

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 процесу механічної
обробки деталі шків СУПА 00098**

Виконав здобувач вищої освіти 4-го курсу
групи ГМ-23мб-3
ОПП «Галузеве машинобудування»
спеціальності 133 «Галузеве
машинобудування»
_____ Руслан ГОРДІЄНКО

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: 133 Галузеве машинобудування

Освітньо-професійна програма: Галузеве машинобудування

Завідувач кафедри

машинобудування, мехатроніки і

робототехніки

канд. техн. наук., доцент

_____ Андрій ГРЕЧКА

«_____» _____ 2026 р.

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти**

Гордієнко Руслан Петрович

Тема роботи:

Розробка технологічного процесу механічної обробки деталі шків СУПА 00098

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 процесу для виготовлення деталі шків СУПА 00098

Завдання: обґрунтувати актуальність теми та напрямок розрахунків, провести розрахунок технологічного процесу виготовлення деталі шків СУПА 00098

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 технологічна частини	30.04.2026	
4	Розробка креслеників	30.04.2026	
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 _____ Руслан ГОРДІЄНКО

Керівник роботи _____ Кирил ЩЕРБИНА

АНОТАЦІЯ

Гордієнко Р.П. Розробка технологічного процесу механічної обробки деталі шків СУПА 00098 : кваліфікаційна бакалаврська робота: спец. 133 Галузеве машинобудування / наук. кер. К.К. Щербина; Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. Кропивницький : ЦНТУ, 2025. 43 с.

Креслеників – разом 3 аркушів формату А1

Метою роботи є розробка технологічного процесу виготовлення деталі шестерня ведуча.

Актуальність роботи полягає в підвищенні продуктивності та зменшення собівартості виготовлення деталі за рахунок використання сучасного обробного обладнання.

В роботі виконано опис вузла та деталі та їх службового призначення, аналіз точності та технологічності, виконано розрахунок режимів обробки, припусків на обробку та нормування операцій.

технологічний процес, режими обробки, шків, сівалка

ANNOTATION

HORDIIENKO R.P. Development of technological process for machining a pulley part SUPA 00098: qualification bachelor's thesis: specialty 133 Industrial Engineering / scientific adviser K.K. Shcherbyna; Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi: CNTU, 2026. 43 с.

Drawings - a total of 3 sheets of A1 format

The aim of the work is to develop a technological process for the manufacture of a gear drive part.

The relevance of the work is to increase productivity and reduce the cost of manufacturing the part through the use of modern machining equipment.

The work describes the assembly and the part and their service purpose, analyzes the accuracy and manufacturability, calculates the machining modes, machining allowances and rationing of operations.

technological process, machining modes, pulley part, mechanical seeder

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

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи на тему:

Розробка технологічного процесу механічної обробки деталі шків СУПА 00098

КРБ.ПМ.25.23.09.00.00

Виконав здобувач вищої освіти 4-го курсу
групи ГМ-23мб-3
ОПП «Галузеве машинобудування »
спеціальності 133 «Галузеве
машинобудування»

_____Руслан ГОРДІЄНКО

Керівник роботи к.т.н., доцент

_____Кирил ЩЕРБИНА

Кропивницький –2026

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. Загальна частина	9
1.1. Службове призначення виробу.....	9
1.2. Аналіз технологічності деталі і технічних умов на її виготовлення....	9
1.3 Техніко-економічні показники методів виготовлення заготовки	14
2. Технологічна частина.....	16
2.1. Аналіз базового технологічного процесу.....	16
2.2. Побудова маршруту обробки внутрішньої циліндричної поверхні.....	18
2.3. Побудова плану технологічного процесу механічної обробки деталі	18
СУПА 00098.....	
2.4. Розробка структури технологічної операції і вибір обладнання.....	20
2.5. Вибір верстатних пристосувань ріжучого та вимірювального інструменту.....	20
2.6. Розрахунок припусків та операційних розмірів	25
3. Конструкторська частина.....	35
3.1. Загальне призначення та принцип дії пристрою.....	35
3.2 Детальний по вузловий аналіз конструкції за позиціями креслення....	35
3.3 Математичне моделювання та розрахунок точності стенда	37
Висновки.....	39
Література.....	40

ВСТУП

У сучасних умовах серійного машинобудівного виробництва стратегічним вектором розвитку технологічних процесів є інтенсифікація продуктивності та підвищення рівня технологічної гнучкості. Це зумовлено динамічним розширенням номенклатури виробів та об'єктивною необхідністю переходу до аддитивних і автоматизованих форм виробництва. Реалізація цих вимог базується на широкомасштабній інтродукції високотехнологічного устаткування, зокрема верстатів із числовим програмним керуванням (ЧПК), а також інтеграції багатоцільових обробних центрів і гнучких виробничих систем (ГВС), що забезпечують оперативну реконфігурацію виробничого середовища.

Експлуатація обладнання з ЧПК дозволяє досягти високого рівня автоматизації як основних (технологічних), так і допоміжних переходів. Це мінімізує часові витрати на переналагодження при зміні об'єкта обробки, гарантує стабільність допусків на геометричні параметри та стабільно високу якість мікрогеометрії поверхонь, що є критично важливим навіть у межах дрібносерійного випуску продукції.

Проектування технологічного процесу механічної обробки вимагає комплексного техніко-економічного аналізу альтернативних варіантів структури операцій. Цей процес передбачає компаративний аналіз ефективності різних груп металорізального обладнання — від універсальних одиниць і напівавтоматів до багатофункціональних обробних центрів. Основними критеріями виступають коефіцієнт технологічної адаптивності до змінних параметрів замовлень та здатність вузлів до інтеграції в автоматизовані інтелектуальні комплекси.

Верстати з ЧПК демонструють суттєву перевагу над традиційним обладнанням завдяки реалізації методів контурної та об'ємної інтерполяції, що забезпечує прецизійне узгодження рухів виконавчих органів за декількома координатними осями одночасно (включаючи 5-осьову та 6-осьову обробку). Це є обов'язковою умовою для виготовлення деталей із просторово складною конфігурацією. Модернізована архітектура приводів головного руху та подач сприяє підвищенню статичної та динамічної жорсткості ВПІДсистеми (верстат-пристрій-

інструмент-деталь), що нівелює негативний вплив автоколивань на точність обробки.

Сучасна генерація верстатів із ЧПК штатно комплектується автоматичними пристроями зміни інструменту (АТС) та системами автоматизованого завантаження-розвантаження заготовок, що максимізує автономність виробничого циклу. Токарні обробні комплекси оснащуються револьверними головками з привідним інструментом та індивідуальними сервоприводами, що дозволяє виконувати повний цикл обробки (включаючи фрезерні та свердлильно-розточувальні переходи) за один установ у напівавтоматичному або автоматичному режимах.

Конвергенція верстатів із ЧПК, промислової робототехніки та автоматизованих транспортно-складських систем формує базис для створення «безлюдних» виробничих ліній (Unmanned Manufacturing Systems). У таких системах повний життєвий цикл виготовлення — від вхідного контролю заготовки до вихідного моніторингу якості готового виробу — реалізується в межах єдиного інформаційно-керуючого простору, що повністю відповідає парадигмі Industry 4.0.

1. Загальна частина

1.1. Службове призначення деталі

Шків СУПА 00098 призначений для передачі крутного моменту та обертального руху від вала, на якому він установлений, на клиновий ремінь пасової передачі привода вентилятора.

За своєю геометричною конфігурацією деталь належить до класу тіл обертання. Вона має внутрішні та зовнішні циліндричні й конічні поверхні. На торцевих поверхнях шків виконано різьбові отвори.

Основною конструкторською базою деталі є центральний (посадковий) отвір, за яким здійснюється її базування на валу. Допоміжними конструкторськими базами слугують канавки (ручаї) на зовнішній циліндричній поверхні, що забезпечують спряження з клиновим ременем, а також різьбові отвори, які використовуються для фіксації деталі.

1.2 Аналіз технологічності деталі і технічних умов на її виготовлення.

Технологічність конструкції — це сукупність властивостей виробу, які визначають його пристосованість до забезпечення оптимальних витрат ресурсів під час виробництва, експлуатації та ремонту за заданих показників якості, обсягу випуску та умов виконання робіт. Питання технологічності посідають одне з ключових місць серед вимог до техніко-економічних показників промислової продукції. Аналіз технологічності конструкції здійснюють із урахуванням умов її виробництва, а особливості геометрії та вимоги до якості розглядають як конкретні технологічні завдання для виробника.

Згідно з ГОСТ 14.205-83, технологічність конструкції визначає пристосованість виробу до досягнення оптимальних витрат на всіх етапах його життєвого циклу. До заданих показників якості, у синергії з якими забезпечується технологічність, належать:

безвідмовність функціонування та довговічність;

точність спряження деталей;

рівень шуму та безпечність експлуатації;
коефіцієнт корисної дії (ККД);
зручність і простота технічного обслуговування;
ступінь механізації й автоматизації робіт тощо.

1.3. Кількісний метод оцінки технологічності.

Для кількісного метода оцінки технологічності конструкції застосовують показники, запропановні ГОСТ 14.202-73. Проводимо розрахунок по деяким з цих показників.

Коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів деталі:

$$K_{ц.е} = Q_{у.е} / Q_e \quad (1.3.1)$$

підставляя ці величини у формулу (1.3.1), отримаємо:

$$K_{ц.е} = 9/11 = 0,81$$

Де: $Q_{у.е}$ = 9 шт. – число уніфіцірованих елементів деталі

Q_e = 11 шт. – загальне число конструктивних елементів.

При $K_{ц.е} > 0,6$ деталь враховується технологічною.

Деталь враховується технологічною по точності якщо коефіцієнт точності обробки $K_{точ} \geq 0,8$. Цей коефіцієнт розраховується за формулою:

$$K_{точ} = 1 - 1/A_{ср} \quad (1.3.2)$$

де: $A_{ср}$ – середній квалітет точності обробки, розраховується як:

$$A_{ср} = \sum A \times n_i / \sum n_i \quad (1.3.3)$$

де: A – квалітет точності обробки;

n – число розмірів відповідаючих даному квалітету, шт.

Підставляя данні величини до формули (1.3.3), отримаємо:

$$A_{ср} = (7 \times 6,3 + 2,5 + 14 \times 5) / 14 = 9,1$$

Підставляя дані величини до формули (1.3.2) отримаємо:

$$K_{точ} = 1 - 1/9,1 = 0,89$$

При коефіцієнті $K_{точ} > 0,8$ деталь враховується технологічною.

Определимо технологічність по коефіцієнту шорсткості, який повинен прагнути до нуля:

$$K_{ш} = Q_{ш.н} / Q_{ш.о} \quad (1.3.4)$$

де: $Q_{ш.н}$ – число поверхонь з необґрунтованою шорсткістю, шт.

$Q_{ш.о}$ – загальне число поверхонь підлеглих обробці, шт.

Так як $Q_{ш.н} = 0$ то $K_{ш} = 0$ і значить деталь може враховуватись технологічною.

Елемент деталі	Номера поверхонь які його утворюють	Класифікація елементів
отвір Ø62H7	5	уніфікований
канавка під стопорне кільце Ø68, 1.9	6	не уніфікований
отвір різьбовий 6шт. M10-7H	14	уніфікований
отвір різьбовий 3шт. M6-7H	10	уніфікований
канавка під клиновий пас 2шт. 17.4,14	2,11	не уніфікований
Внутрішній отвір Ø110	7,17	уніфікований
Внутрішній отвір Ø160H7	15,8	уніфікований
торець	3	уніфікований
торець	19	уніфікований
торець	13	уніфікований
торець	9	уніфікований

Підсумок: 9- уніфікованих елементів, 2- не уніфікованих, усього 11 елементів.

1.2.2 Якісний метод оцінки технологічності.

Якісний метод оцінки технологічності конструкції деталі ґрунтується на практичних рекомендаціях. Об'єкт аналізу за своєю геометричною конфігурацією є тілом обертання і належить до класу дисків. Це дозволяє застосовувати для його виготовлення всі стандартні методи механічної обробки поверхонь обертання.

Деталь — шків — виготовляється з алюмінієвого ливарного сплаву АК7 методом лиття, завдяки чому формоутворення зовнішнього контуру та внутрішніх поверхонь не викликає значних труднощів під час отримання заготовки. Проте лиття конструкції такої форми потребує використання ливарних стрижнів для формування внутрішніх порожнин.

Аналогічні вимоги висуваються і до внутрішніх поверхонь, що підлягають подальшій механічній обробці (зокрема, центрального отвору Ø62H7). Цей отвір має бути виконаний у межах зазначених граничних відхилень із дотриманням допуску співвісності (концентричності) до 0,02 мм. Ефективним способом досягнення вказаної точності є тонке розточування на алмазно-розточувальних верстатах.

Конструкція деталі є високотехнологічною: вона допускає застосування високопродуктивних режимів різання та має надійні технологічні бази для виконання перших операцій. Розташування кріпильних отворів (як різьбових, так і гладких) дозволяє проектувати багатоінструментальну обробку. Усі поверхні, які потребують оброблення, є легкодоступними. Раціональна форма та розміщення базових поверхонь на заготовці суттєво спрощують розробку та реалізацію технологічного процесу виготовлення деталі.

1.2.3 Аналіз матеріалу деталі

Матеріал деталі : Отлівка АК 7 ГОСТ 1583-89.

Таблиця механічних властивостей матеріалу деталі.

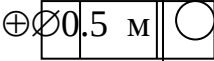
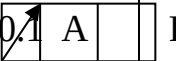
Марка матеріалу	σ _{пч} (кг/мм ²)	σ _{пц} (кг/мм ²)	Твердість по Бринелю НВ
АК 7	38	22	120

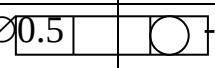
Таблиця хімічного складу матеріалу деталі.

Марка матеріалу	магній	кремній
АК 7	0.2-0.4%	6-8%

1.2.4 Аналіз точності деталі.

Для забезпечення виготовлення заданої деталі і правильної її збірки виконуємо ескіз даної деталі з нумерацією її основних поверхонь.

Номер поверхні на деталі	Найменування поверхні	Розміри з відхиленнями	Квалітет точності	Точність відносного розміщення	Точність форми	Шорсткість
1	2	3	4	5	6	7
1	Циліндрична зовнішня	$\varnothing 323.4$	-	-		Ra12.5
2	Циліндрична зовнішня	$\varnothing 315(-1.3)$	h14	-	-	Ra20
3	Торцева	44	-	-	-	Ra12.5
4	Внутрішня конічна	$\varnothing 275$	-	-	-	Ra20
5	Внутрішня циліндрична	$\varnothing 62(+0.03)$	H7	-	-	Ra2.5
6	Торцева	$1.9(+0.14)$	-	-	-	Ra2.5
7	Торцева	42	-	-	-	Ra20
8	Торцева	52	-	-	-	Ra12.5
9	Торцева	57	-	-	-	Ra12.5
10	Різьбова	M6	-		-	-
11	Конічна	17.4	-	-		Ra2.5
12	Конічна	$\varnothing 175$	-	-	-	Ra20
13	Торцева	16	-	-	-	Ra20

1	2	3	4	5	6	7
14	Різьбова	M10	-	$\oplus \varnothing 0.5$ м		-
15	Внутрішня циліндрична	$\varnothing 160(+0.4)$	H7	-	-	Ra1 2.5
16	Конічна	$\varnothing 96$	-	-	-	Ra2 0
17	Внутрішня циліндрична	$\varnothing 110$	-	-	-	Ra2 0
18	Торцева	-	-	-	-	Ra2 0
19	Торцева	44	-	-	-	Ra2 0
						Ra1 2.5

1.3. Техніко-економічні показники методів виготовлення заготовки.

Вибір способу виготовлення визначається матеріалом деталі і типом виробництва. Матеріал деталі – АК 7 ГОСТ 1583-89 визначений конструктором. Вибір способу виготовлення дозволяє отримати відливку високої якості з мінімальним об'ємом механічної обробки деталі.

Спосіб виготовлення заготовки приймаємо лиття в кокіль. Цей спосіб рекомендовано застосувати для лиття деталей типа дисків складної конфігурації із алюмінію в цілях серійного виробництва.

Для лиття деталі виготовляється спеціальна механічна форма (кокіль), повторююча форми деталі. Роз'їм форми горизонтальний або вертикальний.

На підставі аналізу деталі по кресленню, учбовій і довідній літературі відбираємо два види отримання відливки: лиття в песчано-глиняні форми і лиття в кокіль.

Щоб остаточно перекоонатись в правильності вибраного методу отримання заготовки, проведемо коштовний аналіз двох видів заготовки. Численним критерієм даного аналізу є використання матеріалу який розраховується за формулою:

$$K_{i.m.} = m_d / m_z. \quad (1.4.1)$$

де: m_d – маса деталі, кг.;

m_z - маса заготовки, кг.

Маса деталі дорівнює 3.6 кг, маса заготівки¹ дорівнює 4.2кг, маса другої заготовки дорівнює 3.8кг.

З розрахунку видно, що коефіцієнт використання матеріалу при заготовці отримує мій при литті в кокіль вище. Підставивши визначені величини в формулу (1.4.1), отримаємо:

$$K_{i.m. 1} = 3.6 / 4.2 = 0.857$$

$$K_{i.m. 2} = 3.6 / 3.8 = 0.947$$

Наглядно видно, що при використанні матеріалу при отриманні заготовки литтям в кокіль значно вище.

Розраховуємо грошовий еквівалент економії матеріалу. Для цього полічимо різність мас відходів заготівок:

$$m_{z.2} - m_{z.1} = 4.2 - 3.8 = 0.4 \text{ кг.}$$

Перемножив отриману різницю на вартість одного кілограму матеріалу (АК7) і на годову програму випуску деталі ми отримаємо повну річну економію "€".

$$€ = 0.4 \times 5000 \times 5 = 10000 \text{ гр.}$$

Проаналізував отриманні данні, ми бачимо, що лиття в кокіль вигідніше лиття в песчано-глиняні форми. Дохід від виробництва заготовок перекиває затрати на лиття в кокіль, то приймаємо метод отримання заготівок лиття в песчано-глиняні форми.

2. Технологічна частина

2.1 Аналіз базового технологічного процесу.

2.1.1 Базовий технологічний процес механічної обробки шківів СУПА00098.

№ оп.	Верстат	Операційний час хв. $T_{оп.} = T_{о.} + T_{д.}$	Час зайнятості оператора хв. $T_{з.}$	Коефіцієнт завантаженості оператора $K_{з.} = T_{з.} / T_{оп.}$
005	16K20Ф3С32	15.2	0.5	0.032
010	16K20Ф3С32	10.2	0.5	0.049
015	2Н135	1.08	1.08	1
020	2Н135	1.59	1.59	1
025	2Н135	0.97	0.97	1
030	2056	0.99	0.99	1
035	2Н135	2.51	2.51	1
040	2Н135	0.93	0.93	1
045	2Н135	0.95	0.95	1
050	2056	0.9	0.9	1
055	2Н135	2.91	2.91	1
060	2Н135	0.66	0.66	1
065	2Н135	2.91	2.91	1
070	16K20Ф3С32	2.1	0.5	0.23

Як свідчать дані таблиці, у базовому технологічному процесі поєднано використання верстатів із ЧПК та універсального обладнання. На універсальних вертикально-свердлувальних верстатах (зокрема, моделі 2Н135) виконуються прості операції, що не потребують тривалого переналагодження.

За такої схеми обробки коефіцієнт завантаження обладнання на операціях із ЧПК становить до 0,23, тоді як на універсальних верстатах цей показник досягає 1,0, що свідчить про повне завантаження (або перевантаження) ділянки.

Для оптимізації коефіцієнтів завантаження та збалансування виробничого процесу доцільно замінити універсальні верстати на обладнання з ЧПК. Це також дозволить спростити технологічне оснащення. Свердлувальні кондуктори, які застосовують на універсальних верстатах, є трудомісткішими у виготовленні та мають менший експлуатаційний ресурс. Крім того, такі пристрої переважно є одномісними (розрахованими на фіксацію лише однієї деталі). Натомість верстатні пристрої для обладнання з ЧПК характеризуються високим рівнем уніфікації, що забезпечує їхню економічну ефективність.

Додатковою перевагою переходу на верстати з ЧПК є підвищення точності обробки завдяки зменшенню кількості установлень деталі та суворому дотриманню принципу єдності баз.

2.2 Побудова маршруту обробки внутрішньої циліндричної поверхні Ø62H7.

Допуск поверхні	Шорсткість поверхні	Допуск на заготовку	Можливі маршрути		Допуск	Коефіцієнт уточнення	Еобщ.
			№	Зміст маршруту			
0.03	Ra 2.5	4	1	Розточування поверхні попередньо.	1.26	3.17	63.3
				Розточування поверхні кінцеве.	0.2	3.15	
				Зенкерування поверхні.			
				Розвірчування поверхні попередньо.	0.12	1.6	
				Розвірчування поверхні кінцеве.	0.06	2	
					0.03	2	
			2	Розточування поверхні чорнове попереднє.	1.26	3.17	66.5
				Розточування поверхні чорнове кінцеве.	0.2	3.15	
				Розточування поверхні чистове.	0.1	2	
				Розточування поверхні тонке.			
					0.03	3.33	

Значення коефіцієнта загального уточнення

$$E_{\text{общ.}} = \delta_{\text{заг.}} / \delta_{\text{дет.}} = 2000 / 30 = 66.5$$

Значення коефіцієнта E_i для першого маршруту $E_i = 63.9$

Значення коефіцієнта E_i для другого маршруту $E_i = 66.5$

З урахуванням того, що $E_2 = E_{\text{общ.}}$ приймаємо другий маршрут обробки.

2.3 Побудова плану технологічного процесу механічної обробки деталі СУПА 00098.

З урахуванням класу деталі необхідно побудувати маршрут обробки. Токарна обробка наружних і внутрішніх циліндричних поверхонь, а також поверхонь торців, проводиться на верстатах з програмним керуванням.

Послідовність оброблення встановлюють такою, щоб на перших технологічних переходах знімати максимальний припуск. Базування деталі

здійснюють із розрахунком забезпечення мінімальних і рівномірних припусків на подальше оброблення. Окрім цього, під час закріплення деталі необхідно дотримуватися принципу «силового замикання», а також забезпечувати максимальну протидію силам різання за мінімально достатнього зусилля затискання.

На кресленні деталі виконано нумерацію всіх поверхонь та геометричних розмірів. З урахуванням вимог до вибору чорнової бази, за таку прийнято поверхню 19. Базування за цією поверхнею дозволяє найточніше зорієнтувати деталь в осьовому напрямку відносно поверхні 5. Крім того, геометрія цієї поверхні забезпечує надійне та стабільне фіксування деталі під час виконання першої технологічної операції.

Під час другої токарної операції обробляють циліндричні та торцеві поверхні з протилежного боку деталі. При цьому як технологічні (чистові) бази використовують уже оброблені на попередній операції поверхні.

Як було зазначено раніше, за чорнову технологічну базу прийнято торцеву поверхню 19 з упором у поверхню 12.

Під час подальшого оброблення як технологічні бази використовують уже чистові (оброблені) поверхні. Зокрема, на другій операції базування здійснюють за торцевою поверхнею 3 з упором у поверхню 4. На третій, завершальній операції як базову використовують поверхню 5 з упором у поверхню 8.

2.4 Розробка структури технологічних операцій і вибір обладнання.

З урахуванням обраного типу інтеграції та орієнтації деталі для реалізації технологічного процесу прийнято верстати з числовим програмним керуванням (ЧПК). Токарні операції виконуються на токарно-гвинторізних верстатах із ЧПК моделі 16K20Ф3С32, а свердлувальні та різьбонарізні — на вертикально-свердлувальних верстатах із ЧПК моделі 2Р135Ф3.

У таблиці наведено повний маршрут оброблення деталі із зазначенням технологічних баз і розмірів, що забезпечуються на кожному технологічному переході.

Указані в таблиці номери поверхонь і розмірів відповідають операційним ескізам деталі. Такий підхід дозволяє оптимізувати обсяг графічної частини проєкту й уникати дублювання ескізів.

2.5 Вибір верстатних пристосувань ріжучого та вимірювального інструменту.

2.5.1 Вибір верстатних пристосувань.

Досвід експлуатації технологічного оснащення в умовах виробничих діляниць, укомплектованих верстатами з числовим програмним керуванням (ЧПК), продемонстрував низьку економічну та виробничу ефективність застосування спеціальних верстатних пристроїв, спроектованих під конкретну деталь.

Найбільш ефективним є проектування та впровадження оснащення на базі стандартизованих збірних пристроїв із можливістю швидкої заміни (переналагодження) установчих та затискних елементів. З урахуванням зазначених чинників здійснюється підбір та обґрунтування верстатних пристроїв для проєктованого технологічного процесу.

Складові елементи та характеристики обраного оснащення наведено у зведеній таблиці 2.7.1.

№ оп.	Модель Верстага	Найменування пристосування	Код	Номер станд.	Вид приводу	Коротка технічна характеристика
005	16K20Ф3	Патрон клиновий	7102-0072	ГОСТ 16886	Гідравлічний.	Патрон складається із циліндричного корпусу в якому розміщені клин і з'єднані з ним підкулачники. Спеціальні кулачки кріпляться на підкулачниках, осьові упори в пазах корпусу.
010	16K20Ф3	Патрон цанговий	7110-000	-	Гідравлічний.	Цанга переміщується по нерухомому корпусу до закріплення деталі. На корпусі розміщені осьові упори.
015	2P135Ф3	Патрон цанговий	КПТМ 03.12.34.01.00	-	Гідравлічний.	Цанга переміщується по нерухомому корпусу до закріплення деталі. На корпусі розміщені осьові упори.

На токарних верстатах із числовим програмним керуванням (ЧПК) застосовують токарні різці різних типів зі змінними багатогранними пластинами (ЗБП) із твердого сплаву. Для підвищення експлуатаційної стійкості (періоду стійкості) інструменту використовуються пластини із зносостійким покриттям на основі карбіду титану (TiC).

Під час вибору допоміжного інструменту (інструментального оснащення) перевагу слід віддавати стандартизованим конструкціям згідно з чинними державними та галузевими стандартами (ДСТУ, ГОСТ, ОСТ).

Для обґрунтованого вибору допоміжного інструменту необхідна така вихідна документація:

- паспортні дані металорізального верстата;
- робочі креслення різального інструменту;
- операційні карти, оформлені згідно з ГОСТ 3.1407-86 та ГОСТ 3.1105-84;
- каталоги та переліки стандартів на допоміжний інструмент.

Ураховуючи специфіку оброблення деталей партіями (серійне виробництво) в умовах автоматизованої дільниці, економічно та технологічно виправданим є застосування граничних калібрів для контролю лінійних і геометричних розмірів.

Для правильного підбору засобів технічного контролю необхідно мати:

- карту технічного контролю, оформлену згідно з ГОСТ 3.1502-85;
- карту ескізів, оформлену згідно з ГОСТ 3.1105-84;
- перелік стандартів на вимірювальні інструменти та засоби контролю.

№ оп.	№ оброб. пов.	№ розм	Вимірювальний Інструмент.	Різальний інструмент.	Допоміжний Інструмент.
005	13	35	Штангенциркуль ШЦ- -125-0.1	Різець 113737	Різцетримач 19171102
	3	16	Шаблон 509.8150 - 4003	Різець 113737	Різцетримач 19171102
	1	10	Калібр – скоба СТП 509.8.566-75	Різець 113737	Різцетримач 19171102
	11	20	Шаблон 509.8160-4025	Різець спеціальний 509.2126 - 4021	Різцетримач 19171102
	5	1	Калібр – пробка СТП 509 – 8.92-71	Різець рас точний 118227	Різцетримач 19171102
010	5	25	Шаблон 509.8160 - 4382	Різець спеціальний 509.2128 - 4007	Різцетримач 19171102
	19	16	Шаблон СТП 509.8.395 – 14	Різець 113737	Різцетримач 19171102
	9	12	Шаблон 509.100 - 4021	Різець 113737	Різцетримач 19171102
	15	5	Калібр – пробка 509.8141 – 4001	Різець 113737	Різцетримач 19171102
	17	4	Шаблон 509.8141 - 4001	Різець 113737	Різцетримач 19171102
	1	10	Калібр – скоба СТП 509.8.566-75	Різець 113737	Різцетримач 19171102
	11	21	Шаблон 509.8160-4382	Різець спеціальний 509.2126 - 4021	Різцетримач 19171102

№ оп.	№ оброб.	№ роз	Вимірювальний Інструмент.	Різальний інструмент.	Допоміжний Інструмент.
015	10	32	Калібр – пробка СТП 509 – 8.70 – 71	Свердло ГОСТ 10902 – 77	Втулка перехідна 19171102 ТУ 2 – 024 – 5539 - 81
			Калібр - пробка СТП 509 – 8.418 - 74	Метчик СТП 509 – 2.419 - 74	Метчикотримач 191746001 ТУ 2 – 024 – 5540 - 81
		29	Калібр розміщення 509.8360 – 40.96 - 01	-//-	-//-
	14	27	Калібр – пробка СТП 509.8.70 – 71	Свердло ГОСТ 10602 – 77	Втулка перехідна 19171102 ТУ 2 – 024 – 5539 - 81
			Калібр пробка СТП 509.8.418 - 74	Метчик СТП 509 – 2.419 - 74	Метчикотримач 191746001 ТУ 2 – 024 – 5540 - 81
		31	Міжцентромір спеціальний	-//-	-//-

2.6 Розрахунок припусків та операційних розмірів.

2.6.1 Розрахунок припусків проводимо для внутрішньої циліндричної поверхні Ø62H7.

На інші поверхні припуски зводимо до таблиці 2.8.3

Вихідні данні

Таб. 2.8.1

№ п/п	Вид поверхні	Значення параметрів					
		Rz мм.	T мм.	ΔK мкм/мм	Ky	εy мм.	δ Допуск на оброб. поверхні і мм.
1	Після литва	0.6		0.9	-	-	±1.5
2	Після попереднього чорного розточування	0.24	0.24	-	0.06	0.03	+0.74
3	Після повторного чорного розточування	0.1	0.1	-	0.05	-	+0.03
4	Після розточування чистового	0.02	0.02	-	0.04	-	+0.12
5	Після розточування тонкого	-	-	-	-	-	+0.03

Rz – висота мікро нерівностей [1] стор. 164...194

T – дефектний слід [1] стор. 164...194

ΔK – питома кривизна [1] стор. 164...194

εy – похибка установки [2] стор. 65

Звідна таблиця розрахунку припусків та операційних розмірів												
№ пов.	№ розм.	№ опер. Перех.	Відхил. розміру δ мм.	Складові Z_{min}				Z_{min} мм.	Z_{max} мм.	ΔZ_i	Операційні розміри	
				Rz мм.	T мм.	P мм.	ε_y мм.				До обробки	Після обробки
13	35	005 2	0,37	0,2	0,2	0,007	0,03	0,7	2,2	1,5	66	61,5
3	16	005 3	0,37	0,2	0,2	0,007	-	0,81	6,01	5,2	53	48
1	10	005 4	1,3	0,2	0,2	0,007	-	0,85	4,25	3,4	330	324
2	20	005 5	0,035	0,2	0,2	0,007	-	0,02	3,7	2,36	4	14

Звідна таблиця розрахунку припусків та операційних розмірів													
№ пов.	№ розм.	№ опер. Перех.	Відхил. розміру	Складові Zmin					Zmin мм.	Zmax мм.	Δ Zi	Операційні розміри	
				Rz мм.	T мм.	P мм.	ε у мм.	До обробк				Після обробк	
19	16	010 2	0,37	0,2	0,2	0,007	0,03	0,72	2,45	1,65	48	44	
9	12	010 3	0,37	0,2	0,2	0,007	-	0,43	5,2	3,79	61,5	57	
15	5	010 4	0,43	0,2	0,2	0,007	-	0,81	6,03	3,43	54	160	
17	4	010 5	0,43	0,2	0,2	0,007	-	0,78	2,53	1,75	54	110	
1	10	010 6	0,13	0,1	0,1	0,007	-	0,8	5,7	3,2	324	323,4	
2	21	010 7	0,13	0,1	0,1	0,007	-	0,2	0,82	0,6	-	15	

Звідна таблиця розрахунку припусків та операційних розмірів												
№ пов.	№ розм.	№ опер. Перех.	Відхил. розміру	Складові Zmin				Zmin мм.	Zmax мм.	Δ Zi	Операційні розміри	
				Rz мм.	T мм.	P мм.	ε у мм.				До обробки	Після обробки
14	27	015 3	0,035	0,2	0,2	0,18	0,03	0,02	3,7	2,36	-	8,4
10	32	015 4	0,035	0,2	0,2	0,181	0,03	0,8	3,7	2,25	-	4,95

```

Програма розрахунку припусків
REM введення даних
PRINT "Rz1,Rz2,Rz3,Rz4"
INPUT Rz1,Rz2,Rz3,Rz4
PRINT "T1,T2,T3,T4"
INPUT T1,T2,T3,T4
PRINT "dk"
INPUT dk
PRINT "E2"
INPUT E2
PRINT "Ky2,Ky3,Ky4"
INPUT Ky2,Ky3,Ky4
PRINT "g1,g2,g3,g4,g5"
INPUT g1,g2,g3,g4,g5
PRINT "L"
INPUT L
PRINT "D4max,D4min"
INPUT D4max,D4min
REM розрахунок відхилень
p4=dk*L*0.01
p1=p4*Ky2
p2=p1*Ky3
REM розрахунок мин. припусків
Z3min=T3+Rz3
Z2min=T2+Rz2+SQR*(E2^2+p2^2)
Z1min=T1+Rz1+SQR*(p1^2)
Z4min=T4+Rz4+SQR*(p4^2)
REM розрахунок max припусків
Z3max=Z3min+g2+g3
Z2max=Z2min+g2+g3

```

```

Z1max=Z1min+g2+g3
Z4max=Z4min+g2+g3
REM розрахунок max і min діаметрів
D3min=D4max-Z3max
D3max=D4min-Z3min
D2min=D3max-Z2max
D2max=D3min-Z2min
D1min=D2max-Z1max
D1max=D2min-Z1min
D0min=D1max-Z4max
D0max=D1min-Z4min
PRINT "p4=";p4,"p1=";p1,"p2=";p2,"Z3min=";Z3min,"Z2min=";Z2min
PRINT "Z1min=";Z1min,"Z4min=";Z4min,Z3max=";Z3max
PRINT "Z2max=";Z2max,"Z1max=";Z1max,Z4max=";Z4max
PRINT "D3min=";D3min,"D2min=";D2min,"D1min=";D1min,"D0min=";D0min
PRINT "D3max=";D3max,"D2max=";D2max,"D1max=";D1max
PRINT "D0max=";D0max
END

```

Розрахунково-аналітичним методом виконуємо розрахунок режимів різання для свердління отвору $\varnothing 8.5H14$, поверхня14.

Вихідні данні для розрахунку.

Таб.2.9.3

№ п/п	Найменування		Значення	Інформаційний матеріал
1	Потужність головного приводу верстата 2P135Ф2, кВт.		N=4,0	Паспорт верстата
2	Глибина різання $t=D/2$, мм		4,25	Креслення СУПА 00098
3	Матеріал ріжучої частини інструменту.		P6M5	С.Т.М. Т2 стр.103
4	Подача S_0 мм/об.		0.45	С.Т.М. Т2 таб.№25
5	Стійкість інструменту, хв.		T=35	С.Т.М. Т2 таб.№30
6	Коефіцієнт C_v		40,7	С.Т.М. Т2 таб.№28
7	Показники степені	Y_v	0,4	С.Т.М. Т2 таб.№28
		q_v	0,25	
		m	0,125	
8	Поправочні коефіцієнти на швидкість різання	K_{mv}	0.8	С.Т.М. Т2 таб.№3,4
		K_{uv}	1,0	
		K_{lv}	1,0	
9	Коефіцієнт C_m		0,005	С.Т.М. Т2 таб.№32
10	Показники степені	q_m	2	С.Т.М. Т2 таб.№32
		x_m	-	
		y_m	0,8	

№ п/п	Найменування параметру	Розрахункова формула	Розрахунок
1	Загальний поправочний коефіцієнт на швидкість різання	$K_v = K_{mv} \times K_{uv} \times K_{lv}$	$K_v = 0,8 \times 1 \times 1 = 0,8$
2	Швидкість різання м/хв.	$V = (C_v \times D^{q_v} / T^m \times S^{y_v}) \times K_v$	$V = (40,7 \times 8,5^{0,25} / 35^{0,125} \times 0,45^{0,4}) \times 0,8 = 50$
3	Число обертів шпинделя об/хв.	$n = V \times 1000 / \pi \times D$	$n = 50 \times 1000 / 3,14 \times 8,5 = 1873$
4	Крутний момент кгм	$M = C_M \times D^{q_M} \times S^{y_M} \times K_p$	$M = 0,005 \times 8,5^2 \times 0,45^{0,8} \times 1,17 = 0,223$
5	Потужність різання N кВт.	$N = M \times n / 9750$	$N = 0,223 \times 1873 / 9750 = 0,42$

Звідна таблиця режимів різання табл. 2.9.5

№ операції	№ переходу	№ поверхні	№ розміру	Глибина різання	Подача S мм/об.	Швидкість різання V _{рез} м/хв	Число обертів	Довжина проходів L _{пр} мм	Тшт.
005	2	13	35	3	0.25	114	300	37.5	15.2
	3	3	16	3	0.25	90.4	300	29	
	4	1	10	5.5	0.25	104	300	52.5	
	5	2	20	4.4	0.08	73	80	11.4	
	6	5	1	5.5	0.25	87	450	45.6	
	7	5	1	2	0.2	105	500	45.6	
	8	5	1	0.44	0.05	125	630	45.6	
	9	5	1	0.06	0.01	144	710	45.6	
	10	5	34	2.5	0.15	56.5	300	45.5	
	11	5	34	2.5	0.15	56.5	300	45.5	
	12	5	2	3.1	0.04	64.1	300	5	
010	2	19	16	3	0.25	104.6	300	38	10.2
	3	9	12	4.5	0.25	160.1	300	54	
	4	15	5	5	0.25	150.7	300	60	

Звідна таблиця режимів різання							табл. 2.9.5		
№ операції	№ переходу	№ поверхні	№ розміру	Глибина різання	Подача S мм/об.	Швидкість різання	Число обертів	Довжина проходу	Тшт.
010	5	17	4	7	0.25	103.6	300	35	10.2
	6	1	10	52.5	0.15	115	450	52.5	
	7	2	21	0.15	0.04	112	450	2.15	
015	2	10,14	31,29	2	0.45	50	1800	2	15.2
	3	14	27	4.25	0.45	50	1800	20	
	4	10	32	2.5	0.45	50	1800	20	
	5	10,14	-	1.5	0.1	15.7	500	3	
	6	14	27	0.8	1.5	8.7	280	27	
	7	10	32	0.5	1	8.5	450	22	

3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1. ЗАГАЛЬНЕ ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ПРИНЦИП ДІЇ ПРИСТРОЮ

Даний механізм є спеціалізованим метрологічним (контрольно-вимірювальним) стендом, розробленим на базі Центральноукраїнського національного технічного університету. Пристрій призначений для високоточного контролю геометричних параметрів великогабаритних тіл обертання (таких як диски, вали, фланці, зубчасті колеса або ротори з радіусом близько 300 мм). Основним завданням стенда є визначення радіального та торцевого биття поверхонь, перевірка співвісності та перпендикулярності функціональних площин відносно базової осі обертання. Принцип дії пристрою ґрунтується на кінематичному базуванні еталонного або контрольованого вала на прецизійні V-подібні опори (призми) з подальшим ручним або механізованим обертанням деталі та зняттям показань відхилень за допомогою засобів вимірювальної техніки (індикаторів годинникового типу).

3.2. ДЕТАЛЬНИЙ ПОУЗЛОВИЙ АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ЗА ПОЗИЦІЯМИ КРЕСЛЕННЯ

Конструкція вимірювального стенда спроектована за принципом забезпечення максимальної просторової жорсткості та стабільності геометричних баз. Нижня частина пристрою представлена масивною зварною станиною коробчастого типу, яка ефективно поглинає вібрації та мінімізує пружні деформації під дією власної ваги стенда та маси контрольованої деталі. Базова рама інтегрує в собі поздовжні сталеві профілі (позиція 3) та поперечні зв'язувальні балки (позиція 10), які утворюють надійний замкнутий контур фундаменту. Верхня робоча площина станини сформована товстостінною поздовжньою плитою (позиція 7), яка проходить чистове механічне оброблення (фрезерування та шліфування) для створення точної установчої бази.

Для нівелювання похибок встановлення самого стенда та його точного позиціонування на робочому місці (наприклад, на чавунній або гранітній повірочній

плиті) використовуються спеціальні регульовані опори з конічними кінцевиками (позиція 16). Така конструкція ніжок забезпечує точковий контакт із базовою поверхнею, виключає хитання пристрою та дозволяє за допомогою різьбового регулювання виставити стенд в ідеальний горизонт відповідно до вимог метрологічної атестації.

На верхній плиті станини змонтовано опорні майданчики та елементи вимірювального порталу. Вертикальні стійки (позиція 6) жорстко зафіксовані на рамі та утворюють просторовий створ для базування робочих органів. Фіксація вузлів здійснюється за допомогою потужних кріпильних елементів. Зокрема, застосовані стяжні болти з шестигранною головкою (позиції 1, 8 та 13), які працюють у поєднанні із підкладними сполучними елементами та майданчиками (позиції 5 та 9). Для рівномірного розподілу зусилля затяжки та запобігання самовідгвинчуванню під кріпильні елементи підкладено прецизійні шайби (позиція 12). У внутрішніх порожнинах та вузлах спряження рами інтегровано регульовальні гайки або спеціальні приховані різьбові втулки (позиція 4), що забезпечують можливість тонкого юстирування компонентів під час первинного складання стенда.

Головним функціональним вузлом, що визначає точність всього пристрою, є система базування деталі. Вона складається з контрольної осі або еталонного вала (позиція 19), який встановлюється шийками на прецизійні V-подібні призми (ножові опори), закріплені на стійках порталу. Базові поверхні цих призм мають надзвичайно жорсткі вимоги до точності виготовлення — допуск паралельності та перпендикулярності відносно основи становить всього 0.05 мм. Безпосередньо на еталонному валу монтується контрольована деталь (позиція 18), умовно показана на кресленні штрихпунктирною лінією. Зазначений на кресленні радіус обведення деталі (300 мм) вказує на те, що пристрій оптимізовано під контроль виробів великого діаметра. Обертання деталі навколо осі еталонного вала дозволяє фіксувати найменші відхилення форми та розташування поверхонь за допомогою вимірювальних датчиків.

3.3. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ТОЧНОСТІ СТЕНДА

Для визначення реальної вимірювальної спроможності станда виконано розрахунок балансу похибок. Згідно з принципами прецизійного приладобудування, сумарна похибка вимірювальної системи розраховується імовірнісним методом за допомогою середньоквадратичного підсумовування окремих складових, оскільки одночасний прояв усіх максимальних похибок за екстремальними знаками є малоімовірною подією.

Джерело похибки	Позначення	Значення, мм
Геометрична похибка напрямних та призм (задана кресленням)	$\Delta_{\text{геом}}$	0.050
Власна похибка вимірювального приладу (індикатора ІЧ-10)	$\Delta_{\text{прил}}$	0.010
Похибка базування (відхилення форми цапф вала поз. 19)	$\Delta_{\text{баз}}$	0.005
Температурна похибка (при коливанні в цеху $\Delta T = \pm 2^\circ\text{C}$ для $R=300$ мм)	$\Delta_{\text{тем}}$	0.007
Пружні деформації елементів станини під навантаженням	$\Delta_{\text{деф}}$	0.003

Математична модель сумарної граничної похибки пристрою при довірчій імовірності $P = 0.95$ (коефіцієнт імовірності $k = 1.1$) має вигляд:

$$\Delta\Sigma = k \cdot \sqrt{(\Delta_{\text{геом}}^2 + \Delta_{\text{прил}}^2 + \Delta_{\text{баз}}^2 + \Delta_{\text{тем}}^2 + \Delta_{\text{деф}}^2)}$$

Підставивши числові значення складових похибок у рівняння, отримуємо:

$$\Delta\Sigma = 1.1 \cdot \sqrt{(0.050^2 + 0.010^2 + 0.005^2 + 0.007^2 + 0.003^2)}$$

$$\Delta\Sigma = 1.1 \cdot \sqrt{(0.0025 + 0.0001 + 0.000025 + 0.000049 + 0.000009)}$$

$$\Delta\Sigma = 1.1 \cdot \sqrt{(0.002683)} \approx 1.1 \cdot 0.0518 = 0.057 \text{ мм}$$

Розрахункова сумарна похибка вимірювальної системи становить $\Delta\Sigma = 0.057$ мм (або 57 мкм). Відповідно до класичного правила метрологічного контролю (закону відповідності похибок), гранична похибка вимірювального оснащення повинна становити не більше $1/3$ (у крайніх випадках $1/5$) від величини допуску на виготовлення контрольованого параметра деталі ($T_{\text{деталі}} \geq 3 \Delta\Sigma$).

Звідси випливає, що мінімальний технологічний допуск на радіальне чи торцеве биття деталей, які доцільно та безпечно перевіряти на даному стенді, становить: $T_{\text{деталі}} \geq 3 \cdot 0.057 = 0.171$ мм. Таким чином, розроблений пристрій повністю задовольняє вимогам контролю деталей із допусками на биття, співвісність та перпендикулярність від 0.2 мм і вище, що є стандартним показником для великогабаритного машинобудування промислового призначення.

Висновки

У кваліфікаційній роботі на тему «Розробка технологічного процесу механічної обробки деталі "Шків СУПА 00098"» запропоновано прогресивні технологічні рішення, що гарантують стабільне забезпечення регламентованих технічних вимог до виробу. Спроектований технологічний маршрут дозволяє досягати заданих параметрів точності розмірів, макрогеометрії (форми та взаємного розташування), а також нормативних показників шорсткості оброблюваних поверхонь. У структурі технологічного процесу передбачено застосування інноваційного металорізального устаткування, що забезпечує високу гнучкість та адаптивність виробничого комплексу до змін номенклатури продукції. При цьому інтенсифікація режимів різання узгоджена з критеріями експлуатаційної стійкості різального інструменту та спрямована на максимальну мінімізацію міжопераційних похибок і похибок базування.

Впровадження верстатів із числовим програмним керуванням (ЧПК) дозволило суттєво оптимізувати структуру виробничого процесу завдяки принципу концентрації технологічних операцій в межах одного автоматизованого циклу. Це забезпечило скорочення парку необхідного технологічного обладнання, зниження загальної трудомісткості обробки та раціональне вивільнення виробничих площ для подальшої модернізації дільниці. Використання систем ЧПК зумовило зниження собівартості виготовлення деталей за рахунок підвищення точності позиціонування виконавчих органів верстата, скорочення часу на підготовчо-заклучні й допоміжні операції, а також мінімізації технологічного браку за стабільного зростання загальної продуктивності. Зазначений комплекс інженерних рішень повністю відповідає сучасній парадигмі ресурсоощадного, гнучкого та прецизійного машинобудування.

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.