2\cdot l_3}}$ $D = \sqrt{\frac{G\cdot C_1\cdot i\cdot C_3}{C_2}}$	$i = \frac{l_1 + l_2}{l_3}$ $C_1 = 2(1+b)$ $C_2 = \pi p(1-k)^2$ $C_3 = \frac{1}{f\cdot\sin\alpha}$

Висновок.

Таким чином дослідивши зміну сил затиску захвата при переміщенні в різних напрямках і при різному розташуванні захватного пристрою можна стверджувати, що при збільшенні ваги деталі по ряду R10 (φ=1,6) діаметр циліндра, що забезпечує відповідні сили затиску по ряду R5 (φ=1,26).

Обґрунтування цієї залежності слідуючі: при затиску деталі вагою G_1, діаметр циліндра буде:

$$D_1 = \sqrt{G_1 \cdot C}$$

Якщо перейдемо до затиску слідуючої деталі по ряду R10 вагою:

$$G_2 = 1{,}6 \cdot G_1$$

То необхідний діаметр циліндра буде:

$$D_2 = \sqrt{1{,}6 \cdot G \cdot C}$$

Відповідно при збільшенні ваги в 1,6 рази діаметр циліндра повинен збільшитись в 1,26 раз.

$$D_2 = 1{,}26\sqrt{D_1}$$

3.3. Дослідження сил затиску та побудова відповідних залежностей

Отже вплив на сил затиску P1, P2, P3, P4 має такий показник як сила ваги G, також сила інерції може мати різне направлення Pi і відповідно конструктивні характеристики захватного пристрою. Розділимо умовно деталь на 4 квадранта та отримаємо 4 варіанта для розрахунку сил затиску P1, P2, P3, P4. Як перший крок пропонується розглянути як впливає сила інерції та конструктивні параметри на сили затиску P1, P2, P3, P4 у випадку коли сила інерції у I квадранті.

При дослідженні впливу конструктивних параметрів захватного пристрою на сили затиску бачимо, що в даному випадку мають вплив наступні кути: кут призми γ; кут напрямку сили інерції β; кут розміщення вершини призми φ.

Визначимо найбільш характерні параметри вказаних показників, які відповідають особливостям роботи промислового робота і його захватного пристрою, враховуючи напрямки рухів, орієнтацію, розміри деталі та ін. Отже:

- кут призми γ (60°,90°,120°,150°);
- кут напрямку сили інерції β (0°,45°,90°, 135°,180°);
- кут розміщення вершинки призми φ (0°,5°,15°);

Для зручності розрахунків та звільнення від необхідності прийняття додаткових умов приймемо, що сила інерції Pi = 1, а також сила ваги дорівнює G = 1, і відповідно приймемо коефіцієнт тертя f = 0,12.

Прийнявши всі умови дослідимо вплив представлених кутів на сили затиску захватного пристрою, а також побудуємо залежності сил затиску від кута призми γ, кута напрямку сили інерції β та кута розміщення вершини призми φ.

Спочатку дослідимо вплив кута призми γ на сили затиску захватного пристрою.

Отже розрахуємо сили затиску при визначених параметрах кутів:

- кут призми γ (60°,90°,120°,150°);
- кут напрямку сили інерції β (0°, 90°);
- кут розміщення вершинки призми φ (0°,5°);

Результати розрахунків зводимо у таблицю 3.2.

Таблиця 3.2.

Розрахункові значення сил затиску при зміні кута призми

Значення кутів			Значення сил затиску		
φ	β	γ	P2	P3	P4
0°	0°	60°	1,1	0	1,1
		90°	1,25	0	1,25
		120°	1,7	0	1,7
		150°	2,7	0	2,7
5°	0°	60°	1,04	0	1,04
		90°	1,2	0	1,2
		120°	1,5	0	1,5

		150°	2,2	0	2,2
0°	90°	60°	0,53	1	1,53
		90°	0,63	0,71	1,34
		120°	0,83	0,58	1,41
		150°	1,33	0,52	1,85
5°	90°	60°	0,52	1,04	1,5
		90°	0,59	0,77	1,23
		120°	0,77	0,66	1,26
		150°	1,1	0,68	1,45

Будуємо залежності сил затиску P1, P2, P3, P4 від кута призми γ (Рис 3.8.а, 3.8.б, 3.8.в, 3.8.г).

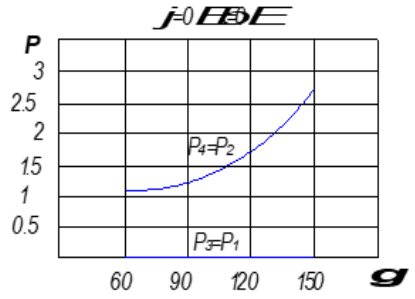


Рис.3.8.а

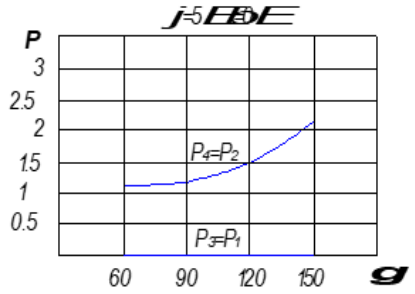


Рис.3.8.б

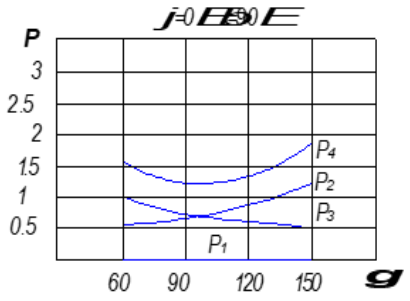


Рис.3.8.в

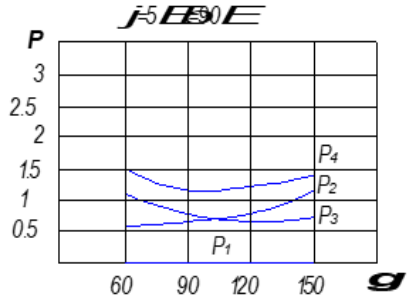


Рис.3.8.г

Рис.3.8. Залежності сил затиску P1, P2, P3, P4 від кута призми γ

Зробимо висновки з побудованих графіків: якщо кут вершини призми буде дорівнювати φ=0, а кут напрямку сили інерції β=0 то сили затиску при збільшенні кута призми γ від 60˚ до 150˚ P4= P2 будуть збільшуватися, P1=P3=0 (рис. 3.8.а), а тому кут призми γ необхідно вибирати в межах від 60˚ до 90˚, якщо

будемо збільшувати кут напрямку сили інерції від 0 до 90˚, тоді сила Р2 буде збільшуватись, а сила Р3- зменшуватися і сила Р4 - буде збільшуватися, тому кут призми рекомендуємо для даного випадку вибирати від 90˚- 120˚ (рис. 3.8.в).

Якщо будемо змінювати кут розміщення вершини призми, в межах до φ=5˚, то тоді при збільшенні кута призми γ від 60˚ до 150˚ і при значенні кута дії сили інерції β=0 сили Р4= Р2 будуть збільшуватися, Р1=Р3=0 (рис. 3.8.а), а отже і кут призми γ рекомендуємо вибирати в межах від 60˚- 90˚ (рис. 3.8.б).

При збільшенні кута напрямку сили інерції β від 0 до 90˚, сила Р2 почне збільшуватися, Р3 – навпаки почне зменшуватися, сила Р4 - почне збільшуватися, враховуючи такі тенденції кут призми рекомендуємо вибирати в межах від 90˚- 120˚ (рис. 3.8.г).

Далі пропонуємо розглянути вплив кута розміщення вершини призми φ на сили затиску.

Визначимося із показниками відповідних кутів:

- кут напрямку сили інерції β (0°, 45° , 90°);
- кут призми γ (120°);
- кут розміщення вершинки призми φ (0°, 5°, 15°).

Зведемо розраховані значення сил затиску у таблицю 3.3.

Таблиця 3.3.

Розрахункові значення сил затиску при зміні кута розміщення вершини призми

Значення кутів			Значення сил затиску		
γ	β	φ	Р2	Р3	Р4
120°	0°	0° 5° 15°	1,7 1,5 1,25	0 0 0	1,7 1,5 1,25
120°	45°	0° 5° 15°	1,43 1,32 1,1	0,41 0,47 0,58	1,84 1,66 1,31
120°	90°	0° 5° 15°	0,83 0,77 0,63	0,58 0,66 0,81	1,41 1,26 0,93

Отже побудуємо залежності сил затиску P1, P2, P3, P4 від кута розміщення вершини призми (рис. 3.9.а, 3.9.б, 3.9.в).

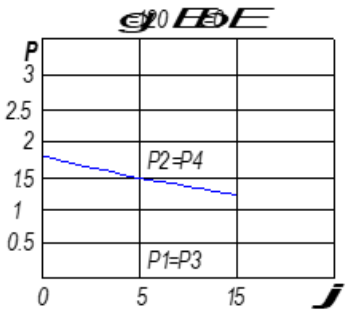


Рис.3.9.а

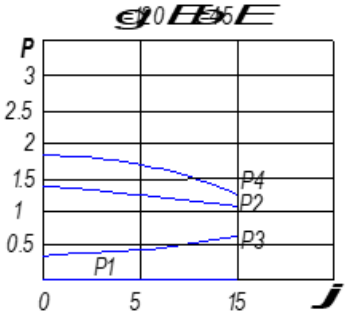


Рис.3.9.б

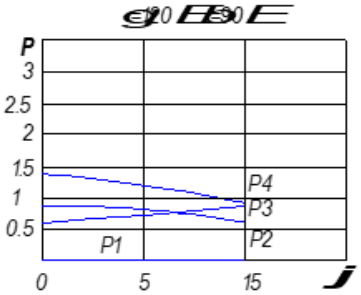


Рис.3.9.в

Рис.3.9. Залежності сил затиску P1, P2, P3, P4 від кута розміщення вершини призми φ

Отже, зробимо висновки згідно побудованих залежностей: при збільшенні кута зміщення вершини призми та значенні кута напрямку сили інерції β = 0˚ сила затиску P2 = P4 – буде зменшуватися, а сили затиску будуть дорівнювати P3 = P1 = 0, тому кут зміщення вершини призми захватного пристрою вибираємо в інтервалі від 5˚ до 15˚ (рис.3.2а). Якщо будемо збільшувати кут напрямку сили інерції в межах від 0˚ до 90˚, тоді P3 – буде збільшуватися P2 – буде зменшуватися, P4 – також почне зменшуватися, тому кут розташування вершини призми вибираємо в межах від 10˚ до 15˚ (рис. 3.2.б, 3.2в).

Пропонується розрахувати сумарну силу затиску для сил P1 та P2 за вище наведеною формулою та відобразити результати розрахунків у таблиці Таблиці 3.4

Таблиця 3. 4

Результати розрахунків сумарної сили

φ˚	β˚	γ˚	P3	P4	R2	δ˚	R2cosδ˚
0	0	60	0	1,1	1,1	0	1,1
		90	0	1,25	1,25	0	1,25
		120	0	1,7	1,7	0	1,7
		150	0	2,7	2,7	0	2,7
0	45	60	0,71	1,64	1,4	34	1,2
		90	0,5	1,6	1,68	28	1,5
		120	0,41	1,84	2,1	20	2
		150	0,37	2,67	3	12	2,9
0	90	60	1	1,53	1,35	20	1,27
		90	0,71	1,34	1,52	17	1,45
		120	0,58	1,41	1,77	13	1,72
		150	0,52	1,85	2,3	9	2,27
5	0	60	0	1,04	1,04	0	1,04
		90	0	1,2	1,2	0	1,2
		120	0	1,5	1,5	0	1,5
		150	0	2,2	2,2	0	2,2
5	45	60	0,74	1,56	1,35	37	1,1
		90	0,54	1,46	1,56	30	1,35
		120	0,47	1,66	1,94	23	1,8
		150	0,49	2,1	2,5	14	2,4
5	90	60	1,04	1,5	1,33	22	1,23
		90	0,77	1,23	1,45	18	1,4
		120	0,66	1,26	1,69	15	1,6
		150	0,68	1,45	2,1	10	2,07

Згідно результатів розрахунків побудуємо графіки залежності сумарних сил затиску від кута затискної призми γ рисунок 3.10а, 3.10б, 3.10в, 3.10г.

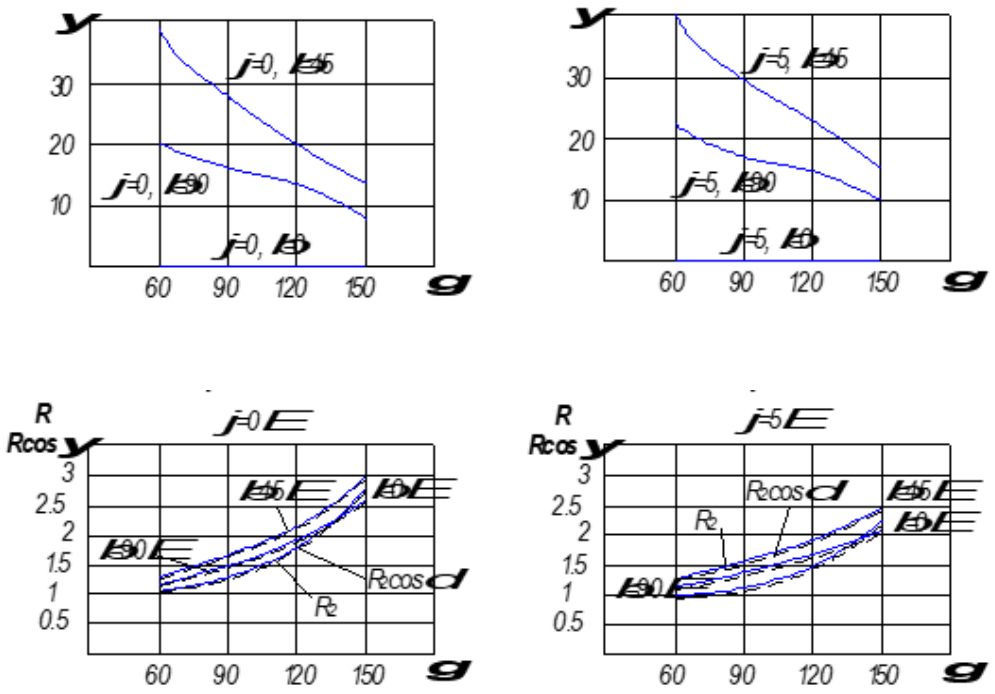


Рис.3.10. Залежності сумарних сил затиску від кута затискної призми

За представленими залежностями зробимо наступні висновки:

1. При збільшенні кута призми кут направлення сумарної сили затиску Ψ зменшується.
2. При збільшенні кута напрямку сили інерції β від 0 до 45˚ кут направлення сумарної сили затиску збільшується , а потім зменшується.
3. При збільшенні кута вершини призми від 0 до 15˚ кут направлення сумарної сили затиску збільшується.
4. При збільшенні кута призми від 0˚ до 150˚ сумарна сила затиску збільшується, тому кут призми вибираємо від 60˚ - 120˚.
5. При збільшенні кута напрямку сили інерції від β = 0˚ до 180˚, сумарна сила затиску почне збільшуватися до β = 45˚, а потім почне зменшуватися, тому кут напрямку сили інерції вибираємо в межах від 45˚ до 180˚.
6. Якщо збільшувати кут розміщення вершини призми, сумарна сила затиску буде зменшуватися.

Побудуємо графіки впливу кута напрямку сили інерції на сили затиску. Для цього потрібно розрахувати сили затиску при наступних значеннях кутів:

- кут призми γ (120°);
- кут напрямку сили інерції β (0°,45°, 90°);
- кут розміщення вершини призми φ (0°,5°);

Результати розрахунку сил затиску відобразимо у таблиці 3.5 – 3.8. (за умови, що Pi = G).

Таблиця 3.5.

Результати розрахунку сумарних сил затиску. Квадрант I.

Значення кутів			Значення сил затиску									
φ	β	γ	P2	P3	P4	R2	δ	R2cosδ	R1	ψ	R1cosψ	R
0°	0° 45° 90°	120°	1,7 1,43 0,83	0 0,41 0,58	1,7 1,84 1,41	1,7 2,1 1,8	0 20 14	1,7 2,08 1,75	1,7 1,43 0,83	30 30 30	1.5 1,24 0,72	3,2 3,34 2,47

Таблиця 3.6.

Результати розрахунку сумарних сил затиску. Квадрант II.

Значення кутів			Значення сил затиску									
φ	β	γ	P2	P3	P4	R2	δ	R2cosδ	R1	ψ	R1cosψ	R
0°	0° 45° 90°	120°	0,83 0,24 0	0,58 0,41 0	1,41 0,65 0	1,8 0,93 0	14 7 0	1,75 0,92 0	0,83 0,24 0	30 30 0	0,72 0,21 0	2,47 1,13 0

Таблиця 3.7.

Результати розрахунку сумарних сил затиску. Квадрант III.

Значення кутів			Значення сил затиску									
φ	β	γ	P1	P2	P4	R1	ψ	R1cosψ	R2	δ	R2cosδ	R
0°	0° 45° 90°	120°	0 0,41 0,58	1,7 1,84 1,41	1,7 1,43 0,83	1,7 2,1 1,8	0 20 14	1,7 2,1 1,75	1,7 1,43 0,83	30 30 30	1.5 1,24 0,72	3,2 3,34 2,47

Таблиця 3.8.

Результати розрахунку сумарних сил затиску. Квадрант IV.

Значення кутів			Значення сил затиску									
φ	β	γ	P1	P2	P4	R1	ψ	R1cosψ	R2	δ	R2cosδ	R
0°	0° 45° 90°	120°	1,41 0,65 0	0,58 0,41 0	0,83 0,24 0	1,8 0,93 0	14 7 0	1,75 0,92 0	0,83 0,24 0	30 30 0	0,72 0,21 0	2,47 1,13 0

Побудуємо графіки впливу кута напрямку сили інерції на сили затиску (рисунок 3.11).

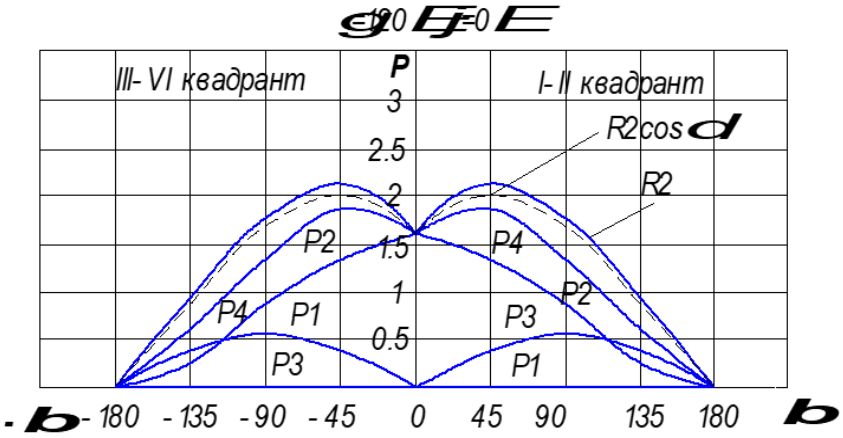


Рис.3.11. Графіки впливу кута напрямку сили інерції на сили затиску

Отже, як впливає кут напрямку сили інерції β: при збільшенні кута β від 0˚ до 180 ˚ коли сила інерції знаходиться у межах I – II квадрантів при збільшенні кута вершини призми φ від 0˚ до 15˚, сила затиску P2 - зменшується, P4 – збільшується до β = 45˚, а потім зменшується, P3 – збільшується до β = 90˚, а потім зменшується, P1 = 0, тому кут призми вибираємо в межах від 45˚ до 135˚. Якщо сила інерції знаходиться в межах III – IV квадрантів, при зміні кута β від 0 до 180 ˚ сила P4 - зменшується, P2 – збільшується до β = 45˚, а потім зменшується, P1 – збільшується до β = 90˚, а потім починає зменшуватися, P3 = 0, тому рекомендуємо кут призми вибирати від 45˚ до 135˚ (рис. 3.11).

Побудуємо також графіки впливу напрямку сили інерції на сумарні сили затиску (рис. 3.12, 3.13)

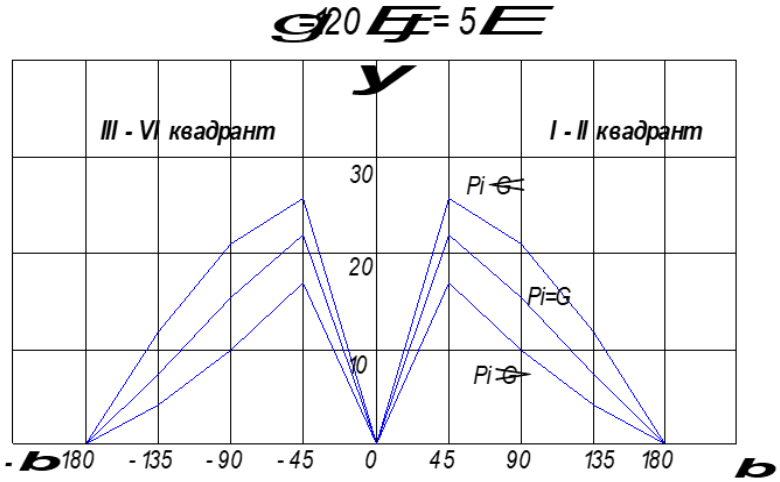


Рис.3.12. Графіки впливу кута напрямку сили інерції на сумарні сили затиску

Отже, за умови що Pi≤ G , то кут напрямку сумарної сили затиску при збільшенні кута напрямку сили інерції β від 0 до 180 ˚ буде збільшуватися β = 45˚ , а потім почне зменшуватися. У випадку коли Pi = G то кут напрямку

сумарної сили затиску при збільшенні кута напрямку сили інерції β від 0 до 180˚ збільшується β = 45 ˚ , а потім буде зменшуватися. За умови що Pi ≥ G то кут напрямку сумарної сили затиску при збільшенні кута напрямку дії сили інерції β від 0 до 180 ˚ збільшується β від 45 ˚ , а потім починає зменшуватися.

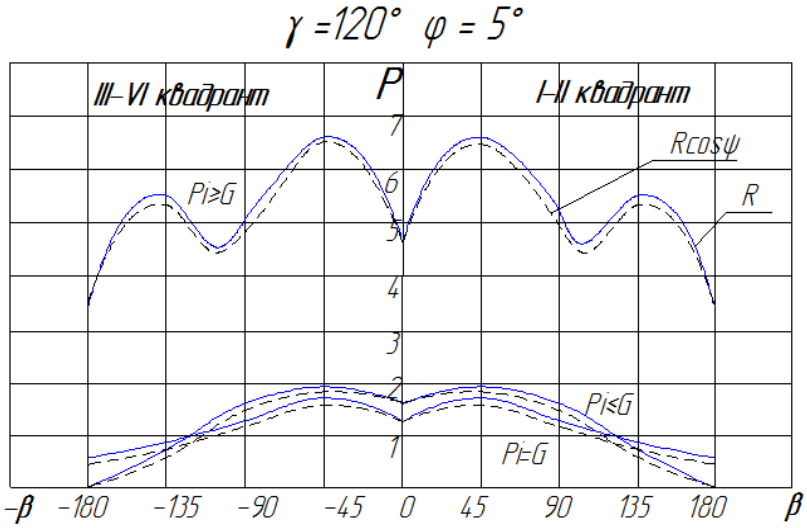


Рис.3.13. Графіки впливу кута напрямку дії сили інерції на сумарні сили затиску

Отже, за умови що Pi≤ G сумарна сили затиску при збільшенні кута дії сили інерції β від 0˚ до 180 ˚ збільшується до β = 45 ˚ , а потім починає зменшуватися, тому кут напрямку дії сили інерції вибираємо від 90 ˚ до 180˚. За умови коли Pi = G сумарна сили затиску при збільшенні кута дії сили інерції β від 0˚ до 180 ˚ збільшується до β = 45 ˚, а потім починає зменшуватися, тому кут напрямку дії сили інерції вибираємо від 90 ˚ до 180˚. За умови що Pi ≥ G сумарна сили затиску при збільшенні кута дії сили інерції β від 0˚ до 180 ˚ збільшується до β = 45 ˚, а потім зменшується до β = 90 ˚, потім знову збільшується до значення кута β = 135˚ і зменшується до β = 180 ˚, тому кут напрямку дії сили інерції вибираємо від 90 ˚ до 180˚.

Пропонується побудувати графік залежності сумарних сил затиску від кута напрямку дії сили інерції β (рис. 3.14) див. табл.3.9.

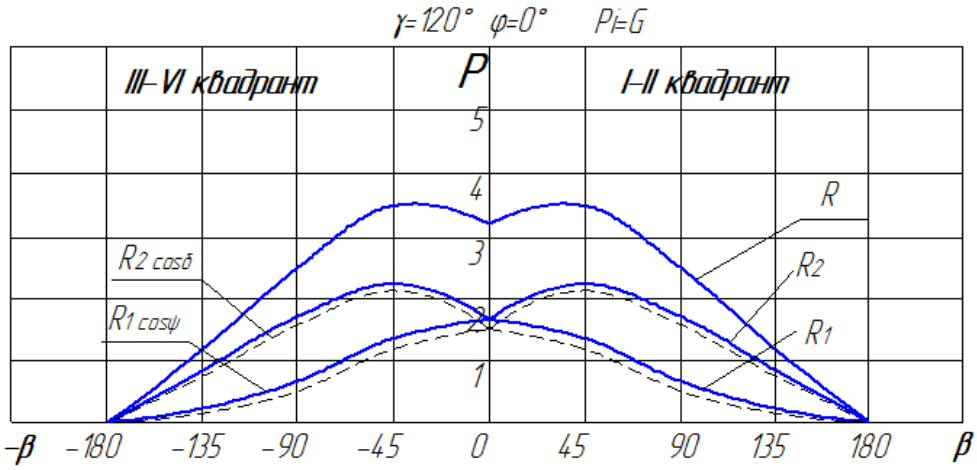


Рис.3.14. Графіки впливу кута напрямку дії сили інерції на сумарні сили затиску

Отже, при збільшенні кута дії сили інерції β від 0˚ до 180˚ сумарна сила затиску R1 на першому важелі – зменшується, сумарна сила затиску R2 на другому важелі – збільшується до значення кута β = 45˚, а потім зменшується, загальна сумарна сила затиску R збільшується до значення кута β = 45˚, а потім зменшується тому кут напрямку дії сили інерції рекомендується приймати в інтервалі від 45˚ до 180˚.

Пропонується також для досліджень побудувати графіки залежності сумарних сил затиску від кута призми γ, для цього внесемо відповідні показники у таблицю 3.9.

Таблиця 3.9

Результати розрахунку сил затиску при зміні кута затискних призм

φ˚	β˚	γ˚	P3	P4	R2	δ	R2cosδ	R1	ψ	R1cosψ	R
0	0	60	0	1,1	1,1	0	1,1	1,1	0	1,1	2,2
		90	0	1,25	1,25	45	0,9	1,25	45	0,9	1,8
		120	0	1,7	1,7	30	1,5	1,7	30	1,5	3
		150	0	2,7	2,7	15	2,61	2,7	15	2,61	5,22
0	45	60	0,71	1,64	1,4	34	1,2	0,93	0	0,93	2,13
		90	0,5	1,6	1,68	28	1,5	1,1	45	0,78	2,28
		120	0,41	1,84	2,1	20	2	1,43	30	1,24	3,24
		150	0,37	2,67	3	12	2,9	2,3	15	2,2	5,1

Згідно з отриманими показниками побудуємо графіки залежності сумарних сил затиску від кута призми γ (рис. 3.15, 3.16).

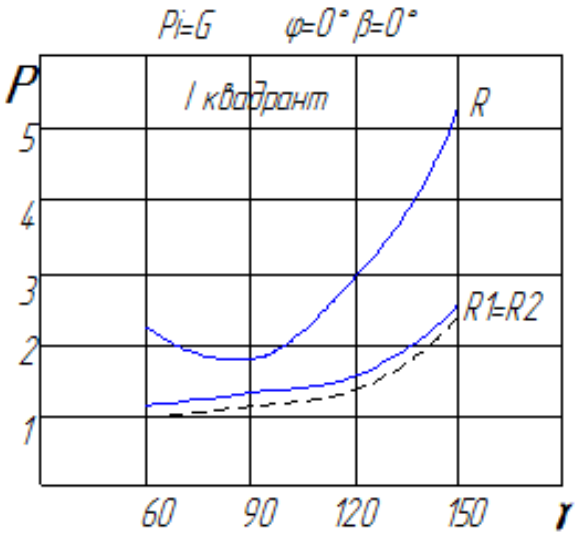


Рис.3.15. Графіки впливу кута затискних призм на сумарні сили затиску при β = 0˚ (вертикальний рух)

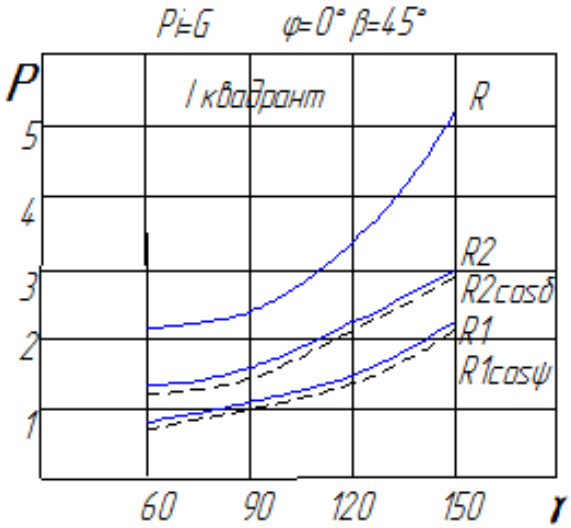


Рис.3.16. Графіки впливу кута затискних призм на сумарні сили затиску при β = 45˚ (суміщений рух)

Отже, за отриманими результати можливо зробити наступні висновки: збільшенні кута призми γ від 60˚ до 150˚ при значенні кута зміщення вершини призми φ = 0˚ та кута напрямку дії сили інерції β = 0˚ сумарна сила затиску збільшується, тоді кут призми рекомендується вибирати в межах від 60˚ до 120˚. Коли кут напрямку дії сили інерції β = 45˚ сумарні сили затиску R1 та R2 – збільшуються, а тому загальна сумарна сила затиску R також збільшується, а отже кут затискних призм рекомендується вибирати у інтервалі від 60˚ до 120˚.

4. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ РОБОТА

4.1. Загальні вихідні дані

Для вирішення питання про економічну ефективність модернізованої конструкції в якості бази для порівняння приймаємо робот KUKA KR16, який послужив основою для модернізації.

Використання нової конструкції у роботизованому комплексі з токарним верстатом Haas SL-20 сприятиме вирішенню трьох завдань:

- покращення умов праці робітників-операторів, зокрема завдяки усуненню ручної малокваліфікованої праці;
- підвищення продуктивності праці на 10-12% за рахунок економії допоміжного часу (табл. 4.1);
- скорочення потреби в робочій силі.

Крім того, завдяки можливості швидкого переналагоджування промислового робота для виконання різних завдань, підвищується ефективність його використання за рахунок чергування великої номенклатури оброблюваних деталей.

Таблиця 4.1

Зміна структури штучного часу

№ з/п	Норма часу	Базовий варіант	Новий варіант
1.	Цикловий час, хв.	3,43	3,43
2.	Допоміжний час, хв.	0,33	0,08
3.	Оперативний час обробки деталі, хв.	3,77	3,51
4.	Час на обслуговування робочого місця, хв. (6% від оперативного часу)	0,22	0,20
5.	Час на особисті потреби, хв. (4% від оперативного часу)	0,15	-
6.	Штучний час обробки деталі, хв.	4,14	3,72
7.	Час налагодження обладнання, хв.	20	23

Загальні техніко-економічні показники базового та проектного варіантів зведено до табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Загальні вихідні техніко-економічні показники базового та нового верстатів

№ п/п	Показник	Одиниця	Варіанти	
			базовий	проект
1.	Програма виробництва деталей	шт./рік	10000	10000
2.	Штучний час обробки деталі	хв.	4,14	3,72
3.	Площа, яку займає обладнання	$м^2$	0,52	0,52
4.	Встановлена потужність електродвигунів: - верстата - робота	кВт	15 10	15 13
6.	Категорія ремонтної складності: механічної/електричної частин	УРО	15/12	19/12
7.	Розряд роботи: - оператора - наладчика	розряд розряд	3 6	3 6
8.	Оптова ціна - верстата - робота	грн.	752000 83200	752000 -

4.2. Визначення експлуатаційних витрат (собівартості обробки)

Розрахунок виконуємо за формулою:

$$B_{\text{е}} = \sum_{i=1}^{m} B_{\text{і}} , \qquad (4.1)$$

де $B_з$ – витрати на заробітну плату основну, додаткову та відрахування на соціальні потреби основних робітників, грн.;

$B_е$ – витрати на силову електроенергію, грн.;

$B_{мд}$ – витрати на допоміжні матеріали. грн.;

$B_р$ – витрати на ремонт обладнання, грн.;

$B_п$ – витрати на утримання приміщення, грн.;

$B_а$ – витрати на амортизацію обладнання, грн.;

$B_н$ – витрати на амортизацію обладнання, грн.

Витрати на заробітну плату основну, додаткову та відрахування на соціальне страхування оператора:

$$B_з = C_г \frac{T_{шт}}{60} \cdot (1 + K_д) \cdot (1 + K_с), \quad (4.2)$$

де $T_{шт}$ – штучний час виготовлення деталі, хв.;

$K_д$, $K_с$ – коефіцієнти додаткової зарплати та відрахувань на соціальне страхування відповідно.

В базовому варіанті:

$$B_{зб} = 70{,}181 \cdot \frac{4{,}14}{60} \cdot (1 + 0{,}1) \cdot (1 + 0{,}22) = 6{,}4986 \text{ грн.};$$

В проектному варіанті:

$$B_{зп} = 70{,}181 \cdot \frac{3{,}72}{60} \cdot (1 + 0{,}1) \cdot (1 + 0{,}22) = 5{,}8394 \text{ грн.}$$

Витрати на електроенергію силову:

$$B_е = \frac{N_в \cdot K_о \cdot K_N \cdot K_д}{\eta_м \cdot \eta_с} \cdot \frac{T_{шт}}{60} \cdot Ц_{ел}, \quad (4.3)$$

де $N_в$ – встановлена потужність електродвигунів роботизованого комплексу, кВт;

$K_о$ – коефіцієнт одночасної роботи моторів ($K_о$=0,65...0,8);

K_N – коефіцієнт, який враховує завантаження електродвигунів за потужністю (для токарних верстатів K_N=0,5...0,6);

$K_д$ – коефіцієнт, який враховує завантаження електродвигунів за часом($K_д$=0,3...0,5);

$\eta_с$ – середній коефіцієнт корисної дії електродвигунів ($\eta_с$=0,86...0,9);

$\eta_м$ – коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії в мережі підприємства ($\eta_м$=0,92...0,96);

$Ц_{ел}$ – ціна 1 кВт-год силової електроенергії, грн.

$$B_{\text{ел}}^{\text{баз}} = \frac{25,0 \cdot 0,7 \cdot 0,5 \cdot 0,4}{0,88 \cdot 0,95} \cdot \frac{4,14}{60} \cdot 7,50 = 2,1672 \text{ грн.},$$

$$B_{\text{ел}}^{\text{пр}} = \frac{28,0 \cdot 0,7 \cdot 0,6 \cdot 0,4}{0,88 \cdot 0,95} \cdot \frac{3,72}{60} \cdot 7,50 = 2,6142 \text{ грн.}$$

Витрати на допоміжні матеріали:

$$B_{\text{мв}} = \frac{M_{\text{гв}} \cdot R_{\text{м}} \cdot T_{\text{шт}}}{60 \cdot 100} \cdot K_{\text{п}}, \qquad (4.4)$$

де $M_{\text{гв}}$ – годинні витрати на допоміжні матеріали на 1 УРО механічної частини всіх типів обладнання, коп.;

$R_{\text{м}}$ – категорія складності ремонту механічної частини обладнання, УРО;

$K_{\text{п}}$ – коефіцієнт, який враховує тип виробництва (для серійного $K_{\text{п}}$ = 1,0).

$$B_{\text{дм}}^{\text{баз}} = \frac{79,5 \cdot 11,0 \cdot 4,14}{60 \cdot 100} \cdot 1,0 = 0,8230 \text{ грн.},$$

$$B_{\text{дм}}^{\text{пр}} = \frac{79,5 \cdot 19,0 \cdot 3,728}{60 \cdot 100} \cdot 1,0 = 0,9357 \text{ грн.}$$

Витрати на ремонт обладнання:

$$B_{\text{р}} = \frac{R_{\text{м}} \cdot Г_{\text{вм}} + R_{\text{е}} \cdot Г_{\text{ве}}}{F_{\text{дрм}}} \cdot \frac{T_{шт}}{60}, \qquad (4.5)$$

де $Г_{\text{вм}}$, $Г_{\text{ве}}$ – відповідні річні витрати на всі види ремонту на 1 УРО механічної та електричної частин вузла, грн./рік;

$F_{\text{дрм}}$ – дійсний річний фонд часу роботи верстата (при двозмінному режимі роботи для серійного виробництва – 3950 год.).

$$B_{\text{р}}^{\text{баз}} = \frac{15 \cdot 880 + 12 \cdot 720}{3980} \cdot \frac{4,14}{60} = 0,4096 \text{ грн.},$$

$$B_{\text{р}}^{\text{пр}} = \frac{19 \cdot 880 + 12 \cdot 720}{3980} \cdot \frac{3,72}{60} = 0,4269 \text{ грн.}$$

Витрати на утримання приміщення:

$$B_{\text{уп}} = \frac{F_{\text{о}} \cdot K_{\text{д}} \cdot C}{F_{\text{дрм}}} \cdot \frac{T_{шт}}{60}, \qquad (4.6)$$

де $F_{\text{о}}$ – виробнича площа, яку займає одиниця обладнання, м^2;

$K_{\text{д}}$ – коефіцієнт, який враховує додаткову площу (на проходи, проїзди, побутові та службові приміщення);

C – річні витрати, пов'язані з використанням 1 м^2 виробничого приміщення, грн/м^2.

$$B_{\text{уп}}^{\text{баз}} = \frac{0,52 \cdot 4,0 \cdot 4,14}{3980 \cdot 60} \cdot 780 = 0,0304 \text{ грн.},$$

$$B_{\text{уп}}^{\text{пр}} = \frac{0,52 \cdot 4,0 \cdot 3,72}{3980 \cdot 60} \cdot 780 = 0,0273 \text{ грн.}$$

Витрати на амортизацію роботизованого комплексу:

$$B_{\text{а}} = \frac{Ф_{\text{бал}} \cdot H_{\text{а}}}{F_{\text{дрм}} \cdot 100} \cdot \frac{T_{шт}}{60}, \qquad (4.7)$$

де $H_{\text{а}}$ – норма амортизації, %;

$Ф_{\text{бал}}$ – балансова вартість обладнання, грн.

Балансову вартість обладнання знайдемо за формулою:

$$Ф_{\text{бал}} = Ц_{\text{опт}} \cdot \left(1 + K_{\text{тр}} + K_{\text{м}} + K_{\text{Ф}}\right), \qquad (4.8)$$

де $Ц_{\text{опт}}$ – оптова ціна обладнання, грн.;

$K_{\text{тр}}$, $K_{\text{м}}$, $K_{\text{Ф}}$ – відповідно коефіцієнти, які враховують транспортування (0,05...0,1), монтаж (0,04...0,06) та влаштування фундаменту (0,02...0,08).

Таким чином, балансова вартість обладнання:

- верстата:

$$Ф_{\text{бал.в}} = 752000 \cdot \left(1 + 0,08 + 0,06 + 0,05\right) = 894880 \text{ грн.},$$

- базового робота:

$$Ф_{\text{бал.р}}^{баз} = 83200 \cdot \left(1 + 0,08 + 0,06 + 0,05\right) = 99008 \text{ грн.},$$

За попередніми прогнозами вартість робіт з проєктування та модернізації робота складають 5% від його вартості. Таким чином, ціна модернізованого робота складе 83200×1,05=87360 грн., а його балансова вартість:

$$\Phi_{\text{бал.р}}^{баз} = 87360 \cdot (1 + 0,08 + 0,06 + 0,05) = 103959 \text{ грн.},$$

$$B_{\text{а}}^{\text{б}} = \frac{(894880 + 99008) \cdot 15 \cdot 4,14}{3980 \cdot 60 \cdot 100} = 2,5846 \text{ грн.},$$

$$B_{\text{а}}^{\text{пр}} = \frac{(894880 + 103959) \cdot 15 \cdot 3,72}{3980 \cdot 60 \cdot 100} = 2,3340 \text{ грн.}$$

Витрати на налагодження роботизованого комплексу:

$$B_н = C_{гн} \cdot (1 + K_д) \cdot (1 + K_c) \cdot \frac{T_{пз} \cdot A}{60 \cdot N_д}, \qquad (4.9)$$

де $C_{гн}$ – годинна тарифна ставка наладчика, грн./год.;

A – кількість налагоджень за рік;

$T_{пз}$ – підготовчо-заключний мас (час налагодження), хв.;

$N_д$ – річна програма випуску деталей, шт./рік.

$$B_н^{баз} = 103,972 \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) \cdot \frac{20 \cdot 12}{60 \cdot 10000} = 0,0558 \text{ грн.},$$

$$B_н^{пр} = 103,972 \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) \cdot \frac{23 \cdot 12}{60 \cdot 10000} = 0,0642 \text{ грн.}$$

Результати розрахунків зводимо до табл. 4.3.

Таблиця 4.3

Експлуатаційні витрати (собівартість обробки)

№ п/п	Експлуатаційні витрати	Умовне познач.	Варіанти	
			Базовий	Проектний
1.	Заробітна плата основна, додаткова з відрахуваннями у соціальні фонди	$B_з$	6,4986	5,8394
2.	Силова електроенергія	$B_{ел}$	2,1672	2,6142
3.	Допоміжні матеріали	$B_{дм}$	0,8230	0,9357
4.	Ремонт обладнання	$B_р$	0,4096	0,4269
5.	Утримання приміщення	$B_{уп}$	0,0304	0,0273
6.	Амортизація обладнання	$B_а$	2,5846	2,3340
7.	Налагодження обладнання	$B_н$	0,0558	0,0642
Загальна сума		$B_е$	12,5692	12,2417

4.3. Розрахунок показників економічної ефективності

Річний економічний ефект від проведеної модернізації розрахуємо за формулою:

$$E_{\text{р}} = \left(B_{\text{е}}^{\text{баз}} - B_{\text{е}}^{\text{пр}}\right) \cdot N_{\text{д}} - E_{\text{н}} \cdot K_{\text{д}}, \qquad (4.10)$$

де $N_д$ – річна програма випуску деталі, шт.;

$K_д$ – додаткові капітальні витрати, грн.

$$K_д = Ф_{\text{бал.пр}} \cdot Q_{\text{пр}} - Ф_{\text{бал.б}} \cdot Q_{\text{б}}, \qquad (4.11)$$

де $Ф_{\text{бал.пр}}$, $Ф_{\text{бал.б}}$ – відповідно балансова вартість обладнання в проектному та базовому варіантах, грн.;

$Q_{пр}$, $Q_б$ – потреба в обладнанні відповідно в проектному і базовому варіантах.

Потребу в обладнанні визначаємо за формулою:

$$Q_р = \frac{N_д \cdot T_{нор}}{F_{дрм} \cdot 60 \cdot к_в}, \qquad (4.12)$$

де $к_в$ – коефіцієнт виконання норм (за даними підприємства).

Так потреба в проектному варіанті:

$$Q_{р.пр} = \frac{10000 \cdot 3,72}{3980 \cdot 60 \cdot 1,01} = 0,15 \ (Q_{пр}=1);$$

$$K_{\text{д}} = 103959 \cdot 1 - 99008 \cdot 1 = 4951 \text{ грн.}$$

$$E_{\text{р}} = \left(12,5692 - 12,2417\right) \cdot 10000 - 0,16 \cdot 4951 = 2480 \text{ грн.}$$

Строк окупності додаткових капітальних вкладень:

$$T_{ок} = \frac{K_д}{\left(B_{\text{е}}^{\text{баз}} - B_{\text{е}}^{\text{пр}}\right) \cdot N_{\text{д}}}, \qquad (4.13)$$

$$T_{ок} = \frac{4951}{(12,5692 - 12,2417) \cdot 10000} = 1,5 \text{ роки}$$

Визначимо показники ефективності використання нового роботизованого комплексу (РК) в умовах його застосування для обробки групи однотипних деталей (табл. 4.4).

Таблиця 4.4

Показники ефективності застосування РК для обробки групи деталей

№ з/п	Показник	Формула розрахунку	Базовий варіант	Новий варіант
1.	Середня величина партії деталей, шт.	$n = \frac{N_д}{A}$	$n_б = \frac{10000}{12} = 834$	$n_{пр} = \frac{10000}{12} = 834$
2.	Річний обсяг випуску продукції на дільниці (в цеху), шт.	$N_{заг} = \frac{F_{дрм} \cdot \eta \cdot 60}{T_{шт} + \frac{T_{пз}}{n}}$, де η – нормативній коефіцієнт завантаження обладнання	$\frac{3980 \cdot 0,85 \cdot 60}{4,14 + \frac{20}{834}} = 48746$	$\frac{3980 \cdot 0,85 \cdot 60}{3,72 + \frac{23}{834}} = 54157$
3.	Середня кількість найменувань деталей, які обробляються на РК протягом року	$\frac{\Phi_{дрм} \cdot \eta \cdot 60}{\rho \cdot t_{шт\,нов} + t_{пз} \cdot A}$	- $\frac{3980 \cdot 0,85 \cdot 60}{10000 \cdot 4,14 + 20 \cdot 12} = 4$	$\frac{3980 \cdot 0,85 \cdot 60}{10000 \cdot 3,72 + 23 \cdot 12} = 5$
4.	Річний час налагодження обладнання, год.	$T_{пз.р} = \frac{T_{пз} \cdot N_{заг}}{60 \cdot n}$	$\frac{20 \cdot 54157}{60 \cdot 834} = 21,6$	$\frac{23 \cdot 54157}{60 \cdot 834} = 24,9$
5.	Річний час роботи обладнання, год.	$T_{шт.р} = \frac{T_{шт} \cdot N_{заг}}{60}$	$\frac{4,14 \cdot 54157}{60} = 3736,8$	$\frac{3,72 \cdot 54157}{60} = 3357,7$
6.	Розрахункова кількість потрібного обладнання, шт.	$Q_р = \frac{T_{шт.р} + T_{пз.р}}{F_{дрм}}$	$\frac{3736,8 + 21,6}{3980} = 0,94$	$\frac{3357,7 + 24,9}{3980} = 0,85$
7.	Прийнята кількість обладнання, шт.	$Q_{пр}$	$Q_{пр.б}$=1 (η=0,94)	$Q_{пр.пр}$=1 (η=0,85)
8.	Прийнята кількість операторів, осіб	$Ч_{оп} = \frac{T_{шт.р}}{F_{др} \cdot к_{вн}}$	$Ч_{оп.б} = \frac{3736,8}{1840 \cdot 1} = 2,03$	$Ч_{оп.пр} = \frac{3357,7}{1840 \cdot 1} = 1,82$
9.	Кількість наладчиків, осіб	$Ч_н = \frac{T_{нал.р}}{F_{дм}}$	$Ч_{н.б} = \frac{21,6}{1840} = 0,01$	$Ч_{н.пр} = \frac{24,9}{1840} = 0,01$
10.	Економія чисельності основних робітників, %	$E_{ч.оп} = \frac{Ч_{оп.б} \cdot 100}{Ч_{оп.пр}} - 100$	-	$E_{ч.оп} = \frac{2,03 \cdot 100}{1,82} - 100 = 11,5\%$

Визначимо річний економічний ефект і строк окупності додаткових капітальних витрат в розрахунку на можливий річний обсяг виробництва однотипних деталей дільниці (цеху) із застосуванням РК:

$$E_{р} = (12,5692 - 12,2417) \cdot 54157 - 0,16 \cdot 4951 = 16950 \text{ грн.};$$

$$T_{ок} = \frac{4951}{(12,5692 - 12,2417) \cdot 54157} = 0,28 \text{ року} = 3,3 \text{ міс.}$$

У підсумку складаємо зведену таблицю техніко-економічних показників проекту (табл. 4.5).

Таблиця 4.5

Підсумкові техніко-економічні показники базового та проектного варіантів

№ п/п	Показники	Одиниця	Базовий варіант	Проект	Зміна, % (+,-)
1.	Потреба в обладнанні РК: -верстатах - роботах	 шт./рік шт./рік	 1 1	 1 1	 – –
2.	Річна програма виробництва умовної деталі	шт./рік	10000	10000	–
3.	Можливий річний обсяг випуску однотипних умовних деталей дільниці (цеху)	шт./рік	48746	54157	+11,1
3.	Штучний час обробки деталі	хв.	4,14	3,72	–10,1
4.	Оптова ціна: - верстата - робота	 грн. грн.	 752000 83200	 752000 87360	 – +5,0
5.	Собівартість одиниці обробки	грн.	12,5692	12,2417	–2,6
6.	Орієнтовні витрати на підготовку виробництва, модернізацію, монтаж і відладку	грн.	–	4160	–
7.	Річний економічний ефект в розрахунку: - на програму виробництва умовної деталі (І варіант) - на можливий річний обсяг однотипних деталей дільниці (цеху) (ІІ варіант)	 грн. грн.	 – –	 2480 16950	 – –
8.	Строк окупності додаткових капітальних витрат: - у І варіанті - у ІІ варіанті	 років місяців	 – –	 1,5 3,3	 – –
9.	Економія чисельності операторів у ІІ варіанті	%	–	11,5	–

Література

1. Горбацевич А.Л., Шкред В.А. Курсовое пректирование по технологии машиностроения. Минск; Высшая школа, 1983.
2. Справочник технолога – машиностроителя т.1. под. ред. Косиловой А. Г. и Мещерякова Р.К. М. Машиностроение 1986.
3. Справочник технолога – машиностроителя т.2. под. ред. Косиловой А. Г. и Мещерякова Р.К. М. Машиностроение 1986.
4. Общемашиностроительные нормативы вспомогательного времени на обслуживание рабочего места и подготовительно – заключительного для технического нормирования. Серийное производство М. Машиностроение 1974.
5. Павленко І.І. Промислові роботи: основи розрахунку та проектування / Павленко І.І. - Кіровоград: КНТУ, 2007. – 420с.
6. Павленко І. І. Захватні пристрої роботів: Навчальний посібник. / І. І. Павленко, М. О. Годунко. – Кіровоград: КНТУ, 2014. – 367 с.
7. Маталин А.А. Технгология машиностроения. Машиностроение, Ленинградское отделение, 1985.
8. Балабанов А.Н. Краткий справочник технолога машиностроителя. М. Издательство стандартов, 1972.
9. Кузнецов Ю.И. и др. Оснастка для станков с ЧПУ. Справочник . – М. Машиностроения. 1983.
10. Корсаков В.С. Основы конструирования приспособлений. М. Машиностроение, 1983.
11. Методические указания к выполнению организационных и технико – економических расчетов в дипломных проектах для студентов специальности 8.09.02.02. « Технология машиностроения.» . Киев. 1983.
12. http://mindtrans.narod.ru/hands/hands.htm - перелік існуючих захватних пристроїв роботів
13. Бичіне, В.Б. Організація і нормування праці: підручник для вузів. - М.: «Іспит», 2005. - 464 с.
14. Вешнякова, Т.С. Організація, нормування і оплата праці на підприємствах сфери обслуговування [Текст]: навчальний посібник

для студентів вищих навчальних закладів / Т.С. Вешнякова. - М: «Академія», 2006. - 224 с.

15. Павленко І.І. Експериментальні статичні дослідження сил затиску ЗП промислових роботів / І.І. Павленко, М.О. Годунко // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету / техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація./ Вип. 22. – Кіровоград: КНТУ, 2009. – С. 173 – 178.

16. Павленко І.І. Експериментальні динамічні дослідження сил затиску ЗП промислових роботів / І.І. Павленко, М.О. Годунко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 40 / Частина ІІ. – Кіровоград: КНТУ,2010. – С. 251 – 255.

17. Павленко І.І. Функціональні характеристики затискних важелів ЗП роботів / І.І. Павленко, М.О. Годунко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 40/Частина ІІ. – Кіровоград: КНТУ,2010. – С. 172 – 177.

18. Павленко І.І. Аналіз передавальних відношень плечей сил затискних важелів ЗП роботів / І.І. Павленко, М.О. Годунко // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету / техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація./ Вип. 23. – Кіровоград: КНТУ, 2010. – С. 123 – 128.

19. K.Koskinen (2016) Design of a smart gripper for industrial applications., 8th June.

20. Caucey G.C. & R.D. Quinn. (2016) Gripper design guidelines for modular manufacturing. Procceedings. 1998 IEEE International Conference on Robotics and Automation (Cat.No.98CH36146) n. pag. Web.8 June.

21. Raymond R. Ma & Aaron M. Dollar. (2016) Yale Openhand Project - Model T. Eng.yale.edu. N.p.. Web. 21 June.