

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра «Машинобудування, мехатроніки і робототехніки»

«Допущено до захисту»
Завідувач кафедри
машинобудування, мехатроніки і
робототехніки
канд. техн. наук., доцент
_____ Андрій ГРЕЧКА
«_____» _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
на тему:

**Розробка технологічного оснащення та
різального інструменту для виготовлення деталі
ротор кульково-гвинтового гідропідсилювач
ШВГУ 700**

Виконав здобувач вищої освіти 4-го курсу
групи ПМ-22-3
ОПП «Комп'ютерний інжиніринг
технологій, робототехніка і 3D друк»
спеціальності 131 «Прикладна механіка»
_____ Ігор ГОЛОБОРОДЬКО

Керівник роботи к.т.н., доцент
_____ Кирил ЩЕРБИНА

Рецензент:

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра машинобудування, мехатроніка і робототехніка
Перший (бакалаврський) рівень вищої освіти
Галузь знань: 13 Механічна інженерія
Спеціальність: 131 Прикладна механіка
Освітньо-професійна програма: Комп'ютерний інжиніринг технологій,
робототехніка і 3D друк

Завідувач кафедри
машинобудування, мехатроніки і
робототехніки
канд. техн. наук., доцент

_____ Андрій ГРЕЧКА
«_____» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
Голобородько Ігор Олегович

Тема роботи:

Розробка технологічного оснащення та різального інструменту для
виготовлення деталі ротор кульково-гвинтового гідропідсилювач ШВГУ 700

Керівник роботи:

канд. техн. наук, доцент Кирил ЩЕРБИНА

Затверджено наказом ЦНТУ від _____ 2026 року №

Строк подання роботи до захисту

20 червня 2026 р.

Мета та завдання кваліфікації роботи:

Мета: розробка технологічного оснащення для виготовлення деталі ротор

Завдання: обґрунтувати актуальність теми та напрямок розрахунків, провести
розрахунок технологічного оснащення та вимірювального інструменту.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання роботи	Примітка
1	Опрацювання навчальної та наукової літератури по тематиці роботи	14.04.2026	
2	Виконання загальної частини	28.04.2026	
3	Виконання конструкторської частини	31.05.2026	
4	Розробка креслеників	30.05.2026	
5	Усунення недоліків після перевірки керівником роботи	12.05.2026	
6	Перевірка роботи на академічний плагіат	02.06.2026	
7	Рецензування роботи	12.06.2026	
8	Захист кваліфікаційної роботи	20.06.2026	

Дата видачі завдання

13 квітня 2026 р.

Здобувач вищої освіти

_____ Ігор ГОЛОБОРОДЬКО

Керівник роботи

_____ Кирил ЩЕРБИНА

АНОТАЦІЯ

Голобородько І.О. Розробка технологічного оснащення та різального інструменту для виготовлення деталі ротор кульково-гвинтового гідропідсилювач ШВГУ 700: кваліфікаційна бакалаврська робота: спец. 131 Прикладна механіка / наук. кер. К.К. Щербина; Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. Кропивницький : ЦНТУ, 2026. 43 с.

Креслеників – разом 3 аркушів формату А1

Метою роботи є розробка технологічного оснащення для виготовлення деталі рейка-поршень.

Актуальність роботи полягає в підвищенні продуктивності та зменшення собівартості виготовлення деталі за рахунок використання технологічного оснащення з автоматичним затиском деталей.

В роботі виконано опис вузла та деталі та їх службового призначення, аналіз точності та технологічності, виконано розрахунок затискного у відповідності до діючих сил різання в процесі обробки та контрольного пристроїв.

затискний пристрій, контрольний пристрій, ротор, кульково-гвинтовий гідропідсилювач

ANNOTATION

Goloborodko I.O. Development of technological equipment and cutting tools for manufacturing a part of the rotor of the ball screw hydraulic booster ShVGU 700: qualification work for the education level "Bachelor": specialty 131 Applied Mechanics / Scientific supervisor K.K. Shcherbyna; Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi: CNTU, 2026. 43 c.

Drawings - a total of 3 sheets of A1 format

The aim of the work is to develop technological equipment for the manufacture of a rail-piston part.

The relevance of the work is to increase productivity and reduce the cost of manufacturing the part by using technological equipment with automatic clamping of parts.

The work describes the assembly and the part and their service purpose, analyzes the accuracy and manufacturability, calculates the clamping device in accordance with the acting cutting forces during machining and the control device.

clamping device, control device, piston rail, rotor, ball screw hydraulic amplifier

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра «Машинобудування, мехатроніки і робототехніки»

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи на тему:

**Розробка технологічного оснащення та
різального інструменту для виготовлення
деталі ротор кульково-гвинтового
гідропідсилювач ШВГУ 700**

КРБ.ПМ.26.35.13.00.00

Виконав здобувач вищої освіти 4-го
курсу групи ПМ-22-3
ОПП «Прикладна механіка»
спеціальності 131 «Прикладна
механіка»

_____Ігор ГОЛОБОРОДЬКО

Керівник роботи к.т.н., доцент

_____Кирил ЩЕРБИНА

Кропивницький –2026

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. Загальна частина	8
1.1. Характеристика вузла та деталі, обраної для проектування технологічного процесу.....	8
1.2. Аналіз точності та технологічності деталі.....	15
2. Конструкторська частина.....	18
2.1. Розрахунок та розробка конструкції затискного пристрою.....	18
2.1.1. Опис будови та роботи пристрою.....	18
2.1.2. Розрахунок сили затиску деталі.....	21
2.1.3. Вибір типу силового приводу, розрахунок параметрів силового приводу.....	22
2.1.4. Розрахунок на міцність слабких ланок пристрою.....	23
2.1.5. Розрахунок пристрою на точність.....	24
2.2. Розрахунок та розробка конструкції контрольно-вимірювального пристрою.....	25
2.2.1. Опис конструкції та роботи пристрою.....	25
2.2.2. Визначення похибок вимірювання і перевірка умови працездатності виробу.....	27
2.2.3. Розробка креслення загального виду пристрою.....	27
2.3. Розрахунок та розробка конструкції спеціального ріжучого інструменту.....	28
2.3.1. Опис конструкції спеціального ріжучого інструменту.....	28
2.3.2. Розрахунок пальцевої модульної фрези.....	28
2.3.3. Розробка креслення спеціального ріжучого інструменту.....	32
Висновки.....	33
Перелік використаних джерел	34

ВСТУП

Основною стратегічною метою розвитку машинобудівного комплексу держави є забезпечення внутрішнього попиту на високотехнологічну конкурентоспроможну продукцію вітчизняного виробництва та планомірна експансія на глобальні ринки. Досягнення зазначеної мети базується на системній трансформації галузі у наукоємний промисловий сектор, що характеризується високою адаптивністю до динамічних умов світової економіки, інтенсивним впровадженням інноваційних рішень та інтеграцією в міжнародну систему розподілу праці. Реалізація цієї стратегії передбачає впровадження комплексу техніко-організаційних заходів, серед яких пріоритетне значення мають технічне переоснащення і модернізація наявних виробничих потужностей на засадах інноваційних підходів, а також інтеграція прогресивних технологій, зокрема цифрового моделювання, автоматизованих систем керування (АСУ ТП) та гнучких виробничих модулів. Важливими аспектами також є стимулювання внутрішнього попиту через розвиток суміжних галузей та формування якісного кадрового потенціалу шляхом залучення висококваліфікованих інженерів і технічних спеціалістів. Практичне застосування зазначених заходів сприятиме інтенсифікації виробництва, розширенню номенклатури виробів, зміцненню експортного потенціалу та підвищенню загальної конкурентоспроможності національного машинобудівного сектору. У межах даної кваліфікаційної роботи передбачається проектування та розрахунок конструктивно обґрунтованої технологічної оснастки — затискних пристроїв для обробки деталей типу «рейка-поршень» із застосуванням верстатів із числовим програмним керуванням (ЧПК). Це дозволить мінімізувати похибки базування, суттєво підвищити точність позиціонування заготовки, знизити витрати часу на допоміжні операції та, як наслідок, забезпечити стале зростання продуктивності й ефективності технологічного процесу.

1. Загальна частина

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

Кульково-гвинтовий гідропідсилювач ШВГУ 700 (рис. 1.1) є

Кульково-гвинтовий гідропідсилювач моделі ШВГУ 700 (рис. 1.1) являє собою механогідравлічний агрегат, призначений для редукції та посилення керуючого моменту, що передається від рульового колеса до виконавчих механізмів повороту керованих коліс транспортного засобу. Функціонування даного вузла базується на перетворенні вхідного зусилля у механічне переміщення за допомогою кульково-гвинтової передачі (КГП) у синергії з інтегрованою гідравлічною системою підсилення.

Кінематична схема пристрою реалізована на принципі взаємодії гвинтової пари з циркулюючими тілами кочення, що забезпечує високий механічний коефіцієнт корисної дії, мінімізацію втрат на тертя ковзання, а також високу кінематичну точність і плавність ходу. Гідравлічний контур системи дозволяє суттєво знизити фізичне навантаження на оператора, оптимізуючи маневрові характеристики транспортного засобу в режимах низьких швидкостей та при значних кутах повороту керованих коліс.

Агрегати серії ШВГУ 700 спроектовані для експлуатації у складі рульового керування техніки з максимальним швидкісним режимом до 60 км/год. Конструктивна архітектура підсилювача забезпечує підвищену експлуатаційну надійність, довговічність рухомих спряжень та стійкість до пікових гідромеханічних навантажень, що обумовлює ефективне функціонування вузла у важких умовах експлуатації.



Рис. 1.1. Кульково-гвинтовий гідропідсилювач ШВГУ 700

Процес керування реалізується за допомогою механічних передавальних механізмів, інтегрованих із системою гідравлічного підсилення, що забезпечує необхідне мультиплікативне зусилля на виконавчих органах. Для детального аналізу конструктивної архітектури та функціонального алгоритму роботи агрегату необхідно розглянути гідрокінематичну схему (рис. 1.2), яка ілюструє взаємодію механічних ланок із гідравлічними контурами регулювання та розподілу робочої рідини.

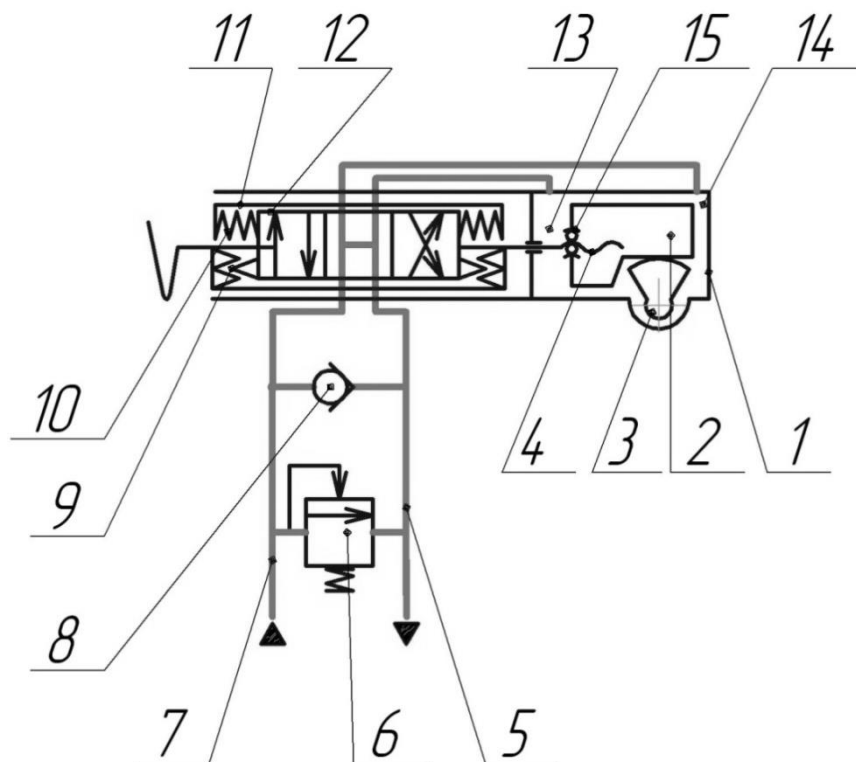


Рис. 1.2. Гідрокінематична схема ШВГУ:

1 – картер; 2 – рейка-поршень; 3 – вал-сектор; 4 – кульково-гвинтова передача; 5 – магістраль зливу; 6 – запобіжний клапан; 7 – магістраль напору; 8 – зворотній клапан; 9 – муфта; 10 – пружний елемент; 11 – зовнішній золотник; 12 – внутрішній золотник; 13, 14 – опозитні порожнини; 15 – гайка кульково-гвинтової передачі.

Кульково-гвинтовий гідропідсилювач моделі ШВГУ 700 класифікується як складний комбінований механогідравлічний агрегат подвійної дії, конструктивна архітектура якого базується на інтеграції механічних та гідравлічних передавальних ланок у моноблочному корпусі (картері) 1. Таке компоновальне рішення забезпечує високу питому потужність при мінімальних габаритах та підвищений рівень експлуатаційної надійності вузла.

Функціональна структура ШВГУ включає наступні підсистеми та компоненти:

Гідравлічний розподільник слідячої дії, що складається з прецизійної пари «зовнішній золотник 11 — внутрішній золотник 12», демпфуючих пружних

елементів 10 та обмежувальної муфти 9, яка детермінує кут відносного повороту золотників;

Гідравлічний контур, представлений напірною 5 та зливною 7 магістралями, а також системою клапанного регулювання: запобіжним клапаном 6 (стабілізація номінального тиску) та зворотним клапаном 8 (запобігання кавітаційним явищам та забезпечення циркуляції при від'ємному тиску);

Виконавчий механізм, що поєднує кульково-гвинтову передачу (гвинт 4 та інтегрований гвинтовий отвір у рейці-поршні 2) та зубчасту рейкову передачу (рейка-поршень 2 і вал-сектор 3);

Робочі камери, представлені опозитними герметичними порожнинами 13 і 14, сформованими в циліндричному просторі картера 1 рейкою-поршнем 2.

Алгоритм функціонування пристрою реалізує принцип дублювання потоків енергії. У штатному режимі основне силове навантаження виконує гідропривід: під дією перепаду тиску робочої рідини рейка-поршень 2 здійснює поступальне переміщення, ініціюючи поворот вала-сектора 3. При цьому КГП виконує функцію зворотного зв'язку, гарантуючи кінематичну узгодженість елементів. У випадку деградації або повної відмови гідросистеми пристрій переходить у режим прямої механічної передачі моменту через гвинт 4 та муфту 9 на рейку-поршень 2. Присутність зворотного клапана 8 у цей момент унеможливорює гідравлічний опір, дозволяючи рідині вільно циркулювати між порожнинами.

Динаміка керування визначається відносним кутовим зміщенням золотникової пари. При відхиленні внутрішнього золотника 12 від нейтралі рідина під тиском спрямовується у відповідну порожнину (13 або 14), викликаючи переміщення поршня, тоді як опозитна порожнина сполучається зі зливом. Точність та чутливість системи безпосередньо залежать від жорсткості пружного елемента 10 та величини вільного ходу муфти 9; мінімізація цих параметрів дозволяє скоротити час відгуку та підвищити динамічну точність стеження.

Згідно з конструктивною схемою (рис. 1.3), Т-подібний картер 1 вміщує гвинт 2, ротор 3 та поршень 4, які спільно з гайкою 5 утворюють прецизійну КГП. Рейка-поршень 6 передає зусилля на вал-сектор 7, змонтований на роликових опорах

кочення 8 для мінімізації моментів тертя. Жорстке кінематичне зчеплення вхідної ланки забезпечується за рахунок евольвентних або прямобічних шліцевих з'єднань 9 та 10. Таким чином, ШВГУ 700 постає як високоефективний енергонезалежний механізм, здатний зберігати працездатність у широкому діапазоні експлуатаційних навантажень та критичних режимів роботи.

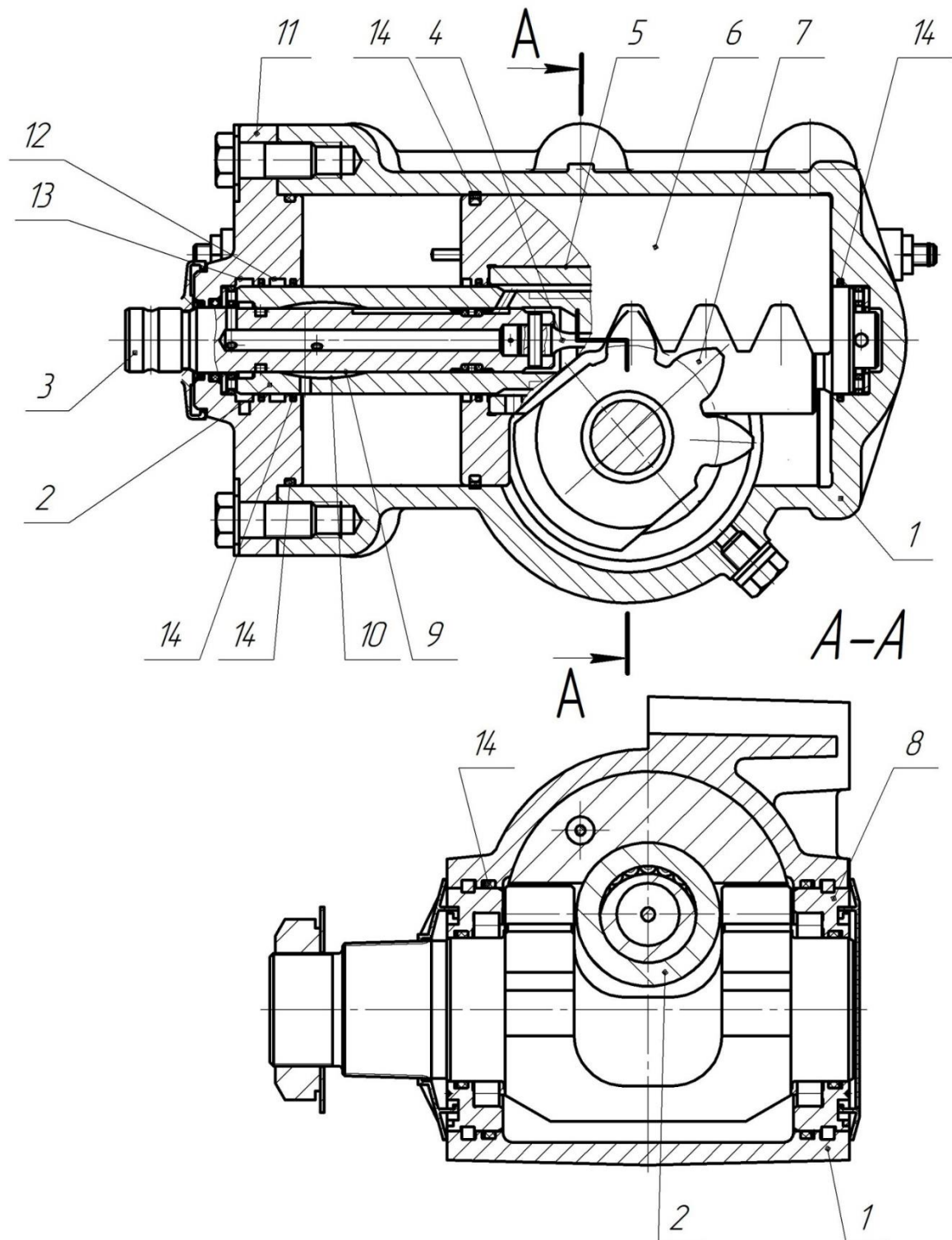


Рис. 1.3. Конструктивне виконання ШВГУ

Внутрішня прецизійна поверхня гвинта 2 інтегрована з функціоналом зовнішнього золотника, тоді як зовнішня циліндрична поверхня ротора 3 виконує роль внутрішнього золотника гідророзподільника. Така конструктивна конвергенція забезпечує високу компактність агрегату, оптимізацію масогабаритних показників та підвищену кінематичну точність системи керування. До картера 1 приєднується автономний корпус гідророзподільника 11, що містить розвинену мережу гідравлічних каналів: напірні 12, зливні 13, а також функціональні камери для інтеграції запобіжного та зворотного клапанів. Стабільність робочого тиску та герметичність системи (як зовнішня, так і внутрішньокамерна) забезпечується комплексом ущільнювальних елементів 14.

Конструктивно рейка-поршень виконана у формі порожнистого циліндра, внутрішній діаметр якого спряжений із зовнішнім діаметром гайки. На зовнішній поверхні деталі нарізано дворядне зубчасте зачеплення, що утворює з валом-сектором рейкову передачу. Жорстке з'єднання гайки з рейкою-поршнем реалізовано за допомогою клинового фіксатора, що нівелює люфти та гарантує надійність передачі тандемного зусилля. В середині гайки розташований гвинт, кінематично пов'язаний із рульовим валом через торсіонний елемент. Рульовий вал, у свою чергу, жорстко сполучений із ротором 3, формуючи єдину вхідну ланку системи ШВГУ, при цьому гвинт паралельно виконує функцію розподільного органу потоків робочої рідини.

Для мінімізації механічних втрат та забезпечення реверсивності кульково-гвинтової передачі між гвинтовими профілями гвинта та гайки впроваджено антифрикційні тіла кочення — сталеві кульки, що циркулюють у двох замкнених контурах. Рециркуляційний цикл замикається через напрямні вкладиші: при ротації гвинта кульки переміщуються вздовж гвинтової лінії, проходять через вхідний вкладиш і повертаються в робочу зону, що забезпечує високий механічний ККД та пролонгований експлуатаційний ресурс.

Перетворення обертального моменту в поступальне переміщення рейки-поршня вздовж осі гвинта ініціює кутове зміщення вала-сектора, яке через рульову сошку транслюється на виконавчі механізми повороту коліс. Ключовим

конструктивним компонентом даного вузла є деталь «рейка-поршень» (креслення УЯИШ 716652.70), яка за класифікацією належить до складних корпусних деталей. Її виготовлення передбачає дотримання жорстких параметрів точності, допусків на геометричне розташування поверхонь та параметрів шорсткості, що є критичним для забезпечення герметичності поршневої групи та плавності зачеплення рейкової передачі. Графічне представлення та геометричні характеристики деталі наведені на ескізі (рис. 1.4).

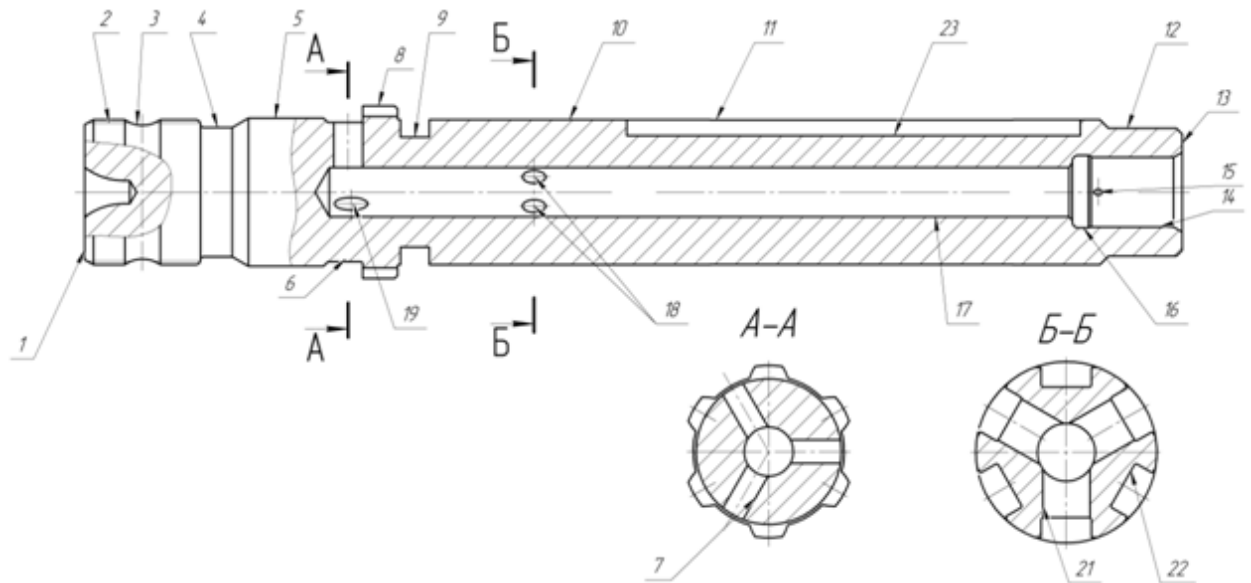


Рис. 1.4. Ескіз деталі ротор

1.2. Аналіз точності та технологічності деталі

Для поелементного аналізу точності поверхонь деталі виконуються ескізи ротора із зазначенням усіх поверхонь, що підлягають механічній обробці (рис. 1.4). Результати аналізу точності зведено в таблицю 2.1.

Аналіз показав, що всі розміри поверхонь задані в обсязі, достатньому для їх однозначного визначення та подальшої обробки. Метод простановки розмірів — комбінований. Числові значення розмірів відповідають нормальному ряду чисел, однак не всі граничні відхилення узгоджуються з чинними квалітетами точності.

Найбільш точними поверхнями деталі «Ротор» є: шліцьова поверхня 2 — $\varnothing 25h7(-0,045)$, Ra 3,2; зовнішня циліндрична поверхня 5 — $\varnothing 25,5h8(-0,043)$, Ra 0,4; зовнішня циліндрична поверхня 10 — $\varnothing 25(-0,005)$, Ra 0,16; поверхня пазу 22 — $6,94(-0,01)$, Ra 2,5. Зазначені поверхні визначають функціональні характеристики деталі та потребують особливої уваги при призначенні методів і режимів обробки.

Доступ різального та вимірювального інструменту до всіх оброблюваних і контрольованих поверхонь є вільним. Обробка деталі може бути повністю реалізована відомими методами механічної обробки із застосуванням стандартного різального та вимірювального інструменту.

Таблиця 2.1

Параметри точності деталей

Позначення поверхні	Назва поверхні	Розмір з відхиленнями, заданими від даної поверхні	Квалітет точності	Точність відносних поворотів, відстаней, розміщення поверхонь	Точність форми	Шорсткість поверхні	Вагомість поверхні, як конструкторської
1	2	3	4	5	6	7	8
Ротор УЯИШ.716624.003М							
1,13	Торцева	191,5 _{-0,4}	h11			6,3	7
2	Шліці	$\varnothing 23,6$ $\varnothing 25_{-0,0045}$ $z=48^2$	h7			3.2	3

Продовження табл. 1.1

1	2	3	4	5	6	7	8
3	Шийка	R5,2	h14			6,3	8
4	Зовнішня циліндрична	$\phi 23,3$	h14			6,3	8
5	Зовнішня циліндрична	$\phi 25,5_{-0,043}$	h8			0,4	1
6	Зовнішня циліндрична	$\phi 24$	h14			6,3	9
7	Отвір	$\phi 6$	H14			6,3	9
8	Шліці	$\phi 26,1_{0,01}$ $\phi 29,5_{0,01}$ $18,8_{0,05}$	h11			1,6	2
9	Канавка	$\phi 19^{+0,015}$ $5,1^{+0,1}$	k6			3,2	5
10	Зовнішня циліндрична	$\phi 25_{0,005}$	h6			0,16	1
12	Зовнішня циліндрична	$\phi 22$	h14			6,3	6
14	Внутрішня циліндрична	$\phi 12^{+0,043}$	H9			2,5	4
15	Отвір	$\phi 3$	H14			6,3	8
16	Внутрішня канавка	$\phi 12,5$	H14			6,3	8
17	Внутрішня циліндрична	$\phi 8,5$	H14			6,3	7
18	Отвір	$\phi 6^{+0,1}$	-			6,3	7
19	Отвір	$\phi 6^{+0,1}$	-			6,3	7
20	Отвір	$\phi 5^{+0,2}$	H13			6,3	7
21	Отвір	$\phi 6,5^{+0,2}$	H13			6,3	7
22	Паз	$6,94_{0,01}$	h7			2,5	3
23	Паз	8	h14			3,2	5

Аналіз конструкторської документації показав, що всі необхідні розміри задані в повному обсязі, а вимоги до точності та шорсткості поверхонь відповідають службовому призначенню та умовам експлуатації деталі. Разом із тим квалітети точності окремих поверхонь задані поза нормалізованими рядами, що є відхиленням від вимог чинних стандартів.

Аналіз деталі «Ротор» КГП716624.001 виявив ряд нетехнологічних конструктивних елементів. Зокрема, отвори на циліндричній поверхні є нетехнологічними, оскільки в процесі свердління виникає ймовірність відведення свердла. Усунення цього явища потребує застосування кондукторних втулок, що, однак, збільшує собівартість виготовлення деталі. До нетехнологічних елементів

деталі «Ротор» також належать пази, шліці та виїмки, обробка яких потребує застосування спеціального інструменту або нетрадиційних методів обробки.

Технічні вимоги до деталі сформульовані коректно, однозначно та доцільно, визначені умовами її експлуатації у складі вузла. Метод простановки розмірів — комбінований. Допуски на окремі поверхні не відповідають чинним стандартам, що потребує врахування при розробці технологічного процесу. Деталь «Ротор» виготовляється зі сталі 25ХГТ ГОСТ 4543-71.

Більшість поверхонь деталі характеризуються невисокими вимогами до точності (H14, h14) та шорсткості (Ra 6,3–3,2), що не створює технологічних ускладнень при їх обробці. За результатами проведеного аналізу деталь «Ротор» в цілому визнається технологічною з точки зору механічної обробки.

2. Конструкторська частина

2.1. Розрахунок та розробка конструкції затискного пристрою

2.1.1. Опис будови та роботи пристрою

Станочне пристосування (затискний пристрій) спроектоване для базування та надійної фіксації деталі «Ротор» (креслення КГП716624.001) при виконанні комплексної технологічної операції 040 на вертикально-фрезерному обробному центрі з ЧПК моделі HAAS VF3.

Конструктивна архітектура пристрою (рис. 3.1) базується на основній плиті 2, на якій змонтовані корпус ділильної головки 32 та задня опора 26. Силовий привод механізму затиску реалізований за допомогою пневмоциліндра 43, який закріплений на опорі через кронштейн 50 болтовими з'єднаннями 59. У внутрішній прецизійній порожнині опори розміщено рухомий центр 45, що спряжений з прямою втулкою 19. Конструкція передбачає фіксацію втулки від кутового провертання за допомогою болта 38, що одночасно зберігає можливість її осевого (повздовжнього) переміщення під дією штока пневмоциліндра.

Кінематична схема механізму позиціонування (повороту) інтегрована в корпус 32 і складається з наступних елементів:

Вузол базування: Нерухомий центр 22, встановлений у подовжувачі 18 та зафіксований штифтом 62. Подовжувач спряжений з фланцем 14 і товкачем.

Ділильний механізм: Градуирований диск 6 для візуального контролю кута повороту, храпове колесо 33 та руків'я керування 17.

Фіксує пристрій: Пружинна собачка 30, що взаємодіє з храповиком для жорсткої фіксації вибраного кутового положення.

Передача моменту: Поворотний момент на деталь передається через повідкову планку 31, штифт 11 якої входить у попередньо оброблений технологічний паз деталі.

Технологічний процес базування деталі «Ротор» здійснюється в центрах 45 (рухомий) та 22 (нерухомий). Силове замикання системи та фіксація заготовки по

осі реалізується шляхом висунення центру 45 за допомогою пневмопривода. Позиціонування деталі на заданий кут обробки виконується вручну за допомогою руків'я 17; при цьому необхідна кутова координата визначається за ділильним диском 6, після чого кінематичний ланцюг замикається храповим механізмом, забезпечуючи стабільність положення під час силового фрезерування.

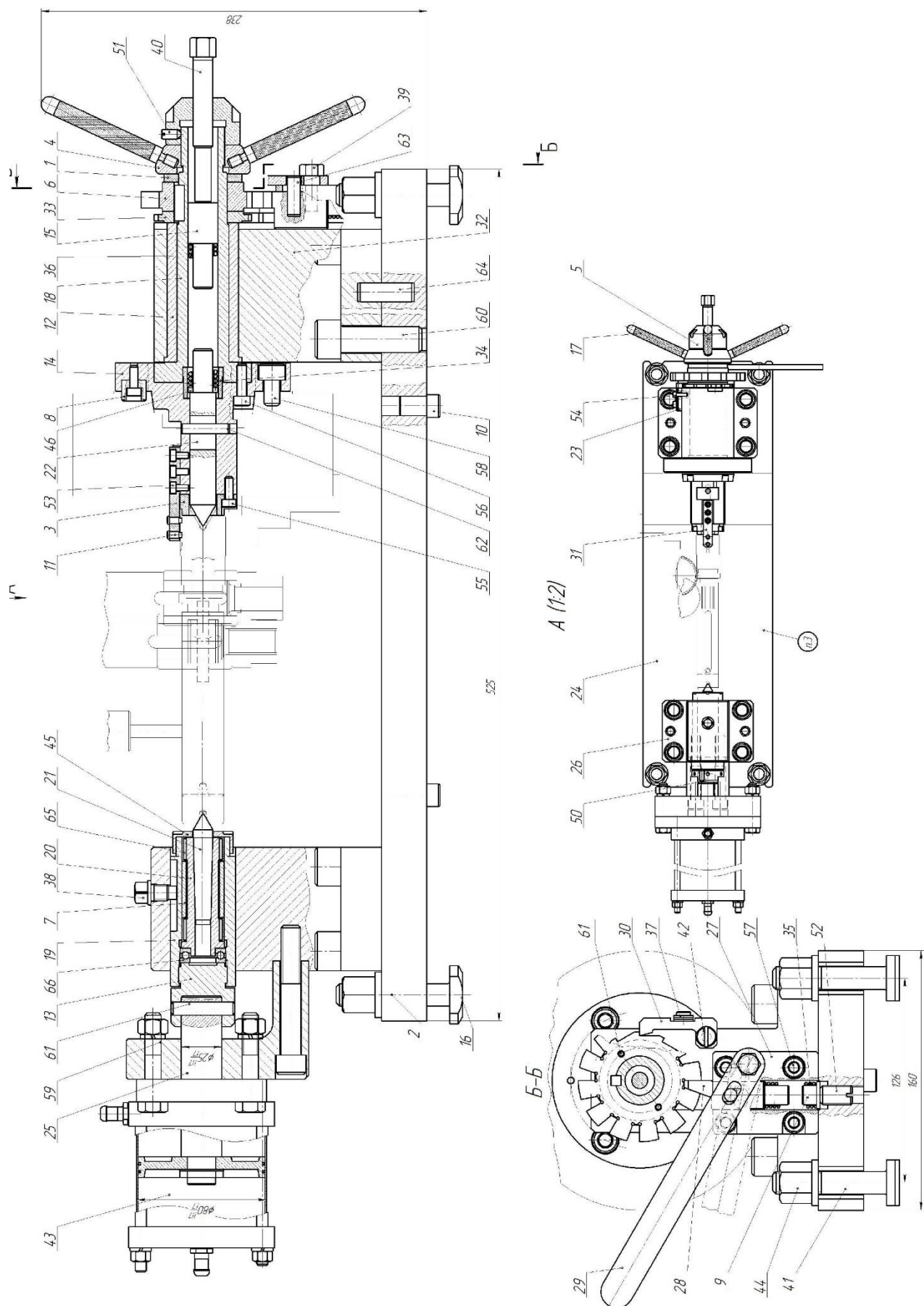


Рис.2.1. Пристрій затискний

2.1.2. Розрахунок сили затиску деталі

Розміщення сил які діють на деталь під час обробки пазів на деталі ротора ШВГУ 716624.001 показано на рисунку 2.2

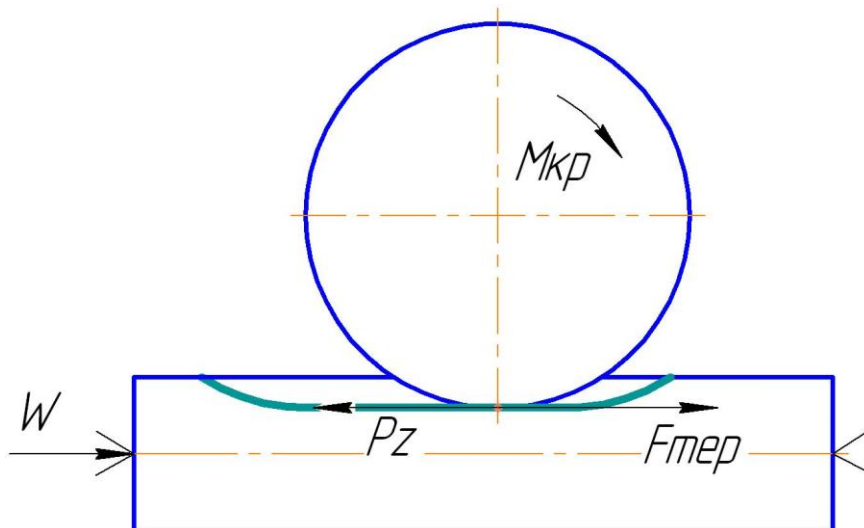


Рис. 2.2. Розміщення сил під час обробки пазу:

$M_{кр}$ – момент крутний; W - сила затиску; $F_{тер}$ – сила тертя

Складаємо рівняння рівноваги:

$$M_{кр} - P_z + F_{тер} = 0$$

З рівняння рівноваги визначаємо значення крутного моменту:

$$M_{кр} = P_z - F_{тер}$$

Визначаємо значення сили тертя:

$$F_{тер} = W \cdot f$$

Отримане значення сили тертя підставляємо в рівняння:

$$M_{кр} = P_z - (W \cdot f)$$

Приймаємо f – коефіцієнт тертя = 0,25

Далі знаходимо силу затиску деталі:

$$W = \frac{M_{кр} - P_z}{f}$$

Після чого підставляємо значення крутного моменту та сили різання:

$$W = \frac{929,7 - 116,2}{0,25} = 3254$$

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6,$$

де: K_0 – гарантований коефіцієнт запасу, $K_0 = 1,5$,

K_1 – коефіцієнт, що враховує збільшення сил різання через зношування ріжучого інструмента. $K_1 = 1,3$;

K_2 – коефіцієнт, що враховує вид обробки (чорнова чи чистова). $K_2 = 1,0$;

K_3 – динамічний коефіцієнт, що враховує виникаючі при деяких видах обробки удари. $K_3 = 1$;

K_4 – коефіцієнт, що враховує сталість затискного зусилля. При механізованому приводі $K_4 = 1$;

K_5 – коефіцієнт, що враховує зручність розміщення рукояток у ручних затискних пристроях. $K_5 = 1$;

K_6 – коефіцієнт, що враховує невизначеність положення заготовки через нерівності місця її контакту з опорними елементами. Для опорного елемента зі значною площею контакту $K_6 = 1,5$.

Підставивши числові значення у формулу отримаємо:

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 = 1,3 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5 = 1,95.$$

$$W = \frac{929,7 - 116,2}{0,25} = 3254 \cdot 1,95 = 6345,3H$$

2.1.3. Вибір типу силового приводу, розрахунок параметрів силового приводу

Пристрій що проектується є механічним. В якості силового приводу даного механізму виступає пневмоциліндр двосторонньої дії. Так, як шток пневмоциліндра безпосередньо тисне на п'яту затискаючого центра, то $Q = F_{\text{тер}}$

Сила на штоці пневмоциліндра:

$$Q = F_{\text{тер}} = W \cdot f = 6345,3 \cdot 0,25 = 1586,3H$$

Згідно визначеної сили на штоці Q визначаємо діаметр пневмоциліндра.

В конструкції затискного пристрою використовується пневмоциліндр штовхаючий двосторонньої дії, тобто при затиску деталі повітря з пневмосистеми потрапляє в безштокову порожнину.

$$D_{ц} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot P \cdot \eta}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1586,3}{3,14 \cdot 0,4 \cdot 0,85}} = 7,7 \text{ см}$$

$p = 4 \text{ кгс/см}^2$ – тиск повітря у пневмоциліндрі;

$\eta = 0.85$ – ККД пневмоприводу.

Приймаємо діаметр пневмоциліндра $D_{ц} = 80 \text{ мм}$.

Як видно з розрахунків, при однаковій силі різання, змінюючи схеми затиску деталі, зменшуємо силу на штоку циліндра. Це дає можливість зменшити діаметр поршня пневмоциліндра, тим самим знизити металомісткість пристрою та його вартість.

2.1.4. Розрахунок на міцність слабких ланок пристрою

Ось виготовлена зі сталі за ГОСТ 380-71. Ось не передає крутного моменту, а тільки поперечні навантаження, тому осі розраховуються на згин.

Розрахункова формула:

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_u}{0,1 \cdot [\delta u]}}$$

де: M_u – згинаючий момент;

$[\delta u] = 700$ - допустиме напруження згину для сталей.

На вісь діє сила затиску, яка з попередніх розрахунків становить $Q = 413,15 \text{ Н}$

З епюри згинаючих моментів видно, що навантаження діє по середині відрізка АВ, тобто реакції опор А та В рівні і становлять

$$A = B = \frac{Q}{2} = 413,15 / 2 = 206,575 \text{ Н}$$

Згинаючий момент в даному випадку складає:

$$Mu = \frac{1}{2} \cdot A \cdot Q = 150 \cdot 206,575 = 30986,25 \quad H / \text{мм}^2$$

Звідси знаходимо мінімальний діаметр осі:

$$d = \sqrt[3]{\frac{Mu}{0,1 \cdot |\delta u|}} = \sqrt[3]{\frac{30986}{0,1 \cdot 700}} = 7,6 \text{ мм}$$

Приймаємо $d=12\text{мм}$

2.1.5. Розрахунок пристрою на точність

Розрахунок пристрою на точність має за мету визначення необхідної точності його виготовлення по вибраному параметру, до яких відносяться:

- а) допуски на координуючі розміри, що задані від баз чи базових поверхонь;
- б) допуски взаємного розміщення (непаралельності або не перпендикулярності тощо) баз або базових поверхонь затискного пристрою.

Точність виготовлення пристрою з достатнім наближенням, а саме тих його елементів, які впливають на точність оброблюваного розміру може бути оцінена допуском, який визначається за формулою:

$$\varepsilon_{np} = T_A - k_m \cdot \sqrt{(k_{m1} \cdot \varepsilon_{\delta})^2 + \varepsilon_z^2 + (k_{m2} \cdot \omega_{m.o})^2},$$

де: T_A – допуск на виконуваний розмір;

ε_{δ} – похибка базування деталі;

k_m – коефіцієнт, що враховує відхилення розкиду значень складових величин від закону нормального розподілу ($k_m=0,9-1,2$);

k_{m1} – коефіцієнт, що враховує зменшення граничного значення похибки базування при роботі на налаштованому обладнанні ($k_{m1}=0,8 - 0,85$);

k_{m2} – коефіцієнт, що враховує долю похибки обробки в сумарній похибці, що є наслідком факторів, які не залежать від пристрою ($k_{m2}=0,6 - 0,8$);

$\omega_{m.o}$ – середня економічна точність обробки (визначається по таблицям допустимих похибок для даного методу обробки) [28, т.1, с.8-12];

ε_z – похибка закріплення деталі [8, с.16-19];

При використанні механізованих затискних пристроїв, що забезпечують сталість сили затиску похибка закріплення деталі дорівнює нулю.

Визначаємо фактичну похибку затискного пристрою:

$$\varepsilon_{np} = 0,36 - 0,9 \cdot \sqrt{(0,8 \cdot 0)^2 + 0 + (0,6 \cdot 0,17)^2} = 0,26 \text{ мм}$$

2.2. Розрахунок та розробка конструкції контрольно-вимірювального пристрою

2.2.1. Опис конструкції та роботи пристрою

Прилад призначений для контролю діаметрів роторів (рис. 2.3) і являє собою вимірювальний засіб, що реалізує метод порівняння з еталоном. Конструктивно прилад складається з основи 9, на якій розміщені вимірювальний вузол, блок індикації, а також верхня і нижня губки для кожного з контрольованих діаметрів. Функціонування електричної схеми приладу засноване на керуванні моментом запалювання тиратронів. Технічна характеристика приладу наведена нижче.

Технічна характеристика

Кількість контролюємих січень – 5.

Похибка настройки – $\pm 0,0005$ мм.

Не стабільність спрацювання контактів, не більше – $0,0005$ мм.

Зміщення настройки контактів за 25000 вимірювань, не більше – $\pm 0,0005$ мм.

Найбільша можлива абсолютна похибка вимірювання – $\pm 0,0025$

Вимірювальні зусилля одної пари вимірювальних губок – 2,5-3 Н.

Час вимірювання однієї деталі – $\text{max } 1,5 \div 2$ сек.

Напруга живлення – 220В, 50 Гц.

Споживана потужність, не більше – 5 Вт.

Перед початком вимірювання деталі мають бути ретельно протерті, а прилад підключений до мережі живлення. Деталь підводиться у вимірювальні губки до упора плавно, без поштовхів, ударів і перекосів. Якщо діаметри ротора знаходяться в межах встановленого допуску, рухомі контакти датчиків займають нейтральне положення і на світловому табло блока індикації засвічується лампа

«Годна». У разі, коли діаметральний розмір є меншим за допустиме значення, засвічується лампа зі знаком «-», якщо більшим — лампа зі знаком «+». Для забезпечення стабільної точності вимірювань необхідно періодично протирати робочі поверхні губок, що контактують із поверхнею контрольованої деталі.

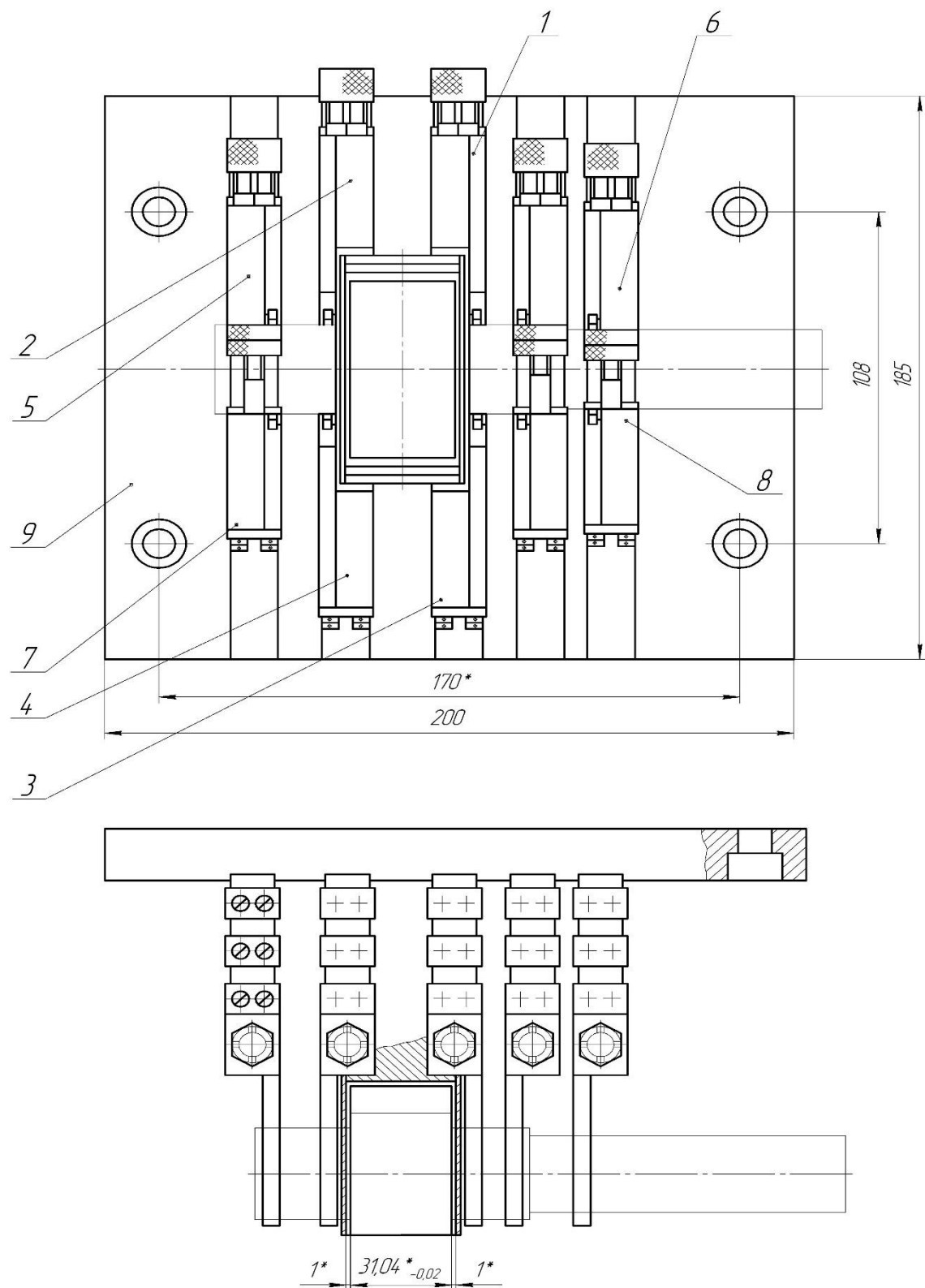


Рис. 2.3 Конструкція контрольно-вимірювального пристрою.

2.2.2. Визначення похибок вимірювання і перевірка умов працездатності пристрою

Перевірку умов працездатності контрольного пристрою визначасмо за формулою:

$$\sqrt{\Delta_{\delta}^2 + \Delta_{\delta d}^2 + \Delta_{nn}^2 + \Delta_{\delta z}^2 + \Delta_{\delta z\delta}^2 + \Delta_{\delta id}^2} \leq [\Delta_{вим}],$$

де: Δ_{δ} – похибка базування контрольованої деталі, $\Delta_{\delta} = 0$;

$\Delta_{\delta d}$ – похибка встановлення деталі, $\Delta_{\delta d} = 0,001 \text{ мм}$;

Δ_{nn} – похибка передавального пристрою, $\Delta_{nn} = 0,002 \text{ мм}$;

$\Delta_{\delta z}$ – похибка вимірювального засобу, $\Delta_{\delta z} = 0,0005 \text{ мм}$;

$\Delta_{\delta z\delta}$ – похибка встановлення засобу вимірювання, $\Delta_{\delta z\delta} = 0,0009 \text{ мм}$;

$\Delta_{\delta id}$ – похибка відліку, $\Delta_{\delta id} = 0$

$[\Delta_{вим}]$ – допустима похибка вимірювання, $[\Delta_{вим}] = 0,0025 \text{ мм}$.

Тоді:

$$\sqrt{0,001^2 + 0,002^2 + 0,0005^2 + 0,0009^2} = 0,0024 \text{ мм}$$

Умова виконується.

2.2.3. Розробка креслення загального виду пристрою

Креслення загального виду контрольного пристрою виконується в кількості проєкцій, необхідній для однозначного розуміння його конструкції, у робочому положенні контролю. Контрольний зразок зображується тонкими лініями відповідно до вимог конструкторської документації. На кресленні вказуються габаритні та настановні розміри, посадки основних спряжень, а також допуски розташування найбільш відповідальних поверхонь. Технічні вимоги до контрольного пристрою формулюються у стислій, коректній та однозначній формі. Креслення загального виду контрольного пристосування наведено в графічній частині кваліфікаційної роботи.

2.3. Розрахунок та розробка конструкції спеціального ріжучого інструменту

2.3.1. Опис конструкції спеціального ріжучого інструменту

Розрахунок проводимо для пальцевої модульної фрези. Дана фреза використовується при фрезеруванні трьох впадин зубчатої рейки в ротор УЯИШ 716652.70 на фрезерному з ЧПУ верстаті ГФ2171С5.

2.3.2. Розрахунок пальцевої модульної фрези

Пальцеві модульні фрези застосовують для фрезерування профілю прямозубих та косозубих зубчастих коліс крупного модуля ($m \geq 10$). На 2 переході 035 фрезерної з ЧПУ операції виконується чорнове фрезерувати трьох впадин зубчатої рейки з модулем $m = 12$.

Конструктивними елементами пальцевої модульної фрези є (рис. 3.4):

- зовнішній діаметр фрези D ;
- діаметр різальної частини D_p ;
- діаметр різальної частини d_p ;
- довжина різальної частини l_p ;
- загальна довжина фрези L ;
- кількість зубців фрези Z .

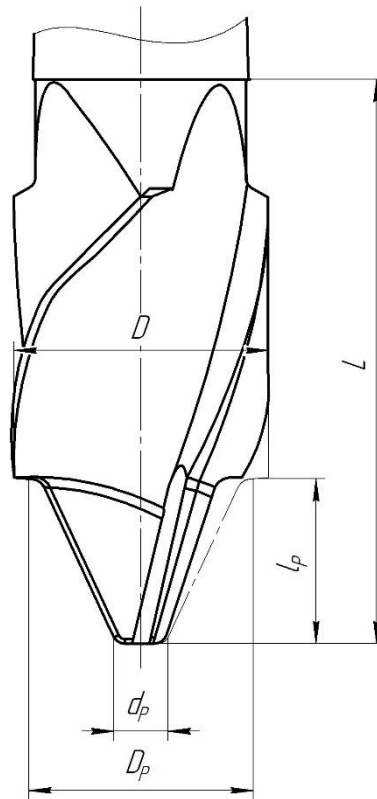


Рис. 3.4. Конструктивні елементи пальцевої модульної фрези

Профіль зуба пальцевої модульної фрези для фрезерування прямих зубців повинен в точності відповідати профілю впадини зубців рейки-поршня (рис. 3.5).

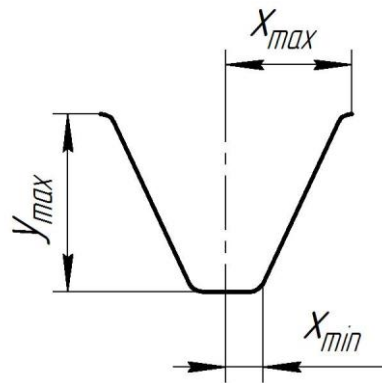


Рис. 3.5. Профіль впадини зубчатої рейки

Діаметр різальної частини d_p визначається за формулою [3]:

$$d_p = 2 \cdot x_{\min} ,$$

де: $x_{\min}$ - мінімальна абсциса профіля впадини зубчатої рейки,

$$d_p = 2 \cdot 3 = 6 \text{ мм}$$

Діаметр різальної частини D_p визначається за формулою:

$$D_p = 2 \cdot x_{\max},$$

де: $x_{\max}$ - максимальна абсциса профіля впадини зубчатої рейки,

$$D_p = 2 \cdot 12,06 = 24,12 \text{ мм}$$

Зовнішній діаметр фрези D визначається за формулою:

$$D = 2 \cdot x_{\max} + (3 \div 10),$$

$$D = 2 \cdot 12,06 + 3,88 = 28 \text{ мм}$$

Довжина різальної частини l_p визначається за формулою:

$$l_p = y_{\max},$$

де: $y_{\max}$ - максимальна глибина профіля впадини зубчатої рейки,

$$l_p = 18,1 \text{ мм}$$

Загальна довжина фрези L визначається за формулою:

$$L = (1,9 \div 4) \cdot l_p,$$

$$L = 3,25 \cdot 18,1 = 59 \text{ мм}$$

Кількість зубців фрези приймаємо $Z = 3$.

Визначаємо кути пальцевої модульної фрези.

Для чорнових пальцевих фрез:

- передній кут має бути в межах $8-10^0$. Приймаємо передній кут $\gamma = 10^0$;
- задній кут має бути в межах $12-30^0$. Приймаємо задній кут $\alpha = 14^0$;
- кут загострення утворюється передньою та задньою поверхнями. Міцність зубця фрези тим більший, чим більший кут загострення. Однак, збільшення цього кута утруднює врізання зубця в оброблюваний матеріал та підвищує температуру різання. Приймаємо кут врізання $\beta = 68^0$;
- кут нахилу гвинтової різальної кромки слугує для збільшення плавності роботи фрези та для створення наряду сходу стружки. Кут нахилу гвинтової різальної кромки має бути в межах $10-55^0$. Приймаємо $\omega = 45^0$.

Хвостовиком проектуємої пальцевої модульної фрези є конус інструментальний. За ГОСТ 25557-2006 обираємо конус Морзе №3, який кріпиться до робочої частини зварюванням.

Конструкція пальцевої модульної фрези представлена на рисунку 3.6.

Матеріал різця: хвостовика – сталь 40Х ГОСТ 4543-71; робоча частина – сталь Р9 (Р6М5) ГОСТ19265-73.

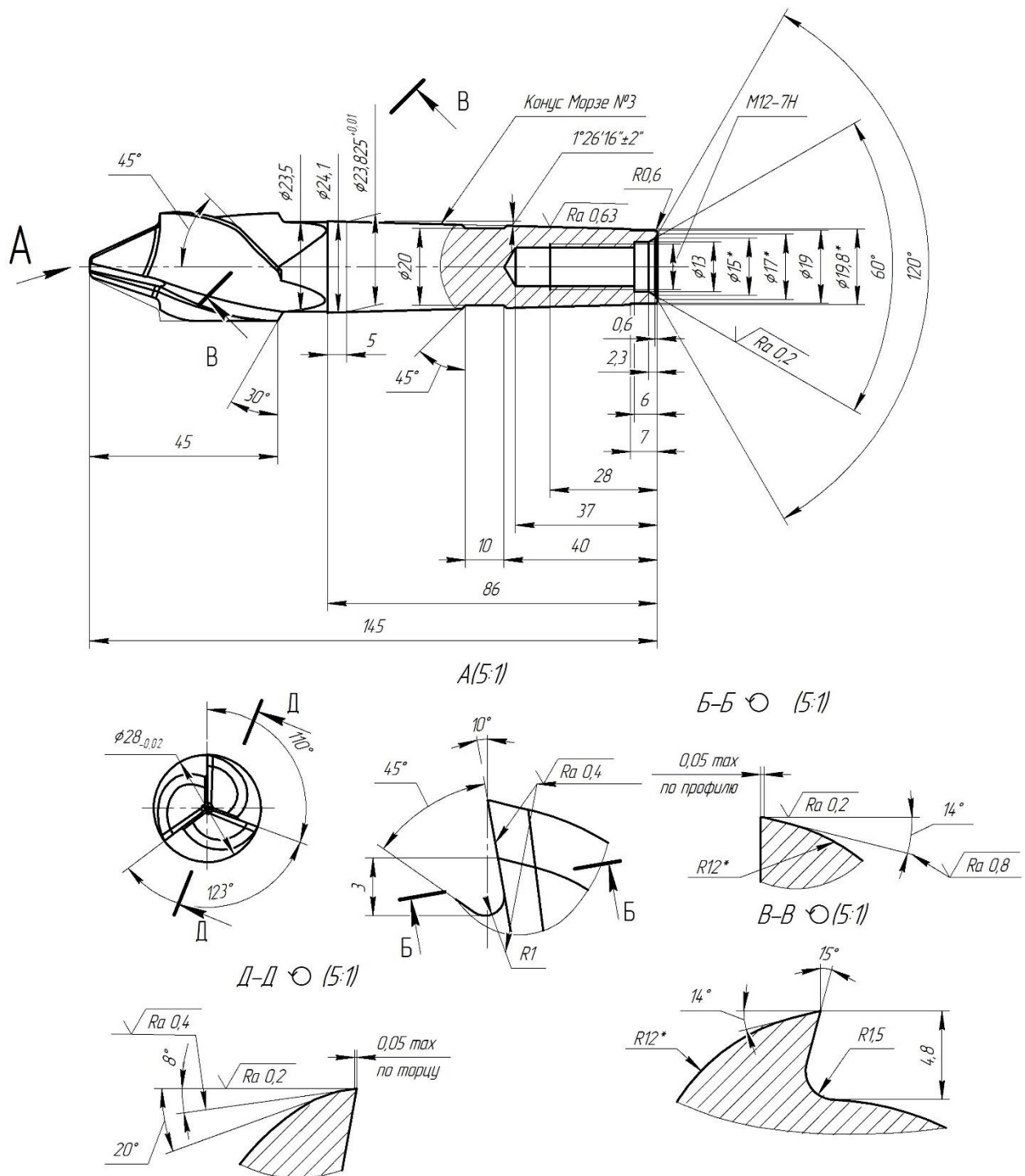


Рис. 2.6. пальцевої модульної фрези

2.3.3. Розробка креслення спеціального ріжучого інструменту

Креслення спеціального різального інструменту виконується в кількості проєкцій і перерізів, необхідній для повного розуміння його конструкції. На кресленні проставляються всі необхідні розміри, параметри шорсткості поверхонь інструменту, а також допуски розташування найбільш відповідальних поверхонь. Технічні вимоги до різального інструменту формулюються у стислій, коректній та однозначній формі. Складальне креслення різального інструменту наведено в графічній частині кваліфікаційної роботи.

Висновки

В кваліфікаційній роботі на тему: «Розробка технологічного оснащення та різального інструменту для виготовлення деталі ротор кульково-гвинтового гідропідсилювач ШВГУ 700»

З метою підвищення гнучкості технологічного процесу та зниження собівартості обробки деталі «Ротор» УЯИШ.716624.003М у розробленому технологічному процесі запропоновано об'єднати фрезерні операції 040, 045, 050, 055 і 060 в єдину комплексну операцію 040 з ЧПК, що виконується на багатоцільовому обробному центрі VF3 виробництва HAAS.

З метою зниження собівартості обробки деталі «Гайка» УЯИШ.715152.003М запропоновано замінити токарні операції 010, 015, 020 і 030, токарну операцію з ЧПК 025, комплексну операцію з ЧПК 040 та фрезерну операцію 045 єдиною комплексною операцією 010 з ЧПК, що виконується на верстаті з контршпінделем. Додатково запропоновано змінити тип вихідної заготовки.

Відповідно до розроблених технологічних процесів визначено структуру та зміст операцій, вибрано технологічне обладнання, розраховано режими різання і встановлено норми часу. З урахуванням запропонованих змін розроблено конструкції затискного пристрою, контрольного пристрою та спеціального різального інструменту. Параметри зрізуваного шару багатозубих дискових інструментів і торцевих фрез визначено з використанням засобів тривимірного комп'ютерного проєктування.

Для забезпечення випуску деталей розроблено компонування цеху та планування виробничої ділянки. Розглянуто питання охорони праці. Усі прийняті технічні рішення підтверджено відповідними економічними розрахунками.

Перелік використаних джерел

1. Годунко М.О. Основи 3D моделювання і робототехніки: Навч. посіб. для проведення практичних занять / М.О. Годунко, А.І. Гречка. – К. : 7БЦ, 2024. – 42 с.
2. Апаракін А.Р. Синтез схем навантаження силових елементів кулькогвинтового гідропідсилювача з аксіальною структурою приводу / А.Р. Апаракін, П.М. Єрьомін, В.А. Мажара // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. – Кропивницький: ЦНТУ, 2024. – Вип. 9 (40). - Ч. II. – С. 23-31.
3. Мажара В.А. Система автоматизованого проектування технологічного оснащення / В.А. Мажара, К.К. Щербина, А.М. Артюхов, С.А. Тененика, І.С. Шестаков // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кропивницький : ЦНТУ, 2024. – Вип. 54. – С. 12-23.
4. Мажара В. А. Контрольно-вимірювальні пристрої. Методичні вказівки для виконання самостійної роботи студентами денної та заочної форми навчання напрямку «Інженерна механіка» з профілюванням за спеціальністю «Технологія машинобудування». – Кіровоград: КНТУ, 2010. – 48 с.
5. Мажара В. А. Технологічна оснастка. Методичні вказівки для виконання самостійної роботи студентами денної форми навчання напрямку «Інженерна механіка» з профілюванням за спеціальністю «Технологія машинобудування». – Кіровоград: КНТУ, 2009. – 44 с.
6. Методичні вказівки до виконання дипломного проекту по кафедрі «Технологія машинобудування» для студентів спеціальності 8.090202 /Уклад. І.І. Павленко та ін. – Кіровоград: КДТУ, 2002. – 40с.
7. Пастернак С. І., Данильченко Ю. М., Сторчак М. Г., Кривошея А. В. Силові характеристики контурної обробки циліндричних зубчастих коліс дисковим інструментом // Вісник Національного технічного університету «ХПІ» : зб. наук. пр. Тематичний випуск «Проблеми механічного приводу». — Харків : НТУ «ХПІ», 2011. — № 28. — С. 110–117.

8. Данильченко Ю.М., Кривошея А.В., Пастернак С.І., Короткий Є.В. Кінематика формоутворення циліндричних зубчастих коліс з заданим профілем дисковим інструментом // Вестник НТУУ “Киевский политехнический институт”, сер. Машиностроение. – 2005. – № 46. – С. 104-108.
9. Данильченко Ю.М., Кривошея А.В., Пастернак С.І. Математичне моделювання законів руху дискового інструменту при обробці зубчастих коліс довільного профілю // Вестник НТУУ “Киевский политехнический институт”, сер. Машиностроение. – 2006. – № 49. – С. 104-108.
10. Кваліфікаційна робота за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти: методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти спеціальності 131 «Прикладна механіка» всіх форм навчання / К. К. Щербина та ін., – Кропивницький : ЦНТУ, 2024. 16с.
11. Боровик О. В., Малашин М. О. Довідник з креслення. Стандарти ISO : навчально-методичний посібник. Хмельницький: Видавництво НАДПСУ. 2014. 104 с.
12. ДСТУ ISO 128-1:2005 Технічні Кресленики. Загальні принципи оформлення. [Чинний від 2019-01-01]. Київ, 2018.
13. ДСТУ EN ISO 10209:2018 Технічна документація на продукцію. Словник термінів щодо технічних креслеників, визначення виробів і відповідної документації. [Чинний від 2008-01-01]. Київ, 2008.
14. ДСТУ ISO 5457:2006 Документація технічна на вироби. Розміри та формати. [Чинний від 2008-01-01]. Київ, 2008.
15. ДСТУ ISO 5455:2005 Кресленики технічні. Масштаби. [Чинний від 2006- 07- 01]. Київ, 2006.
16. ДСТУ ISO 3098-0:2006 Документація технічна на вироби. Шрифти. Загальні вимоги. [Чинний від 2008-01-01]. Київ, 2006.
17. ДСТУ ISO 128-20:2005 Кресленики технічні. Загальні принципи подавання. Частина 20. Основні положення про лінії. [Чинний від 2007- 04-01]. Київ, 2007.

- 18.ДСТУ ISO 128-21:2005 Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 21. Лінії, виконані автоматизованим проектуванням. [Чинний від 2007-04-01]. Київ, 2007.
- 19.ДСТУ ISO 128-22:2005 Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 22. Основні положення та правила застосування 27 ліній виносок і полиць ліній-виносок. [Чинний від 2007-04-01]. Київ, 2007.
- 20.ДСТУ ISO 128-24:2005 Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 24. Лінії на машинобудівних креслениках. [Чинний від 2007-04-01]. Київ, 2007.
- 21.ДСТУ ISO 128-30:2005 Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 30. Основні положення про види. [Чинний від 2007- 04-01]. Київ, 2007.
- 22.ДСТУ ISO 128 34:2005 Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 34. Види на машинобудівних креслениках. [Чинний від 2007-04-01]. Київ, 2007.
- 23.ДСТУ ISO 128-40:2005 Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 40. Основні положення про розрізи та перерізи. [Чинний від 2007-04-01]. Київ, 2007.
- 24.ДСТУ ISO 128-44:2005 Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 44. Розрізи та перерізи на машинобудівних креслениках. [Чинний від 2006-07-01]. Київ, 2005.
- 25.ДСТУ ISO 128 50:2005 Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 50. Основні положення про зображення розрізів і перерізів. [Чинний від 2006-07-01]. Київ, 2006.
- 26.ДСТУ EN ISO 1302:2018 Технічні вимоги до геометричних характеристик продукції (GPS). Познака зовнішньої текстури в технічній документації на продукцію. [Чинний від 2019-01-01]. Київ, 2018.
- 27.ДСТУ ISO 129 1:2007 Кресленики технічні. Проставлення розмірів і допусків. Частина 1. Загальні принципи. [Чинний від 2009-07-01]. Київ, 2010.

- 28.ДСТУ ISO 286-1:2002 Допуски і посадки за системою ISO. Частина 1. Основи допусків, відхилів та посадок. [Чинний від 2003-10-01]. Київ, 2003. 28
- 29.ДСТУ EN ISO 2692:2018 Технічні вимоги до геометричних характеристик продукції (GPS). Визначення геометричних допусків. Вимоги щодо максимуму матеріалу (MMR), мінімуму матеріалу (LMR) та взаємодії (RPR). [Чинний від 2019-01-01]. Київ, 2018.
- 30.ДСТУ ISO 2768-1:2001 Основні допуски. Частина 1. Допуски на лінійні та кутові розміри без спеціального позначення допусків. [Чинний від 2003-01-01]. Київ, 2002.
- 31.ДСТУ ISO 2768-2:2001 Основні допуски. Частина 2. Допуски геометричні для елементів без спеціального позначення допусків. [Чинний від 2003-01-01]. Київ, 2002.
- 32.ДСТУ ISO 5458:2001 Технічні вимоги до геометрії виробів (GPS). Встановлення геометричних допусків. Позиційні допуски. [Чинний від 2003-01-01]. Київ, 2002.
- 33.ДСТУ EN ISO 5459:2018 Технічні вимоги до геометричних характеристик продукції (GPS). Геометричні допуски. Бази та системи баз. [Чинний від 2019-01-01]. Київ, 2018.
- 34.ДСТУ ISO 7083:2009 Кресленики технічні. Умовні позначки геометричних допусків. Співвідношення та розміри. [Чинний від 2011-07-01]. Київ, 2015.
- 35.ДСТУ ISO 10578:2014 Кресленики технічні. Допуски орієнтування та розташування. Виступне поле допуску. [Чинний від 2015-07-01]. Київ, 2015.
- 36.ДСТУ EN ISO 6433:2018 Кресленики технічні. Позначення деталей. [Чинний від 2019-01-01]. Київ, 2018.
- 37.ДСТУ EN ISO 7200:2005 Розроблення технічної документації. Графи у штампах та основних написах. [Чинний від 2006-10-01]. Київ, 2007.
- 38.ДСТУ ISO 7573:2006 Кресленики технічні. Специфікація. [Чинний від 2001-06-27]. Київ, 2008.