

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти

бакалавр

на тему: «Удосконалення машинобудівного виробництва із виготовлення
валу насоса шестеренчастого нагнітального»

КРБ.133ГМбд_41.19.00.00.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти
за освітньо-професійною програмою
«Машини та обладнання
сільськогосподарського виробництва»
спеціальності 133 *«Галузеве*
машинобудування»
ступеня вищої освіти *бакалавр*
групи 133ГМбд_41
РОССУЛОВ Богдан

Керівник: докт. техн. наук, професор
ВЛАСОВЕЦЬ Віталій

Полтава – 2026 року

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Освітньо-професійна програма «*Машини та обладнання
сільськогосподарського виробництва*»

Спеціальність 133 «*Галузеве машинобудування*»
Ступінь вищої освіти *бакалавр*

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
механічної та електричної
інженерії,
канд. техн. наук, доцент,
_____ Станіслав ПОПОВ
03 грудня 2025 р.

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

РОССУЛОВ Богдан

1 Тема роботи: «*Удосконалення машинобудівного виробництва із виготовлення валу насоса шестеренчастого нагнітального*»,

керівник роботи *докт. техн. наук, професор ВЛАСОВЕЦЬ Віталій*,
затверджено засіданням кафедри, протокол №9 від 03 грудня 2025 р.

2 Строк подання здобувачем вищої освіти роботи – до 31 травня 2026 р.

3 Вихідні дані до роботи – *насос шестеренчастий: продуктивність, л/хв., 30; робочий тиск, МПа, 0,4; робоча частота обертання, об/хв, 1440; габаритні розміри, мм, 320×170×210; маса, кг, 24,5; річна програма випуску, шт., 400.*

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

Розділ 1. *Загальний*

Розділ 2. *Технологічний*

Розділ 3. *Конструкторський*

Розділ 4. *Економіка, охорона праці та навколишнього середовища*

5 Перелік графічного матеріалу: *складальний кресленник вузла, що вноситься на розгляд; кресленник деталі вузла; кресленник заготовки деталі вузла; кресленник технологічного оснащення.*

6 Консультанти розділів *кваліфікаційної роботи*

Розділ	Власне ім'я, прізвище та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання отримав
Економіка, охорона праці та навколишнього середовища	Інна МИКОЛЕНКО, професор кафедри економіки та публічного управління		
	Володимир ДУДНИК, доцент кафедри механічної та електричної інженерії		
	Павло ПИСАРЕНКО, завідувач кафедри екології, збалансованого природокористування та захисту довкілля		

7 Дата видачі завдання 03 грудня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з.п.	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вибір, затвердження теми роботи	До 03.12.2025 р.	
2	Складання, затвердження розгорнутого плану, завдання на кваліфікаційну роботу	15.12-28.12.2025 р.	
3	Опрацювання літературних джерел		
4	Збір, вивчення, обробка інформації, необхідної для виконання роботи		
5	Виконання розділів роботи, графічної частини	04.05-31.05.2026 р.	
6	Оформлення тексту роботи	До 31.05.2026 р.	
7	Попередній захист роботи на кафедрі		
8	Нормалізаційний контроль		
9	Доопрацювання роботи з урахуванням зауважень і пропозицій	3 01.06.2026 р.	
10	Захист кваліфікаційної роботи		

Здобувач вищої освіти _____ Богдан РОССУЛОВ
(підпис)

Керівник роботи _____ Віталій ВЛАСОВЕЦЬ
(підпис)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 4 розділи, 2 рисунки, 6 таблиць, 50 використаних джерел, 37 сторінок.

Об'єкт розробки – нагнітальний шестеренчастий насос.

Предмет розробки – конструкторсько-технологічні рішення, що забезпечують раціональну організацію та реалізацію процесу виготовлення валу-шестерні.

Достановка актуальної технічної задачі – дослідити можливості машинобудівного виробництва стосовно виготовлення складової деталі для забезпечення роботоздатного стану насосу шестеренчастого за умов визначеного типу виробництва.

Мета кваліфікаційної роботи бакалавра – розроблення базових положень підготовки виробництва для забезпечення потреб ринку.

Практичне значення кваліфікаційної роботи бакалавра – розробка документації для впровадження на машинобудівному підприємстві, що спеціалізується на виготовленні вузла для визначеного типу виробництва.

У загальному розділі наведено загальні положення щодо вузла, винесеного на розгляд.

У технологічному розділі проведено відпрацювання на технологічність виробу та його деталі. Запропоновані маршрути обробки поверхонь валу-шестерні. Визначено попуски та операційні розміри на обробку розрахунково-аналітичним методом.

У конструкторському розділі було запропоновано конструкцію затискного пристосування, розраховано зусилля затиску, визначено параметри силового приводу, обчислено слабку ланку на міцність.

У розділі економіки, охорони праці та навколишнього середовища здійснено техніко-економічне обґрунтування способу одержання заготовки валу-шестерні, інженерні розрахунки освітлення виробничого приміщення, а також приділено увагу екологічним аспектам механообробки.

Практичні результати роботи – розроблено складальний кресленик насосу шестеренчастого (продуктивність, л/хв., 30; робочий тиск, МПа, 0,4; робоча частота обертання, об/хв., 1440; габаритні розміри, мм, 320×170×210; маса, кг, 24,5; річна програма випуску шт., 400); кресленик валу-шестерні; кресленик заготовки валу-шестерні; кресленик затискного пристосування.

Рекомендації щодо використання результатів роботи вал-шестерня входить до складу насоса шестеренчастого, що застосовується для нагнітання чистого мастила в сепаратор, а також відкачування рідини.

Сфера застосування результатів роботи – галузеве машинобудування.

Графічна частина становить 3,5 арк. ф. А1.

Текст пояснювальної записки кваліфікаційної роботи пройшов перевірку на наявність запозичень і є оригінальним.

АНОТАЦІЯ

У кваліфікаційній роботі бакалавра розглядається конструкція насосу шестеренчастого. Представлено службове призначення вузла. Здійснено аналіз параметрів точності валу-шестерні. Охарактеризовано конструкційний матеріал для виготовлення. Визначено тип виробництва. Проведено відпрацювання на технологічність. Проаналізовано діючий процес виготовлення. Розроблено маршрут обробки поверхонь валу-шестерні. Визначено припуски та операційні розміри. Розроблено конструкцію затискного технологічного пристосування. Розраховано економічну ефективність заготівельного виробництва. Проведено розрахунок освітлення виробничого приміщення. Приділено увагу екологічним аспектам механообробного виробництва.

НАСОС ШЕСТЕРЕНЧАСТИЙ, ВАЛ-ШЕШТЕРНЯ, АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ, МАРШРУТ ОБРОБКИ, ПРИПУСК, ПРИСТОСУВАННЯ, ЗАГОТОВКА, ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ, ОСВІТЛЕННЯ, ЕКОЛОГІЯ

ANNOTATION

In the bachelor's qualification thesis, the design of a gear pump is examined. The functional purpose of the assembly is presented. An analysis of the accuracy parameters of the gear shaft is carried out. The structural material for manufacturing is characterized. The type of production is determined. Manufacturability analysis is performed. The existing manufacturing process is analyzed. A machining route for the surfaces of the gear shaft is developed. Machining allowances and operational dimensions are determined. The design of a clamping fixture is developed. The economic efficiency of blank production is calculated. The lighting of the production facility is calculated. Attention is paid to the environmental aspects of machining production.

GEAR PUMP, GEAR SHAFT, ACCURACY ANALYSIS, MACHINING ROUTE, ALLOWANCE, FIXTURE, BLANK, ECONOMIC EFFICIENCY, LIGHTING, ECOLOGY

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ	8
1.1 Службове призначення вузла, характеристика, опис	8
1.2 Аналіз параметрів точності	10
1.3 Характеристика матеріалу деталі, замінник	11
1.4 Визначення типу виробництва та програми запуску	13
РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ	14
2.1 Аналіз технологічності вузла та деталі	14
2.2 Аналіз діючого технологічного процесу виготовлення	17
2.3 Обробка поверхонь	18
2.4 Розробка маршруту виготовлення деталі	20
2.5 Визначення припусків на обробку та операційних розмірів	21
РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ	24
3.1 Розрєска конструкції затискного пристосування	24
3.2 Розрахунок зусилля затиску	25
3.3 Розрахунок параметрів силового приводу	28
3.4 Розрахунок слабкої ланки на міцність	29
РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІКА, ОХОРОНА ПРАЦІ ТА	31
НАВКОЛИДНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	31
4.1 Техніко-економічне обґрунтування виробництва зготовки деталі	31
4.2 Розрахунок штучного освітлення	33
4.3 Екологічні аспекти виробництва валу-шестерні на металорізальних верстатах	35
ВИСНОВКИ	37
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	38

КРБ.153ГМбд_41.19.00.00.000 ПЗ

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Виконав		Россулов Б.			Зміст	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевірив		Власовець В.				н	5	37
Керівник		Власовець В.				ПДАУ, 2026 р.		
Н. контр.		Власовець В.						
Затверд.		Попов С.						

ВСТУП

Машинобудування є провідною галуззю промисловості, що визначає рівень технічного розвитку держави, її виробничий потенціал та конкурентоспроможність на внутрішньому і зовнішньому ринках. Для підприємств галузевого машинобудування в сучасних умовах особливої актуальності набуває підвищення ефективності виробництва, зниження собівартості продукції, забезпечення стабільної якості та впровадження прогресивних технологічних рішень.

Важливе місце у структурі машинобудівної продукції займають шестеренчасті насоси, які широко застосовуються в гідравлічних системах машин і механізмів, задіяних у сільськогосподарському виробництві, транспортній техніці, верстатобудуванні та інших галузях промисловості. Надійність і довговічність роботи шестеренчастого нагнітального насоса значною мірою визначається якістю виготовлення його відповідальних деталей, зокрема валу, що забезпечує передавання крутного моменту та узгоджену роботу зубчастої пари.

Вал насоса працює в умовах змінних навантажень, контактних напружень та впливу робочого середовища, що висуває підвищені вимоги до точності виготовлення, якості поверхонь, міцності та зносостійкості матеріалу. Тому удосконалення технологічних процесів його виготовлення, вибір раціонального способу отримання заготовки, оптимізація маршрутів механічної сбороки та застосування ефективного оснащення є актуальними завданнями сучасного машинобудівного виробництва [32].

Мета роботи полягає у розробленні базових положень для підготовки машинобудівного виробництва для забезпечення потреб ринку. **Об'єктом** розробки є нагнітальний шестеренчастий насос, а **предметом** – конструкторсько-технологічні рішення, що забезпечують раціональну організацію та реалізацію процесу виготовлення валу-шестерні.

Для вирішення поставленої мети необхідно розв'язати наступні **задачі**:

					КРБ.133ГМбд_41.19.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- виконати аналіз службового призначення вузла, оцінити його точнісіні характеристики, надати характеристику конструкційного матеріалу деталі та, з урахуванням річної програми випуску, визначити тип виробництва;

- провести відпрацювання вузла і деталі на технологічність, розробити раціональний маршрут обробки поверхонь, а також встановити припуски та операційні розміри;

- спроектувати затискне пристосування для здійснення механічної обробки та виконати його інженерний розрахунок;

- оцінити економічну доцільність обраного способу отримання заготовки й обґрунтувати заходи з охорони праці та захисту навколишнього середовища;

- розробити комплект технічної документації, необхідної для підприємств галузевого машинобудування.

					КРБ.133ГМбд_41.19.00.00.000 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ

1.1 Службове призначення вузла, характеристика, опис

Насос шестеренчастий (див. графічну частину, таблиця 1.1) використовується для нагнітання чистого мастила в сепаратор, а також відкачування рідини. Він складається із корпусу 2, у якому обертаються дві пари шестерень, – із яких дві ведучих і дві ведені.

Таблиця 1.1 – Технічна характеристика насоса шестеренчастого

Назва параметра	Величина
Тиск, МПа	0,4
Продуктивність, л/хв.	30
Робоча частота обертання, об/хв	1440
Габаритні розміри, мм	320×170×210
Маса, кг	24,5

Насос приводиться в дію від горизонтального валу сепаратора через пружну муфту 16. Із сторони входних ліній помічено зубці виходять із зачеплення і вивільняють мастило у впадинах шестерень. В результаті цього в камерах всмоктування здійснюється розрідження, під дією якого мастило всмоктується до насоса. Із камери всмоктування мастило, що заповнювало заглибини між зубами, переноситься шестернями на внутрішній поверхні корпусу до вихідної камери. Тут зубці шестерень входять у зачеплення та витісняють рідину із впадин. Потім із камери нагнітання робоча рідина потрапляє до нагнітального трубопроводу. Для того, щоб не було протікання мастила передбачена наявність багат шарового плетіння 27. Хвостовик і пружна муфта знаходяться у кришці 7, що кріпиться до корпусу 2 болтами. В торці насоса розміщена кришка 3. Вона також кріпиться до

корпусу болтами з'єднаннями. Ведуче зубчасте колесо 6 кріпиться до вала-шестерні за допомогою шпонки 12. Ведучі колеса 1 обертаються навколо нерухомих осей із використанням бронзових втулок.

Деталлю, що виносить на детальний розгляд, є вал-шестерня (рисунок 1.1).

Рисунок 1.1 – Вал-шестерня

Дана деталь виконує функції передавання крутного моменту та зубчастого зачеплення у складі насоса. Конструктивно вал-шестерня виконаний як суцільний ступінчастий вал із інтегрованим зубчастим вінцем косозубої шестерні. Така компоновка забезпечує компактність вузла, підвищену жорсткість і точність взаємного розташування зубчастого зачеплення та опорних шийок.

Зубчаста частина має модуль 6 мм та число зубців 8. Кут нахилу зуба становить $8^{\circ}6'34''$, напрям лінії зуба – правий. Передбачено позитивний коефіцієнт зміщення профілю $x = +0,541$. Це покращує міцність зубців та умови зачеплення при малому

					КРБ.133ГМбд_41.19.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

числі зубців. Діагональний діаметр шестерні становить 48,485 мм. Ступінь точності зубчастого вінця – 7-8 за чинними стандартами, що відповідає вимогам до насосних передач середньої швидкості. Нормальний вихідний контур виконано згідно з ДСТУ ISO 53:2015.

Вал має кілька функціональних поверхонь. Опорні шийки виконані з посадками типу f7 та h12 для встановлення підшипників і з'єднувальних елементів. На одному з кінців передбачено шпонковий паз шириною 16,5 h12 для передавання крутного моменту від приводу. Геометрія торців доповнена фасками $0,5 \times 45^\circ$ та $1 \times 45^\circ$ для полегшення монтажу. Передбачені радіуси переходів (R1, R3). Вони зменшують концентрацію напружень у місцях зміни перерізу.

Шорсткість робочих поверхонь різна залежно від їх призначення: для опорних шийок задано підвищену чистоту обробки (до Ra 0,8–1,6), для менш відповідальних поверхонь – Ra 3,2 мкм. Сліввісність та біття регламентовані допусками форми і розташування (наприклад, 0,016 відносно баз АБ), що забезпечує точність обертання і довговічність підшипникових вузлів.

Загальна довжина деталі становить 233 мм. Конструкція є технологічною для виготовлення на токарно-фрезерних верстаках із подальшим зубофрезеруванням та термічною обробкою для підвищення зносостійкості зубчастого вінця.

Призначення валу-шестерні – передавання обертового руху в зачепленні з парною шестернею насоса, забезпечення робочого об'єму та стабільності подачі робочої рідини. Деталь працює в умовах циклічних навантажень і контактних напружень, тому до неї висуваються підвищені вимоги щодо міцності, точності виготовлення та якості поверхні.

1.2 Аналіз параметрів точності

При проведенні аналізу параметрів точності деталі заповнюємо таблицю 1.2 (рисунок 1.1), у якій наведені дані про точність виготовлення та якість обробки [3, 9, 11, 13, 18, 21, 25, 29, 40, 47, 48].

					КРБ.133ГМбд_41.19.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.2 – Аналіз параметрів точності

№ поз.	Назва пов.	Розміри з відхил.	Квалітет точності	Точність форми	Точність відносного положення	R _a , мкм
1,2	Торці деталі	233 _{-1,15}	IT14/2	-	-	12,5
3,8	Цилін. пов.	∅20 ^{+0,033}	f8	-	-	1,6
4,9	Торці	50 _{-0,050} ^{-0,025}	f7			0,8
5	Зубці	∅65 _{-0,106} ^{-0,060}	f8	-		1,6
6,11	Фаски	1±0,25	IT14/2	-	-	12,5
7,12	Фаски	0,5±0,25	IT14/2	-	-	12,5
10	Цилін. пов.	∅12 ± 0,027	f8	-	База Б	1,6
13	Паз	6 _{-0,055} ^{-0,010}	f8	-	-	1,6

Провівши аналіз параметрів точності деталі можна зробити висновок, що взагалі вимоги до точності деталі та їх поверхонь не завищені, відповідають службовому призначенню поверхонь деталі. Найточніший квалітет 7, найнижча шорсткість поверхонь 0,8 мкм за параметром R_a. Деталі можуть легко виготовлятися за умов машинобудівного виробництва.

1.3 Характеристика матеріалу деталі, замінник

Вал-шестерня виготовляється із конструкційної легованої сталі 40Х за ДСТУ 7806:2015 [24, 37].

Хромисті сталі відносяться до дешевих конструкційних матеріалів і використовуються для деталей невеликого перерізу. З підвищенням вмісту вуглецю в них підвищується міцність, але знижується пластичність і в'язкість. Ці сталі схильні до відпускнуї крихкості, усунення якої вимагає швидкого охолодження від температури високого відпускання. Сталі прогартовуються на глибину 15-25 мм.

У нашому випадку заготовку з сталі 40X необхідно піддати термічному покращенню – гартування та високе відпускання (600°C) на структуру сорбіту. Покращення сталі на відміну від нормалізації забезпечує підвищену межу текучості у сполученні із доброю пластичністю, в'язкістю, високим опором розвитку тріщин. Крім цього, покращення помітно знижує межу холодної ламкості.

Високі механічні властивості під час покращення можливі лише при забезпеченні необхідної прогартовуваності. Крім цього, важливо отримати дрібне зерно і не допустити розвитку відпускнуї крихкості.

Як можливий варіант заміни базової сталі 40X розглянемо сталь 45. Хімічний склад та механічні властивості цих сталей заносимо до таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Хімічний склад та механічні властивості сталей

Марка матеріалу	Хімічний склад, %					Механічні властивості			
	C	Mn	Si	Ni	Cr	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	НВ, МПа
Сталь 40X	0,36-0,44	0,5-0,8	0,17-0,37	0,3	0,8-1,1	570	315	12	167...207
Сталь 45	0,42...0,56	0,5-0,8	0,17-0,37	-	-	598	353	16	197

Остаточо залишаємо базовий варіант, а саме сталь 40X.

1.4 Визначення типу виробництва та програми запуску

Маркетингове дослідження показало попит ринку в деталях валу-шестерні агрегату насосного у кількості 400 штук на рік. Визначимо річну програму запуску виробів за формулою:

$$N_{зан} = (N_{вип} + N_{зч}) \cdot (1 + k_{бр}), \quad (1.1)$$

де $N_{вип}$ – річна програма випуску виробів, шт.;

$N_{зч}$ – кількість виробів, що йдуть на запчастини, приймаємо рівною 3-5% від програми випуску, тис. од;

$k_{бр}$ – коефіцієнт, що враховує технологічні витрати, які неможливо уникнути. Приймаємо рівним 2-3% від сумарної кількості виробів, що формують програму випуску та йдуть на запчастини.

$$N_{зан} = (400 + 0,04 \cdot 400) \cdot (1 + 0,025) = 426 \text{ (шт.)}$$

Максимальна маса оброблюваних заготовок деталей вузла не перевищує 20 кг, тому за [34] визначаємо тип виробництва – дрібносерійний.

					КРБ.133ГМбд_41.19.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ

2.1 Аналіз технологічності вузла та деталі

Проведено аналіз насосу шестеренчастого на технологічність. Аналіз охоплює основні критерії, конструктивні особливості, матеріали, заготовки, оброблюваність, складання, ремонтпридатність тощо [25].

Вузол являє собою шестеренчастий нагнітальний насос зовнішнього зачеплення. Конструкція включає корпус, дві шестерні (ведучу та ведену), вал-шестерню, гвіз, кришку, кришку кронштейн, втулки, ущільнювальні елементи, напівмуфту, фланець та стандартні кріпильні вироби (болти, гайки, шайби, штифти тощо). Загальна структура вузла є традиційною для насосів такого типу, що позитивно впливає на технологічність, оскільки рішення є відпрацьованими у виробництві.

З точки зору технологічності конструкції в цілому, насос має раціональне компонування. Більшість деталей мають осьову симетрію або просту геометрію (корпус, кришки, втулки). Це дозволяє застосовувати стандартні технологічні процеси – литво із подальшою механічною обробкою для корпусних деталей та токарну й фрезерну обробку для валів і шестерень. Корпус і кришки мають роз'ємну конструкцію, що спрощує складання, контроль і ремонт. Наявність площин роз'єму полегшує забезпечення співвісності отворів під втулки та шестерні при обробці в одному встановленні.

Позитивним фактором є використання значної кількості стандартних виробів (болти, гайки, шайби, штифти), що зменшує трудомісткість виготовлення та вартість вузла. Уніфікація різьбових з'єднань (M8, M10) сприяє скороченню номенклатури інструменту та спрощує складання. Застосування стандартних підшипникових втулок і кульки також підвищує ремонтпридатність.

Разом з тим, з погляду технологічності окремі елементи можуть ускладнювати виготовлення. Корпус має внутрішні порожнини складної конфігурації (камери для

					КРБ.133ГМбд_41.19.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

шестерень і каналів підведення-відведення рідини), що потребує точного литва та значного обсягу механічної обробки. Підвищені вимоги до співвісності отворів під шестерні та втулки зумовлюють необхідність обробки в спеціальних пристроях або за одне встановлення, інакше можливе зниження ККД через підтікання чи підвищений знос.

Зубчасті колеса та шестеренчасті вали потребують зубообробки (фрезерування або довбання зубів) і термообробки для підвищення зносостійкості. Це збільшує трудомісткість, але є типовим для даного класу виробів. Конструкція валу-шестерні є технологічно доцільною, оскільки зменшує кількість окремих деталей і посадочних з'єднань, хоча підвищує вимоги до точності виготовлення.

З точки зору складання конструкція є достатньо технологічною: забезпечено вільний доступ до кріпильних елементів, послідовність складання логічна (встановлення втулок, шестерень, ущільнень, монтаж кришок). Використання прокладок і набивки дозволяє компенсувати невеликі відхилення та спрощує забезпечення герметичності при високоточному підіфкуванні всіх спряжених поверхонь.

У цілому конструкцію можна оцінити як технологічну для умов дрібносерійного виробництва. Вона базується на уніфікованих і стандартних рішеннях, має роз'ємний корпус, використовує стандартні кріпильні елементи та допускає застосування традиційних методів механічної обробки. Потенційними напрямками підвищення технологічності можуть бути подальша уніфікація різьбових з'єднань, спрощення конфігурації литого корпусу та зменшення кількості типорозмірів прокладок.

Деталь «Вал-шестерня» є комбінованою. Вона поєднує зубчастий вінець із валом ступінчастим, шпонковим пазом та різними посадочними поверхнями. У цілому її можна оцінити як достатньо технологічну для серійного виробництва, хоча окремі елементи підвищують трудомісткість виготовлення.

Форма деталі раціональна з точки зору зорубки: вона вісесиметрична, має чітко виражені ступені діаметрів, може виготовлятися переважно токарною обробкою з

					КРБ.133ГМбд_41.19.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

подальшим зубофрезеруванням або зубодовбанням. Більшість поверхонь доступні для обробки за одне або два встановлення в центрах, що забезпечує співвісність посадочних діаметрів і зубчастого вінця. Наявність центрів або можливість їх виконання дозволяє організувати маршрут за класичною схемою:

- чорнове точіння;
- термообробка;
- чистове точіння;
- нарізання зубів;
- шліфування відповідальних шийок.

Застосування сталі 40Х є технологічно доцільним. Матеріал добре піддається механічній обробці в нормалізованому стані та забезпечує необхідні міцнісні характеристики після поліпшення (НВ 280 згідно з вимогами креслення). Це відповідає умовам роботи зубчастої передачі й не потребує складних спеціальних процесів, як-от цементация з глибоким шаром.

Разом з тим, інтеграція зубчастого вінця з валом, з одного боку, підвищує жорсткість і точність взаємного положення елементів, але з іншого – ускладнює виготовлення і ремонт. У разі зношення зубів необхідно замінювати всю деталь, а не окрему шестерню. Крім того, зубчаста частина має задані параметри (модуль, кут нахилу $6^{\circ}4'$, коефіцієнт зміщення, ступінь точності 7–8). Це вимагає застосування спеціалізованого зубообробного обладнання та контролю довжини загальної нормалі, постійної хорди й висоти до хорди. Це підвищує вимоги до оснащення виробництва.

Посадочні поверхні мають поля допусків типу h6, f7, e8, що свідчить про підвищені вимоги до точності та, необхідність чистового точіння або шліфування. Шорсткість Ra 0,8 мкм на окремих шийках є технологічно досяжною, але потребує додаткових операцій. Водночас більшість переходів виконано з радіусами та фасками, що позитивно впливає на технологічність – зменшується концентрація напружень і спрощується обробка різцем без різких врізань.

					КРБ.133ГМбд_41.19.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Шпонковий паз дещо ускладнює маршрут обробки, оскільки потребує додаткового фрезерування з подальшим забезпеченням точного взаємного розташування відносно осі. Проте їх геометрія стандартна, без складних контурів, тому ця операція не є критично складною.

Габаритна довжина 233 мм при відносно невеликих діаметрах створює певні вимоги до жорсткості заготовки під час обробки, однак при роботі в центрах або із застосуванням люнета проблема прогину вирішується стандартними засобами.

Отже, деталь є технологічною для серійного виробництва на універсальному або напівавтоматичному обладнанні. Вона має просту вісесиметричну форму, уніфіковані елементи (фаски, радіуси, шпонковий паз), придатний для обробки матеріал і логічну послідовність операцій. Підвищену трудомісткість зумовлюють зубообробка, вимоги до точності посадки і необхідність чистої обробки окремих поверхонь, проте ці особливості є типовими для валів-шестерен такого класу і не свідчать про низьку технологічність конструкції.

2.2 Аналіз діючого технологічного процесу виготовлення

Виконуємо аналіз діючого технологічного процесу виготовлення деталі «вал-шестерня», що реалізувався на підприємстві.

При виготовленні заготовки валу-шестерні використовується штампування на молотах, враховуючи конфігурацію деталі, серійний тип виробництва, ми вважаємо правильним.

Так як корпус виготовляється в умовах серійного виробництва, при його виготовленні на підприємстві використовуються універсальні верстати. Ми пропонуємо застосувати на окремих операціях (30, 40, 50, 55) верстати з ЧПК, за допомогою яких ми майже повністю виконуємо механічну обробку. А ще ми значно підвищуємо точність розмірів, скорочуємо розмірні і слюсарні роботи та підвищуємо точність взаємного положення конструктивних елементів деталі.

									КРБ.133ГМбд_41.19.00.00.000 ПЗ	Аркуш
										17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Технологічні бази вибрані вдало: на перших операціях отримуються зручні технологічні бази (поверхні 1, 2), від яких у подальшому і планується механічна обробка. Маршрути обробки окремих поверхонь деталей відповідають типовим схемам обробки.

У діючих і розроблених технологічних процесах майже усе різальний інструмент універсальний, що також важливо, оскільки використання спеціального різального інструменту значно підвищує собівартість виготовлення деталей.

2.3 Обробка поверхонь

Різні поверхні деталі виконують різні функції, тому вимоги до них найрізноманітніші: за точністю, шорсткістю та іншими критеріями [3, 6, 9, 11, 13, 18, 24]. Кількість ступенів обробки визначається за формулою:

$$\varepsilon = \frac{T_3}{T_D} = \frac{T_3}{T_1} \cdot \frac{T_3}{T_2} \dots \frac{T_{i-1}}{T_i} \dots \frac{T_{n-1}}{T_D} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \dots \varepsilon_n = \prod_i^n \varepsilon_i, \quad (2.1)$$

де ε – загальне значення;

ε_i – окремі ступені уточнення;

P – число ступенів обробки;

T_3, T_D, T_i – відповідно допуски для заготовки, деталі, окремого ступеня обробки.

Розкладаючи загальне значення на співмножники, потрібно враховувати типові рекомендації: для першого ступеня чоргової обробки досяжними є величини уточнення $\varepsilon < 6$; для проміжних ступенів напівчистої обробки $\varepsilon = 3 \dots 4$; для ступенів чистої обробки $\varepsilon = 1,5 \dots 2$.

Для найбільш спрямованого вибору числа ступенів обробки необхідно застосувати формулу:

$$n_p = \lg(\varepsilon) / 0,46. \quad (2.2)$$

						КРБ.133ГМбд_41.19.00.00.000 ПЗ	Аркуш
							18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Приклад, для обробки поверхні – $\varnothing 20f7\left(\begin{smallmatrix} -0,020 \\ -0,041 \end{smallmatrix}\right)$ мм. Допуск за креслеником 0,021 мм, допуск заготовки – 1,2 мм. Загальне уточнення складає:

$$\varepsilon = \frac{1,2}{0,021} = 57,14$$

Орієнтовна кількість ступенів обробки.

$$n_p = \frac{\lg 57,14}{0,46} \approx 3,8$$

Отже, необхідно передбачити не менше 4 етапів обробки для даної поверхні.

Пропонуємо наступні обробки поверхонь деталі (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 - Методи обробки поверхонь деталі

Позначення поверхні	Квалітет точності	Допуск за кресленням, σ_g , мм	Шорсткість R_a за кресленням	Допуск заготовки, σ_3 , мм	Квалітет	Загальне уточнення $\varepsilon_{\text{заг}} = \sigma_3 / \sigma_g$	Можливі маршрути обробки поверхонь		Квалітет після обробки	Досягнутий допуск, δ , мм	Прив. коефіцієнт уточнень $\varepsilon_i = \delta_i / \delta_i$	Загальне уточнення $\varepsilon = \Pi \varepsilon_i$
							Номер маршруту, n_p	Перехід МСГ				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1, 2	14	1,15	12,5	2	13	1,74	1	1. Фрезерування.	14	1,15	1,74	1,74
3, 8	8	0,053	1,6	0,9	15	27,3	1	1. Обточити начорно. 2. Шліфування чистове.	13 8	0,33 0,33	2,73 10	27,3
4, 9	7	0,025	0,8	1,1	15	44	1	1. Гідрізання торця чорнле. 2. Шліфування чистове.	11 7	0,39 0,025	2,83 15,6	44

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
5	8	0,046	1,6	1,6	15	28,3	1	1. Обточування чорнове. 2. Шліфування чистове.	13	0,46	2,83	
6, 11	14	0,25	12,5	0,4	15	1,6	1	1. Точіння.	14	0,25	1,6	1,6
7, 12	14	0,25	12,5	0,64	15	2,56	1	1. Точіння.	14	0,25	2,56	2,56
10	8	0,027	1,6	0,3	15	59,3	1	1. Обточування чорнове. 2. Шліфування чистове.	13	0,27	5,93	
									8	0,027	10	59,3

2.4 Розробка маршруту виготовлення деталі

Маршрут обробки деталі будуємо на підставі обраних маршрутів обробки окремих поверхонь з урахуванням типу виробництва (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 – Маршрут обробки деталі

Номер та назва операції	Зміст операції (за переходами)	Обладнання
1	2	3
015 Фрезерно-центрувальна	1. Фрезерувати торці 1, 2. 2. Свердлити центр. отвори.	Фрезерно-центрувальний верстат моделі MP-71M
020 Токарна	1. Обточити поверхню 3 начор. 2. Підрізати торець 4 начор. 3. Обточити поверхню 5 начор. 4. Проточити підлогу по торцю 4. 5. Обточити фаску 6. 6. Обточити фаску 7.	Токарно-гвинторізний верстат моделі 1B340Ф33

Продовження таблиці 2.2

1	2	3
025 Токарна	1. Обточити поверхню 8 начор. 2. Підрізати торець 9 начор. 3. Обточити поверхню 10 начорно. 4. Проточити підточку по торцю 9. 5. Обточити фаску 11. 6. Обточити фаску 12.	Токарно-гвинторізний верстат моделі 1В340Ф30..
030 Фрезерна	1. Фрезерувати паз 13.	Шпонково-фрезерний верстат моделі 6921.
035 Зубофрезерна	1. Фрезерувати 8 зубців в два проходи.	Зубофрезерний верстат моделі 53А20В.
045 Шліфувальна	1. Шліфувати поверхні 3, 4, 5. 2. Шліфувати поверхні 10, 8, 9.	Крупношліфувальний верстат моделі 3В151А.

2.3. Визначення припусків на обробку та операційних розмірів

Як відомо, застосовуються два методи для визначення припусків на обробку: розрахунково-аналітичний та табличний [29, 40, 48]. Визначення припусків на механічну обробку розрахунково-аналітичним методом проводимо для однієї найбільш точної поверхні. У нашому випадку це розмір $\varnothing 20f7_{(-0.020}^{+0.041)}$ мм.

Розрахункова формула для визначення припуску на обробку зовнішньої чи внутрішньої поверхонь обертання

$$2z_{i \min} = 2 \cdot (Rz_{i-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}), \quad (2.5)$$

де Rz_{i-1} – висота мікронерівностей, мкм;

T_{i-1} – глибина дефектного шару на попередньому переході, мкм;

ρ_{i-1} – сумарні відхилення розташування поверхні (відхилення від паралельності, перпендикулярності, співвісності, симетричності, перетину осей, позиційне) і у деяких випадках відхилення форми поверхні (відхилення від площинності, прямолінійності) на попередньому переході;

ε_i – похибка встановлення заготовки на переході, що виконується.

Правильність розрахунку перевіряється за формулою:

$$Z_{0 \text{ заг.}} - Z_{0 \text{ дет.}} = \delta_{\text{заг.}} - \delta_{\text{дет.}}, \quad (2.4)$$

де $\delta_{\text{заг.}}$, $\delta_{\text{дет.}}$ – допуск заготовки та деталі відповідно.

Карта розрахунку припусків на обробку та граничні розміри по технологічних переходах наведені у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Розрахункова карта припусків і граничних розмірів за технологічними переходами при обробці $\varnothing 20f7_{(-0.020/-0.041)} \text{ мм}$

Техно- логічний перехід	Елемент припуску, мкм			Розр. при- пуск $2Z_{\text{min}}$, мкм	Розр. роз- мір d_p , мм	До- пуск δ , мкм	Граничний розмір, мм		Граничний припуск, мкм	
	R_z	T	ε				D_{min}	D_{max}	$2Z_{\text{min}}$	$2Z_{\text{max}}$
Заготовка	160	200	944	-	23,267	1300	23,3	24,6	-	-
Точіння	100	100	0	2608	20,659	520	20,7	21,22	2600	3380
Точіння	50	50	0	400	20,259	210	20,3	20,51	400	710
Точіння	25	25	0	200	20,059	84	20,1	20,184	200	526
Шліфув.	5	5	0	100	19,959	21	19,959	19,98	141	204
									3341	4620

Проводимо перевірку правильності розрахунку:

$$2 \cdot z_{\max} - 2 \cdot z_{\min} = \delta_3 - \delta_d; \quad (2.5)$$

$$4620 - 3341 = 1300 - 21;$$

$$1279 \in 1279.$$

Умова виконана, тобто припуски та міжопераційні розміри визначені правильно.

					КРБ.133ГМбд_41.19.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ

3.1 Розробка конструкції затискного пристосування

У графічній частині роботи наведено конструкцію затискного пристосування, що може бути використано під час механічної обробки валу-шестерні, а саме під час виготовлення шпонкового пазу на фрезерній операції 030. Під час його розробки використано джерела [12, 35, 38, 39].

Конструкція є стаціонарним пневматично керованим пристроєм, змонтованим на базовій плиті, і складається з корпусних деталей, установчих елементів, притискного механізму та стандартних кріпильних виробів.

Основою конструкції є плита (поз. 2), яка виконує функцію несучого елемента та бази для встановлення всіх інших деталей. Плита має оброблені базові площини та отвори під кріпильні гвинти і шпонки (поз. 12). Вони забезпечують точне позиціонування пристосування на столі верстата. Геометрична точність нижньої площини та посадочних отворів визначає точність обробки шпонкового пазу відносно осі валу.

На плиті встановлено три стійки: права (поз. 3), ліва (поз. 4) та центральна (поз. 5). Бічні стійки формують опорну зону для встановлення валу-шестерні, а центральна слугує опорою для монтажу пневмоциліндра (поз. 1). Стійки закріплені гвинтами M10 і M8 (поз. 10, 11) та точно орієнтовані штифтами 10×30 ДПН 7 (поз. 13), що виключає їх зміщення під дією сил різання.

Базування валу-шестерні здійснюється за допомогою призматичних опор. Ліва призма (поз. 7) та права призма (поз. 8) утворюють V-подібні опорні поверхні, на які встановлюється циліндрична частина валу. Таке базування реалізує дві координати положення в горизонтальній площині та забезпечує самовстановлення за діаметром. Притискна призма (поз. 6) розташована над деталлю, передає зусилля затиску зверху вниз. Упор (поз. 9) забезпечує осьове базування валу-шестерні, фіксуючи його положення по довжині та сприймаючи осьову складову сили різання.

									Аркуш
									24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРБ.133ГМбд_41.19.00.00.000 ПЗ				

Силовим елементом є пневматичний циліндр (поз. 1), закріплений на центральній стійці. Шток пневмоциліндра з'єднаний із притискною призмою. При подачі стисненого повітря у поршневу порожнину циліндра шток переміщується вниз і передає зусилля на притискну призму. Внаслідок цього вал-шестерня притискається до двох нижніх призм. Твердість притискної поверхні (HRC 60...62), що забезпечує зносостійкість при багаторазових циклах затиску, а також хід поршня 40 мм, достатній для встановлення та зняття деталі.

Принцип дії пристосування полягає в такому. Оператор встановлює вал-шестерню на нижні призми, притискаючи його торцем до осевого упору. Після перевірки правильності посадки подається стиснене повітря до пневмоциліндра. Шток переміщується вниз, притискна призма контактує з верхньою твірною валу та створює вертикальну силу затиску. Під дією цієї сили вал надійно фіксується в V-призмах, що виключає його провертання і зміщення під час фрезерування шпонкового пазу. Сили різання, які виникають під час роботи фрези, передаються через вал на призми та далі на плиту та стіл верстата. Після завершення операції повітря подається у зворотну порожнину циліндра, шток піднімається, притискна призма звільняє деталь, і її можна зняти.

Конструкція відповідає вимогам технологічності: використано стандартні кріпильні елементи за ДСТУ ISO 4762:2006, базування здійснюється на простих геометричних поверхнях, передбачено точне позиціонування штифтами, а пневмопривід забезпечує стабільне та повторюване зусилля затиску. Таким чином, пристосування забезпечує точне базування валу-шестерні по осі, надійне закріплення під час фрезерування шпонкового пазу та підвищує продуктивність за рахунок механізації процесу затиску.

3.2 Розрахунок зусилля затиску

Для розрахунку затискного пристосування використаємо положення, наведені у джерелах [7, 28, 12, 36, 38, 39]. Заготовка закріплюється в призмах для

					КРБ.133ГМбд_41.19.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

фрезерування шпонкового пазу шириною 6 мм на поверхні $\varnothing 20$ мм на глибину 3,5 мм. Складемо схему діючих сил і визначимо з неї силу, яка необхідна для затиску W (рисунок 3.1).

Рисунок 3.1 – Розрахункова схема

Сумарна сила тертя повинна бути більшою за силу різання:

$$F_{тер} \geq P_z \cdot K, \quad (3.1)$$

де P_z – основна складова сили різання, Н;

K – коефіцієнт запасу,

$$F_{тер} = \mu \cdot F_{зат}, \quad (3.2)$$

де μ – коефіцієнт тертя

Таким чином,

$$F_{зат} = P_z \cdot K / \mu. \quad (3.3)$$

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5, \quad (3.4)$$

					КРБ.133ГМбд_41.19.00.00.000 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

де K_0 – коефіцієнт гарантованого запасу;

K_1 – коефіцієнт, який враховує стан поверхні деталі;

K_2 – коефіцієнт, який враховує затуплення РІ;

K_3 – коефіцієнт, який враховує збільшення сил різання при перервному різанні;

K_4 – коефіцієнт, який враховує постійність сил затискання;

K_5 – коефіцієнт, який враховує ергономіку затискних пристосувань.

Тоді K дорівнює:

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

Сила різання при фрезеруванні дорівнює:

$$P_z = \frac{C_p \cdot t^x \cdot S_y^y \cdot B^n \cdot z}{D^q \cdot n^w} \cdot K, \quad (3.5)$$

де C_p – коефіцієнт різання;

t – глибина різання, мм;

S_y – подача, мм/зуб;

B – ширина фрезерування, мм;

z – кількість зубців фрези;

D – діаметр фрези, мм;

n – частота обертання;

K – коефіцієнт поправки;

x, y, n, q, w – показники ступеня за довідником.

Отже,

$$P_z = \frac{261 \cdot 2,0^{0,9} \cdot 0,1^{0,8} \cdot 6^{1,1} \cdot 14}{80^{1,1} \cdot 125^{0,2}} \cdot 1,2 = 18,6 \text{ (Н)}.$$

Визначимо силу, необхідну для закріплення за формулою (3.1):

					КРБ.133ГМбд_41.19.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$F_{зат} = \frac{28,6 \cdot 3,4}{0,18} = 540,2 \text{ (Н)}.$$

Отже, маємо зусилля затиску 540,2 Н.

3.3 Розрахунок параметрів силового приводу

Розрахунок силового приводу зводиться до визначення зусилля на ведучій ланці механізму за відомою силою затиску, а потім, за визначеним зусиллям, на ведучій ланці знаходиться діаметр пневмоциліндру.

Для даного механізму можна записати:

$$Q = \frac{W}{i}, \quad (3.6)$$

де i – передатне відношення сил, що характеризує конструктивні параметри механізму. Для даного пристосування $i = 1$.

З урахуванням цього маємо, що зусилля $Q = F_{зат} = 540,2 \text{ (Н)}$

Знайдемо діаметр поршня пневмоциліндра за формулою:

$$Q = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} p \eta, \quad (3.7)$$

де D – діаметр поршня;

d – діаметр штока, 10 мм;

η – ККД пневмоциліндра, 0,9;

p – тиск повітря, що подається у пневмоциліндрі, 0,6 МПа.

З виразу (3.6) маємо

					КРБ.133ГМбд_41.19.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi p \eta} + d^2}, \quad (3.8)$$

$$D = \sqrt{\frac{2 \cdot 540,2}{\pi \cdot 0,6 \cdot 10^6 \cdot 0,9} + 0,01^2} = 0,027 \text{ (м)}.$$

Приймаємо стандартний діаметр, що дорівнює 32 мм.

3.4 Розрахунок слабкої ланки на міцність

На наш погляд, слабкою ланкою є різьба М8 на штоці пневматичного циліндра затискного пристосування, що зазнає зусилля 540,2 Н. Перевірку проводимо за допустимим напруженням

Допустиме максимальне напруження визначимо за формулою:

$$[\tau] = 0,2 \cdot \sigma_T, \quad (3.9)$$

де σ_T – межа текучості, для сталі 45 становить 340 МПа;

$$[\tau] = 0,2 \cdot 340 = 68 \text{ (МПа)}$$

Визначимо діюче напруження у різьбі:

$$\tau = \frac{Q}{\tau \cdot D_{\min} \cdot K \cdot h \cdot 10^{-6}}; \quad (3.10)$$

де D_{\min} – мінімальний діаметр, для М8 $\times 1,5 - 6,65$ мм;

K – коефіцієнт для трикутної різьби, 0,8,

					КРБ.133ГМбд_41.19.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

h – висота гайки, 4 мм.

Отже, маємо

$$\sigma = \frac{540,2}{\pi \cdot 6,65 \cdot 0,8 \cdot 4 \cdot 10^{-6}} = 8,1 \cdot 10^6 \text{ (Па)}.$$

Як ми бачимо, діюче напруження у різьбі не перевищує допустимої величини.

Отже можна зробити висновок, що шток має достатню міцність.

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІКА, ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Техніко-економічне обґрунтування виробництва заготовки деталі

Для деталі «Вал-шестерня», що виготовляється зі сталі 40Х найбільш доцільними буде два способи виготовлення заготовки: з прокату та штампування на ГКМ. Проведемо економічну оцінку досеру способу виготовлення заготовки, методом порівняння собівартості одержання заготовок за варіантами [1, 4, 5, 30, 34, 49].

Визначимо коефіцієнти використання матеріалу при прокаті й при штампуванні за формулою:

$$K_{в.м} = \frac{m_0}{m_3}, \quad (4.1)$$

де m_0 , m_3 – маси деталі й заготовки відповідно.

Маса готової деталі $m_0 = 1,6$ кг, маса заготовки із прокату $m_3 = 6,1$ кг, орієнтовна маса проєктованого штампування $m_3 = 2,0$ кг.

Прокат:

$$K_{в.м} = \frac{1,6}{6,1} = 0,26.$$

Штампування:

$$K_{в.м} = \frac{1,6}{2,0} = 0,8$$

Як видно за коефіцієнтами використання матеріалу, штампування має менші втрати металу, ніж заготовка із прокату. Вибираємо для одержання валу штампування з наступними параметрами: ступінь складності С2, клас точності Т4, група сталі М2.

					КРБ.133ГМбд_41.19.00.00.000 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Визначимо вартість заготовки із прокату:

$$S_{заг} = m_3 \cdot \frac{S_{np}}{1000} - (m_3 - m_0) \frac{S_{отх}}{1000}, \quad (4.2)$$

де S_{np} – вартість 1 тони прокату ($S_{np} = 65000$ грн/т),

$S_{отх}$ – вартість 1 тони відходів ($S_{отх} = 6000$ грн/т).

$$S_{заг} = 6,1 \cdot \frac{65000}{1000} - (6,1 - 1,6) \frac{6000}{1000} = 369,5 \text{ грн.}$$

Вартість штампування:

$$S_{заг} = \left(\frac{C_i}{1000} \cdot m \cdot k_m \cdot k_c \cdot k_m \cdot k_{mat} \cdot k_o \right) - (m_3 - m_0) \frac{S_{отх}}{1000}, \quad (4.3)$$

де C_i – вартість 1 тони заготовок отриманих штампуванням ($C_i = 95000$ грн/т),

$k_m, k_c, k_m, k_{mat}, k_o$ – коефіцієнти, що залежать від класу точності, групи складності, маси, марки матеріалу й обсягу виробництва ($k_m = 1,0$; $k_c = 1,1$; $k_m = 1,1$; $k_{mat} = 1,15$; $k_o = 1,15$).

Вартість штампування складе:

$$S_{заг} = \left(\frac{95000}{1000} \cdot 2,0 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,15 \cdot 1,15 \right) - (2,0 - 1,6) \frac{6000}{1000} = 301,6 \text{ грн.}$$

Економічний ефект у цьому випадку буде становити:

$$E = (369,5 - 301,6) \cdot 400 = 27160 \text{ (грн.)}$$

Отже, заготовка виготовлена штампуванням не тільки дешевша, але й має менший коефіцієнт використання матеріалу, що дає змогу скоротити час обробки і трудомісткість операцій.

4.2 Розрахунок штучного освітлення

Штучне освітлення у виробничому цеху призначене для забезпечення нормативних умов праці, підвищення продуктивності та безпеки персоналу. Воно компенсує або повністю замінює природне освітлення у темний час доби чи в приміщеннях без достатнього доступу денного світла [2, 8, 10, 14-17, 19, 20, 22, 26, 27, 31, 33, 41-46, 50].

У виробничих приміщеннях застосовують такі системи освітлення:

- загальне освітлення – забезпечує рівномірну освітленість по всій площі цеху. Світильники розміщують під стелею або на несучих конструкціях з урахуванням висоти приміщення та розташування обладнання;

- місцеве освітлення – використовується безпосередньо на робочих місцях (верстати, контрольні пости, складальні столи) для підвищення освітленості у зоні виконання точних операцій;

- комбіноване освітлення – поєднання загального і місцевого, яке найчастіше застосовується в механічних, складальних та інструментальних цехах.

Рівень освітленості залежить від характеру робіт: грубі роботи – 100...200 лк; середньої точності – 300...500 лк; високої точності – 750...1000 лк і більше.

Вимоги до освітлення виробничих приміщень в Україні регламентуються, зокрема, Міністерство розвитку громад та територій України (державні будівельні норми ДБН В.2.5-28:2018).

У сучасних цехах переважно застосовують: LED-світильники (енергоефективні, довговічні, з низьким мерехтінням), раніше широко використовувались люмінесцентні лампи; у високих приміщеннях – підвісні промислові світильники типу «High Bay».

									Аркуш
									33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРБ.133ГМбд_41.19.00.00.000 ПЗ				

LED-освітлення є найбільш доцільним завдяки: високій світловій віддачі (120–160 лм/Вт); тривалому ресурсу роботи (50 000 год і більше); низьким витратам на обслуговування.

Основні вимоги до освітлення цеху: рівномірність освітлення; відсутність засліплення; мінімальне мерехтіння; правильна передача кольору ($R_a \geq 80$ для більшості робіт); відповідність ступеню захисту світильників (IP) до умов середовища (пил, волога).

Загальне освітлення методом світлового потоку.

$$\Phi = \frac{E_n \cdot k \cdot S}{\eta \cdot N} \quad (4.4)$$

Перетворимо формулу таким чином, щоб визначити кількість світильників N :

$$N = \frac{E_n \cdot k \cdot S}{\eta \cdot \Phi} \quad (4.5)$$

де $E = 300$ лк – значення нормативного освітлення цехів;

$k = 1,4$ – коефіцієнт запасу;

$S = 2880$ м² – площа приміщення, що освітлюється.

Коефіцієнт використання η знаходимо по постійній приміщення за формулою:

$$i = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} \quad (4.6)$$

де a, b – довжина та ширина цеху, $a = 60$ м, $b = 48$ м;

h – розрахункова висота, $h = H - h_2$;

$H = 8$ м – висота від підлоги до ферми;

$h_2 = 1,2$ м – висота від підлоги до робочого місця.

					КРБ.133ГМбд_41.19.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тоді:

$$h = 8 - 1,2 = 6,8.$$

Постійна приміщення дорівнює:

$$i = \frac{60 \cdot 48}{6,8 \cdot (60 + 48)} = 3,9.$$

Знаходимо коефіцієнт використання $\eta = 0,65$.

Пропонується світильник LED High Bay 200 Вт (LightProm 200W 24000Lm).

Тоді за вище вказаною формулою знаходимо необхідну кількість світильників:

$$N = \frac{300 \cdot 1,4 \cdot 2980}{0,65 \cdot 24000} = 86 \text{ (шт.)}.$$

Приймаємо для освітлення цеху 86 світильників, які розташовуємо по стіні на всій території цеху. Отже, раціонально спроектоване штучне освітлення цеху забезпечує безпечні умови праці, знижує втомлюваність персоналу, покращує якість продукції та сприяє енергоефективності підприємства.

4.3 Екологічні аспекти виробництва валу-шестерні на металорізальних верстатах

Екологічні аспекти виготовлення валу-шестерні на металорізальних верстатах доцільно розглядати як складову загальної технологічної підготовки виробництва та системи екологічного менеджменту підприємства.

Виготовлення валу-шестерні із конструкційної сталі 40Х включає точіння заготовки, нарізання зубців фрезеруванням, термічну обробку та шліфування. На кожному з цих етапів формується певний екологічний вплив. Під час механічної

						КРБ.133ГМбд_41.19.00.00.000 ПЗ	Аркуш
							35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

обробки утворюється значна кількість металевої стружки, а також аерозолі мастильно-охолоджувальних рідин. Масляний туман і дрібнодисперсний пил, особливо при шліфуванні зубців, погіршують якість повітря робочої зони та можуть виходити за межі цеху через вентиляційні системи. Термічна обробка супроводжується викидами продуктів згоряння палива та оксидів азоту і вуглецю.

Водні ресурси зазнають впливу через використання мастильно-охолоджувальних рідин і мийних розчинів. Відпрацьовані МОР містять емульговані масла, металеві частинки та хімічні присадки. За відсутності належної очистки вони можуть спричинити забруднення стічних вод. Тому у сучасному машинобудуванні застосовують замкнуті системи циркуляції МОР, відстоювання, фільтрацію та регенерацію робочих рідин.

Суттєвим є питання утворення відходів. Основним відходом є металева стружка, яка, хоча й належить до відносно безпечних відходів, потребує сортування та передачі на переплавлення. небезпечнішими є відпрацьовані масла, фільтри, шлами після очищення МОР та шліфувальний пил, що можуть містити легувальні елементи. Організація роздільного збору та передача ліцензованим підприємствам мінімізують екологічні ризики.

Окрему роль відіграє енергоспоживання металорізальних верстатів. Токарні, зубофрезерні та шліфувальні верстати споживають значні обсяги електроенергії, а термічна обробка – теплову енергію або газ. Підвищення енергоефективності обладнання, використання верстатів із ЧПК нового покоління та оптимізація режимів різання зменшують непрямий вуглецевий слід виробництва.

Таким чином, екологічна оцінка виробництва валу-шестерні в галузевому машинобудуванні повинна враховувати вплив на повітря, воду, ґрунт, обсяги відходів та енергоспоживання. Рациональний вибір технології виготовлення заготовки (штампування замість надлишкового різання), впровадження маловідходних процесів, регенерація МОР та модернізація обладнання є основними напрямками зниження негативного впливу на довкілля.

									Аркуш
									36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРБ.133ГМбд_41.19.00.00.000 ПЗ				

ВИСНОВКИ

Відповідно до отриманого завдання на кваліфікаційну роботу здобувача вищої освіти та за результатами її виконання зроблено наступні висновки.

1. Визначено службове призначення насосу шестеренчастого нагнітального. Проведено аналіз деталі, що є складовою частиною, а саме валу-шестерні. Охарактеризовано конструкційний матеріал цієї деталі, надано рекомендації стосовно замітника-аналогу. Здійснено визначення типу виробництва на підставі маркетингового дослідження – дрібносерійний.

2. Відпрацьовано на технологічність вузол та його деталь. Проаналізовано діючий технологічний процес виготовлення, запропоновано способи удосконалення з урахуванням визначеного типу виробництва. Розроблено маршрут обробки поверхонь валу-шестерні. Здійснено визначення припусків на обробку та операційних розмірів поверхні $\varnothing 20f7_{(-0.020, -0.041)}$ мм розрахунково-аналітичним методом.

3. Розроблено конструкцію затискного пристосування, призначеного для використання під час механічної обробки валу-шестерні. Виконано розрахунок необхідного зусилля закріплення деталі та визначено параметри силового приводу. Проведено перевірочний розрахунок найменш міцного елемента пристосування на міцність.

4. Здійснено техніко-економічне обґрунтування виробництва заготовки. Річний економічний ефект під час порівняння між двома заготівельними технологіями для програми випуску 400 шт. склав 27160 грн. Окрім того, проведено інженерні розрахунки освітлення виробничого приміщення. Проаналізовано екологічні аспекти обробки деталі на металорізальних верстатах.

5. У графічній частині роботи наведено складальний кресленик насос-шестеренчастого, кресленик валу-шестерні, кресленик заготовки валу-шестерні, кресленик затискного пристосування.

					КРБ.133ГМбд_41.19.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Акімов І.В., Плескач В.М. Прейскурант для техніко-економічного обґрунтування вибору оптимальної технології виробництва заготовок при виконанні розрахунково-графічних та контрольних завдань з дисциплін з технологічних методів виробництва заготовок для студентів спеціальностей: 131 Прикладна механіка, 132 Матеріалознавство, 133 Галузеве машинобудування, 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка, денної та заочної форми навчання. Запоріжжя: ЗНТУ. 2019. 18 с.
2. Березуцький В.В. Основи охорони праці: навч. посіб. Харків: Факт, 2005. 480 с.
3. Боженко Л.І. Технологія машинобудування. Львів: Світ, 2001. 456 с.
4. Боженко Л.І. Технологія машинобудування. Проектування та виробництво заготовок. Львів: Світ, 1996. 368 с.
5. Бейчик І.М. Економіка підприємства. Київ: Каравела, Львів: «Новий світ-2001», 2001. 298 с.
6. Бочков В.М., Сілін Р.І., Гаврильченко О.В. Розрахунок та конструювання металорізальних верстатів. Львів: Видавництво «Бескид Біт», 2008. 448 с.
7. Буц Б.Д., Приходько В.Є., Ткачов Ю.В. Розрахунок режимів різання металів. Дніпропетровськ: РВБ ДНУ, 2005. 76 с.
8. Гандзюк М.П., Желібо Є.П., Халімовський М.О. Основи охорони праці: навч. посіб. Київ: Каравела, 2003. 408 с.
9. Гевко Б.М., Гевко І.Б., Радик Д.П. Технологія сільськогосподарського машинобудування: Підручник. Київ: Кондор, 2006. 496 с.
10. Гогіташвілі Г.Г., Карчевські Є.Т., Лапін В.М. Управління охороною праці та ризиком за міжнародними стандартами. Київ: Знання, 2007. 367 с.
11. Горбатюк Є.О., Мазур М.П., Зенкін А.С., Каразей В.Д. Технологія машинобудування. Львів: Новий Світ – 2000, 2012. 358 с.

										КРБ.133ГМбд_41.19.00.00.000 ПЗ	Аркуш
											38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

12. Дичковський М.Г. Технологічна оснастка. Курс лекцій. Навчальний посібник. Херсон: Олді-плюс, 2008. 328с.

13. Добрянський С.С., Малафеев Ю.М. Технологічні основи машинобудування: підручник Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 379 с.

14. Жидецький В.Ц. Засоби індивідуального захисту та електрозахисні засоби. Київ: Основа, 2003. 133 с.

15. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці: навч. посіб. Львів: Укр. академія друкарства, 2006. 324 с.

16. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці: навч. посіб. Львів: Афіша, 2002. 311 с.

17. Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Мельников С.Б. Основи охорони праці. Львів: Афіша, 2000. 343 с.

18. Захаркін О.У. Технологічні основи машинобудування. Суми: СумДУ, 2004. 98 с.

19. Кащенко Л.А., Кіт Ю.Б., Пістун І.П. Охорона праці: навч. посіб. Суми: Університетська книга, 2004. 205 с.

20. Керб Л.П.. Основи охорони праці: навч.-метод. посіб. Київ: КНЕУ, 2001. 252 с.

21. Коборко Б.О., Фролов Є.А., Попов С.В., Ясько С.Г. Прогресивні технології у машинобудуванні. Навчальний посібник для студентів механічних спеціальностей закладів вищої освіти. Полтава: Національний університет імені Юрія Кондратюка, 2020. 168 с.

22. Купчик М.П., Галдзюк М.П. Основи охорони праці: навч. посіб. Київ: Основа, 2000. 416 с.

23. Лапковський С.В., Солдатова М.О., Труцько І.С. Відпрацювання конструкції виробу на технологічність – один із найважливіших етапів технологічної підготовки виробництва. Вісник Національного технічного університету «КПІ». 2011. С. 203-207.

									Аркуш
									39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРБ.133ГМбд_41.19.00.00.000 ПЗ				

24. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів: підручник/ Опалчук А.С. та ін. Ніжин: ПП Лисенко М.М., 2013. 751 с.

25. Мельничук П.П., Боровик А.І., Лінчевський П.П. Технологія машинобудування: Підручник. Житомир: ЖДТУ, 2005. 876 с.

26. Москальова В.М. Основи охорони праці: підручник. Київ: Професіонал, 2005. 672 с.

27. Основи проектування технологічних процесів / Гречкосій В.Д. та ін. Ніжин: MILANIK, 2009. 411 с.

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

29. Пасько М.М., Показаньева С.Д. Технологія машинобудування. Краматорськ: ВСП МК ДДМА, 2019. 289 с.

30. Петрозич Й.М., Кіт А.Ф., Семенів О.М. Економіка підприємства. Львів: «Новий Світ-2000», 2004. 680 с.

31. Пістун І.І., Кіт Ю.В. Основи охорони праці: практикум. Суми: Університетська книга, 2000. 207 с.

32. Попов С., Скрипник В. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня бакалавра здобувачами вищої освіти зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування за освітньо-професійною програмою Машини та обладнання сільськогосподарського виробництва галузі знань 13 Механічна інженерія. Полтава: ПДАУ, 2022. 32 с.

33. Рогач Ю.П. Пожежна безпека. Мелітополь: ТДАА, 2001. 121 с.

34. Поліщук В.А. Проектування заготовок у машинобудуванні: навчальний посібник. Миколаїв: НУК, 2017. 274 с.

35. Руденко П.О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні. Навчальний посібник. Київ: Вища школа, 1992. 414 с.

					КРБ.133ГМбд_41.19.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

36. Сапон С.П. Проектування технологічного оснащення. Чернігів: НУ «Чернігівська політехніка», 2022. 47 с.

37. Сологуб М.А., Божнецький І.О., Некоз О.І. Технологія конструкційних матеріалів: Підручник. Київ. Вища школа, 2002. 374 с.

38. Технологічне забезпечення оснащенням гнучких виробничих систем механообробного виробництва: навчальний посібник / Є. А. Фролов, О.І. Біловод, С.Б. Попов, А.О. Келіменш, Ю.О. Попова. Полтава: ПП «Астроя», 2022. 130 с.

39. Технологічне оснащення. Конспект лекцій для студентів денної та заочної форми навчання спеціальності 131 Прикладна механіка. Дніпро: Національний технічний університет «Дніпровська політехніка». 2020. 403 с.

40. Токаренко В.М. Технологія автодорожнього машинобудування: курсове проектування. Київ. Вища школа, 1992. 127 с.

41. Трахтенберг І.М. Гігієна праці та виробнича санітарія: підручник. Київ, 1998. 254 с.

42. Федоров М.І. Охорона праці в галузі: навч. посіб. Полтава: ПДАА, 2012. 136 с.

43. Федоров М.І., Костенко О.М., Дрожжана О.У. Збірник законодавчих та нормативних актів з охорони праці: навч. посіб. Том 1. Полтава: інтеграфіка, 2004. 336 с.

44. Федоров М.І., Костенко О.М., Дрожжана О.У. Нормативні акти і документація з охорони праці, що діє у межах підприємства: навч. посіб. Том 2. Полтава: інтеграфіка, 2004. 296 с.

45. Федоров М.І., Лапенко Т. Г., Дрожжана О.У. Охорона праці в галузі (збірник схем, термінів...): навч. посіб. Полтава: ПДАА, 2005. 118 с.

46. Федоров М.І., Лапенко Т.Г., Дрожжана О.У. Охорона праці в галузі АПК: навч. посіб. Полтава: інтеграфіка, 2005. 297 с.

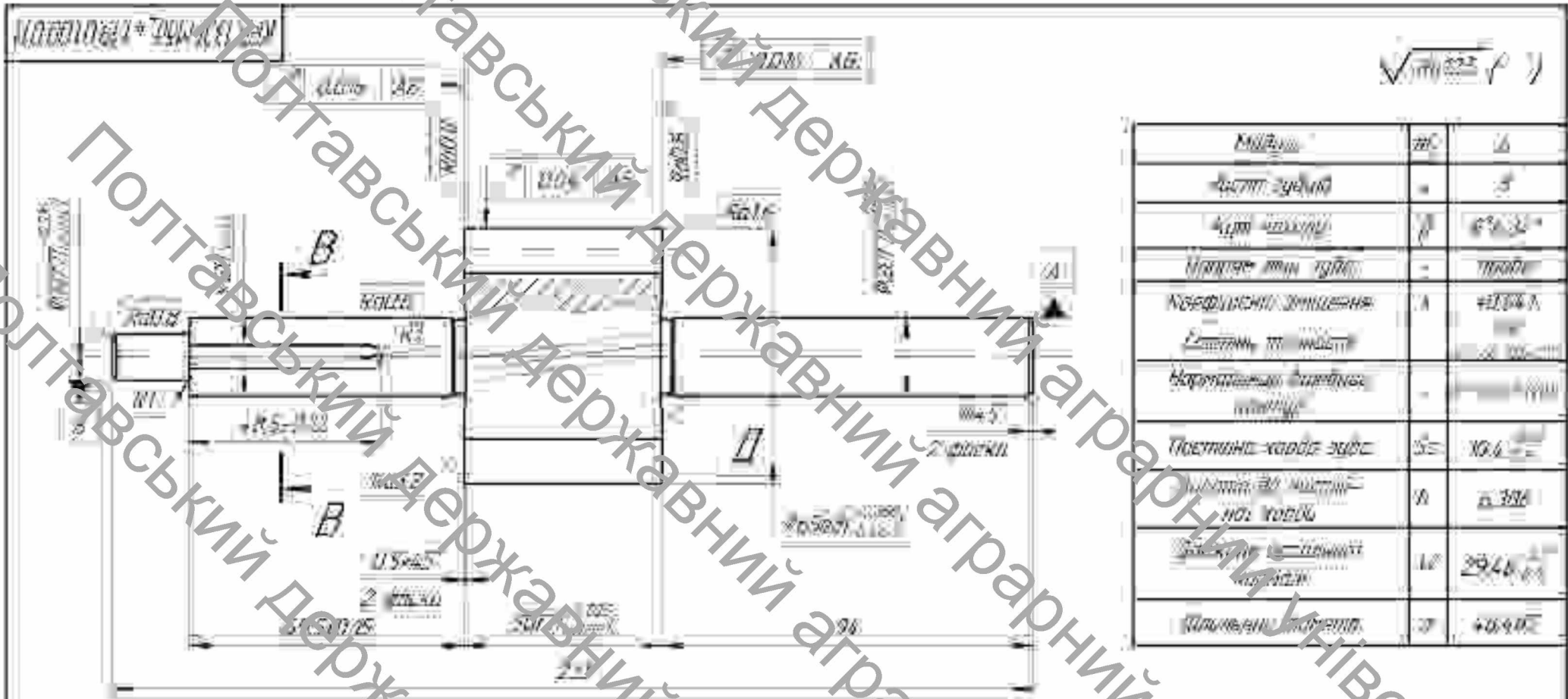
47. Фролов Є.А., Кравченко С.І., Попов С.В., Гнітас С.М. Технологічне забезпечення якості продукції машинобудування: монографія. Полтава: Технологічний Центр, 2019. 204 с.

					КРБ.133ГМбд_41.19.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

48. Черевко О.І., Михайлов В.М., Бабкіна І.В. Технологічні основи машинобудування. Харків: ХДУХТ, 2005. 82с.

49. Шваб Л.І. Економіка підприємства: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. Київ: Каравела, 2005. 568 с.

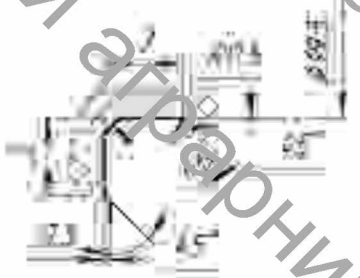
50. Ярецька В.М. Охорона праці в галузі: навч. посіб. Київ: Професіонал, 2004. 288 с.



Назва приміщення	м ²	№
Коридор
Кабінет
Кухня
Місце для меблів
Невіділені приміщення
Ліфт
Місце для меблів
Простір під сходи
Місце для меблів
Місце для меблів
Місце для меблів

B-B

15-11



КРБ-13.11.МДБ-6149.01.00.01.01 ВАРІАНТ №1		№1 11
10.10.2025 10.10.2025		10.10.2025

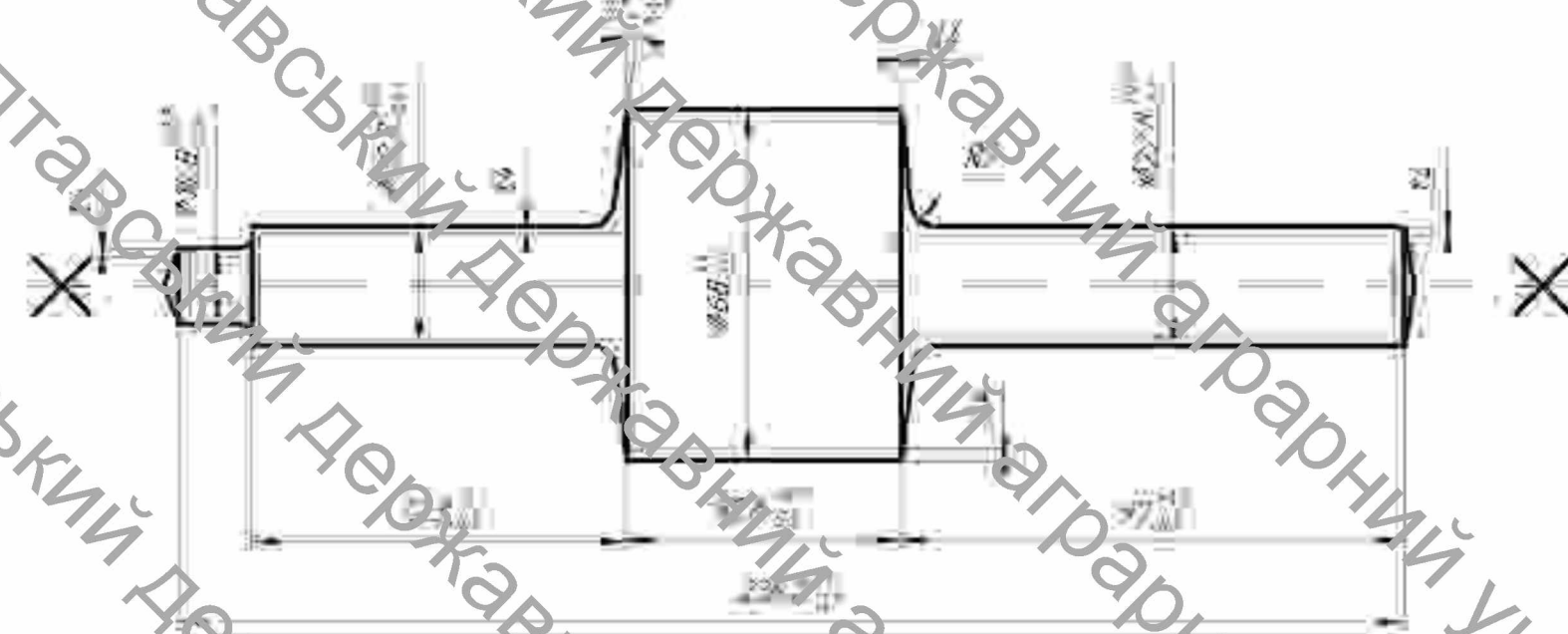
10.10.2025

√ R2 80

Полтавський державний аграрний університет

Полтавський державний аграрний університет

№ 13.11.10.001.001



Кресло виконав: студент
Завдання № 13.11.10.001.001
3. Невідрізані задіати 0,5 (0) мм

КРЕСЛО ВИКОНАВ: студент		№ 13.11.10.001.001	
ЗАДАВАННЯ № 13.11.10.001.001		№	20
Тема: 13.11.10.001.001		№	11
Дата: 13.11.10.001.001		Листопад 2025	

