

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТРАНСПОРТУ
КАФЕДРА ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ

КВАЛІФІКАЦІЙНА БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка

на тему: Підвищення ефективності технологічної підготовки вала циркуляційного масляного насосу зі застосуванням CAD/CAE/CAM-систем і верстатів з ЧПК

Виконав: здобувач групи ПМ-23ск
Сінягін І.О.

Керівник випускної роботи:
доцент, к.т.н., Бондар О.В.

Кривий Ріг
2026 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТРАНСПОРТУ
КАФЕДРА ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ БАКАЛАВРСЬКОЇ РОБОТИ**

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка

на тему: Підвищення ефективності технологічної підготовки вала циркуляційного масляного насосу зі застосуванням CAD/CAE/CAM-систем і верстатів з ЧПК

Виконав здобувач гр. ПМ-23ск

(підпис)

Ілля СІНЯГІН

Керівник КБР

(підпис)

Олена БОНДАР

Нормоконтроль

(підпис)

Василь НЕЧАЄВ

Завідувач кафедри

(підпис)

Антон РЯЗАНЦЕВ

м. Кривий Ріг
2026 р.

ВІДОМІСТЬ МАТЕРІАЛІВ КБР

№	Формат	Позначення	Найменування	К-сть листів	Прим.
			<u>Документація</u>		
1	A4	КНУ.КБР.131.26.1-09.ПЗ	Пояснювальна записка	48	
			<u>Графічні матеріали</u>		
2	A0	КНУ.КБР.131.26.1-09.НО	Насос окиснювача (складальне креслення)	1	
3	A2	КНУ.КБР.131.26.1-09.В	Вал	1	
4	A1	КНУ.КБР.131.26.1-09.ТП	Технологічний процес	1	
5	A2	КНУ.КБР.131.26.1-09.КН010	Карта наладки 010	1	
6	A2	КНУ.КБР.131.26.1-09.КН015	Карта наладки 015	1	
7	A1	КНУ.КБР.131.26.1-09.АПР	Аналіз ефективності проектних рішень	1	

					КНУ.КБР.131.26.1-09.ВМКБР					
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата						
Разроб.		Сінягін			Відомість матеріалів КБР			Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Бондар								
Н. контр.		Нечасів								
Затверд.		Рязанцев								
					Кафедра ТМ гр. ПМ-23ск					

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА.....	6
1.1 Умови експлуатації, функції, які виконують функціональні поверхні деталей.....	6
1.2 Аналіз параметрів точності деталі.....	6
1.3 Характеристика матеріалів деталей	8
1.4 Вибір режиму роботи цеху.....	9
1.5 Характеристика виробничої програми та визначення типу виробництва	10
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	12
2.1 Аналіз технологічності складального вузла й деталей	12
2.1.1 Аналіз технологічності вузла.....	12
2.1.2 Аналіз технологічності вала.....	12
2.2 Аналіз діючого технологічного процесу вала.....	13
2.3 Розроблення маршрутів виготовлення деталей	13
2.4 Розроблення структури та зміст технологічних операцій	14
2.5 Розрахунок похибки базування.....	17
2.6 Вибір металорізальних верстатів.....	18
2.7 Вибір різальних інструментів	18
2.8 Вибір вимірювальних пристроїв та інструментів	19
2.9 Вибір верстатних пристроїв	20
2.10 Розрахунок режимів різання	21
2.11 Технічне нормування операцій обробки.....	22
2.12 Програмування операцій у САМ-системі.....	24
3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	25
3.1 Визначення крутного моменту	25
3.2 Дизайн випробування вала у SolidWorks Simulation	25
3.3 Інтерпретація результатів отриманих у SolidWorks Simulation	28
4 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА	34
4.1 Охорона праці та екологія виробництва	34
4.1.1 Аналіз небезпечних виробничих факторів та заходи з охорони праці при виготовленні деталі	34
4.1.2 Заходи для мінімізації ризиків отримання травм	35
4.1.3 Розрахунок освітленості	36
4.1.4 Екологія машинобудівного цеху	37
4.2 Економіка виробництва вала.....	38
ВИСНОВКИ.....	43
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	44
ДОДАТОК А	2
ДОДАТОК Б	4

					КНУ.КБР.131.26.1-09.3							
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата								
Розроб.		Сінягін			Зміст				Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Бондар										
Н. контр.		Нечаєв							Кафедра ТМ гр. ПМ-23ск			
Затверд.		Рязанцев										

РЕФЕРАТ

У пояснювальній записці до кваліфікаційної бакалаврської роботи викладено результати проєкту, що охоплює 45 сторінок тексту, проілюстрований 14 рисунком, 22 таблицями та 6 аркушами графічної частини.

Головною метою дослідження є модернізація технологічного процесу обробки вала шляхом переходу від універсального обладнання до сучасних токарних та фрезерних центрів із числовим програмним керуванням. Це дозволило значно підвищити продуктивність виготовлення для річної програми у 3200 деталей. Крім того, проведено технічний аналіз деталі типу «вал» із використанням нелінійних методів розрахунку, що дозволило оцінити реальні границі міцності та працездатності виробу під впливом пікових експлуатаційних навантажень.

Перший розділ присвячений загальній характеристиці об'єкта дослідження — описано функціональне призначення вала в системі масляного насоса, технічні вимоги до точності поверхонь та обґрунтовано вибір конструкційної легованої сталі 40Х.

У другому розділі представлено розробку технологічного маршруту виготовлення вала в умовах серійного виробництва. Впроваджено прогресивні схеми базування (поводковий центр, самоцентрувальні лещата) та використано високоефективний інструмент Sandvik Coromant, що забезпечило сумарний штучний час обробки на рівні 2,02 хвилини.

У третьому розділі виконано комп'ютерне моделювання навантажень у середовищі SolidWorks Simulation. На основі скінченно-елементної сітки проведено нелінійний статичний аналіз при крутному моменті 2000 Нм. Побудовано епюри напружень за Мизесом, виявлено зони концентрації напружень у шпонкових пазах та надано рекомендації щодо оптимізації конструкції (створення пустотілого вала).

Четвертий розділ зосереджено на питаннях охорони праці та екологічної безпеки, зокрема проведено заміну застарілого освітлення на сучасні LED-системи. Також здійснено розрахунок економічної доцільності, який підтвердив високу ефективність проєкту з терміном окупності в 1,5 року.

ВАЛ НАСОСА, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, ВЕРСТАТИ З ЧПК, SOLIDWORKS SIMULATION, СТАЛЬ 40Х, ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ.

					КНУ.КБР.131.26.1-09.Р									
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата										
Розроб.		Сінягін			Реферат				Літ.		Арк.	Аркушів		
Перевір.		Бондар												
Н. Контр.		Нечаєв												
Затверд.		Рязанцев												
					Кафедра ТМ гр. ПМ-23ск									

ABSTRACT

In the explanatory note to the bachelor's qualification work, the results of the project are presented, covering 45 pages of text, illustrated with 14 figures, 22 tables, and 6 sheets of the graphic part.

The main goal of the research is to modernize the technological process of shaft machining by transitioning from universal equipment to modern CNC turning and milling centers. This allowed for a significant increase in manufacturing productivity for an annual production program of 3,200 parts. Additionally, a technical analysis of the "shaft" type part was conducted using nonlinear calculation methods, which allowed for evaluating the actual strength and performance limits of the product under peak operational loads.

The first section is dedicated to the general characteristics of the research object—describing the functional purpose of the shaft in the oil pump system, technical requirements for surface accuracy, and the justification for selecting 40X alloy structural steel.

The second section presents the development of a technological route for shaft manufacturing under serial production conditions. Progressive basing schemes (face driver, self-centering vises) were implemented, and high-efficiency Sandvik Coromant tools were used, ensuring a total piece time of 2.02 minutes.

The third section involves computer load modeling in the SolidWorks Simulation environment. Based on a finite element mesh, a nonlinear static analysis was performed at a torque of 2,000 Nm. Von Mises stress plots were constructed, stress concentration zones in keyways were identified, and recommendations for structural optimization (creating a hollow shaft) were provided.

The fourth section focuses on occupational health and environmental safety, specifically the replacement of outdated lighting with modern LED systems. An economic feasibility study was also conducted, confirming high project efficiency with a payback period of 1 year.

PUMP SHAFT, TECHNOLOGICAL PROCESS, CNC MACHINES, SOLIDWORKS SIMULATION, STEEL 40X, ECONOMIC EFFICIENCY.

					КНУ.КБР.131.26.1-09.Р	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

ВСТУП

Машинобудівна галузь є фундаментом національної економіки, що забезпечує технічне оснащення всіх сфер — від видобутку сировини до високих технологій. Завдяки науково-технічному прогресу та впровадженню автоматизованих систем стає можливим суттєве підвищення продуктивності й конкурентоспроможності виробництва. Для України розвиток цієї ланки є стратегічним чинником зміцнення технологічного суверенітету та індустріального відновлення в умовах глобального ринку.

Технологія машинобудування, як комплексна інженерна дисципліна, інтегрує знання з механіки та матеріалознавства для розв'язання практичних виробничих завдань. Механічна обробка на металорізальних верстатах залишається найбільш трудомістким етапом, успіх якого залежить від обґрунтованого вибору режимів різання, інструментальних систем та оснащення. Ефективна організація цих процесів безпосередньо впливає на якість виробів та загальну економічну доцільність виробничого циклу.

Невід'ємною складовою сучасного інжинірингу є системи автоматизованого проектування (CAD/CAE). Їх застосування дозволяє скоротити терміни розробки документації, підвищити точність геометричного моделювання та провести глибокий аналіз міцності й динаміки виробів. Цифрова безперервність даних мінімізує вплив людського фактора та сприяє швидкій адаптації вітчизняних підприємств до сучасних стандартів якості.

У межах даного КБР розроблено технологічний процес виготовлення вала з акцентом на забезпеченні його високих експлуатаційних характеристик. Проєкт включає обґрунтований вибір технологічного маршруту, прогресивного обладнання та методу отримання заготовки на основі техніко-економічного аналізу. Системний підхід, що враховує вимоги безпеки праці та екології, дозволяє оптимізувати витрати та впровадити високі стандарти інженерної культури на виробництві.

					<i>КНУ.КБР.131.26.1-09.В</i>			
<i>Змін.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ Документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Сінягін</i>						
<i>Перевір.</i>		<i>Бондар</i>						
<i>Н. контр.</i>		<i>Нечаєв</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Рязанцев</i>						

<i>Вступ</i>			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
			<i>Кафедра ТМ гр. ПМ-23ск</i>		

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Умови експлуатації, функції, які виконують функціональні поверхні деталей

У КБР виконується модернізація одного з вузлів дизеля K6S610DR до маневрового тепловоза ЧМЕЗ. Насос масляний, який належить до нагнітаючих циркуляційних масляних насосів з частотою обертання 1400 об/хв, продуктивністю 823 л/хв і робочим тиском 0,5-0,6 МПа. Він забезпечує систему змащення дизеля. В кришці насоса розміщений редукційний клапан, який захищає масляну систему від надмірного підвищення тиску. Клапан відрегульований на заводі і регулювати його в процесі експлуатації забороняється. Непередбачуване падіння та підвищення тиску масла в системі може бути визвано внаслідок забруднення редукційного клапана. Привід даного насоса здійснюється від редуктора на шестерню 4, а шестерня 2 з'єднується з тахогенератором, на якому вимірюється тиск масла. Система змащення закрита, масло після насоса поступає в фільтр масляний. Ресурс вузла зв'язаний з ресурсом дизеля. Подача мастила здійснюється через фланець з нагнітаючою трубою, котрий закріплений на шпильки 65 і фіксується гайкою 48. За допомогою обертання вала 12 шестерні зубцями захоплюють масло із всмоктуючої частини, подають його в нагнітаючу, а потім до вихідної, де кріпиться фланець з нагнітаючою трубою. При підвищенні тиску масла в нагнітаючій частині вище 0,6 МПа відкривається редукційний клапан 5 і масло частково перепускається з нагнітаючої частини у всмоктуючу.

Даний масляний насос складається з таких деталей: шестерні, клапан, вали, фланець, пружина, гвинти, прокладки, втулки, кришки передня та задня, корпус. На детальне розроблення виноситься вал.

Вал призначений для здійснення обертового руху закріпленої на ньому шестерні, яка бере участь у нагнітанні масла. Він виготовлений зі сталі 40Х ДСТУ 7806:2015.

1.2 Аналіз параметрів точності деталі

При проведенні аналізу точнісних параметрів деталі заповнюємо таблицю 1.1, у якій приведені дані про точність виготовлення та вимоги до точності вала.

Аналіз параметрів точності деталі виконується для встановлення відповідності технічних вимог креслення до технологічних можливостей обладнання та обґрунтування методів досягнення заданих квалітетів і шорсткості. Даний етап дозволяє визначити кількість і послідовність технологічних переходів, призначити проміжні припуски та обрати схеми базування для забезпечення норм

					КНУ.КБР.131.26.1-09.01.34											
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата	Загальна частина						Літ.		Арк.		Аркушів	
Разроб.	Сінягін															
Перевір.	Бондар															
Н. контр.	Нечаєв															
Затверд.	Рязанцев															
											Кафедра ТМ гр. ПМ-23ск					

взаємного розташування поверхонь. На основі отриманих даних здійснюється раціональний вибір різального та контрольно-вимірювального інструменту, що запобігає надлишковим витратам при дотриманні встановлених допусків.

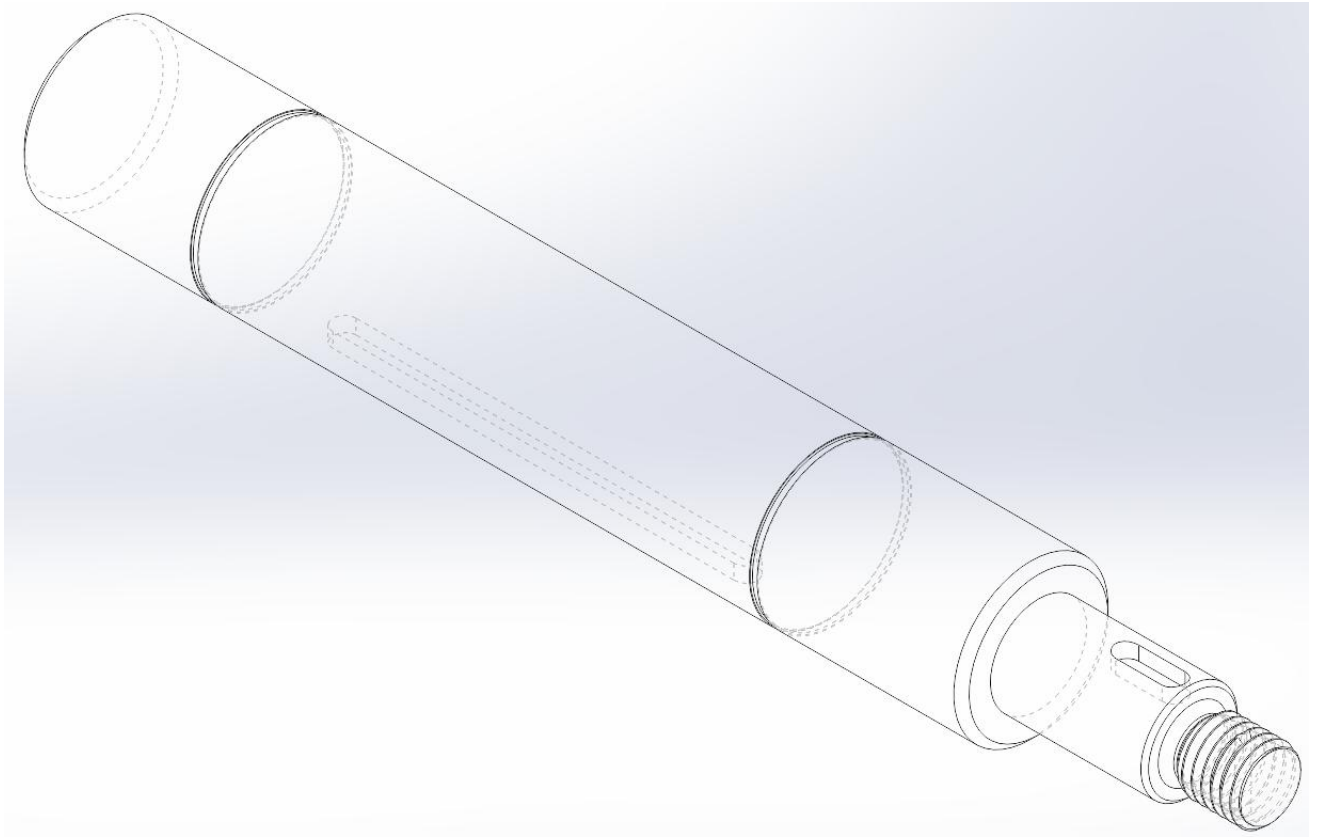


Рисунок 1.1 – 3D-модель вала

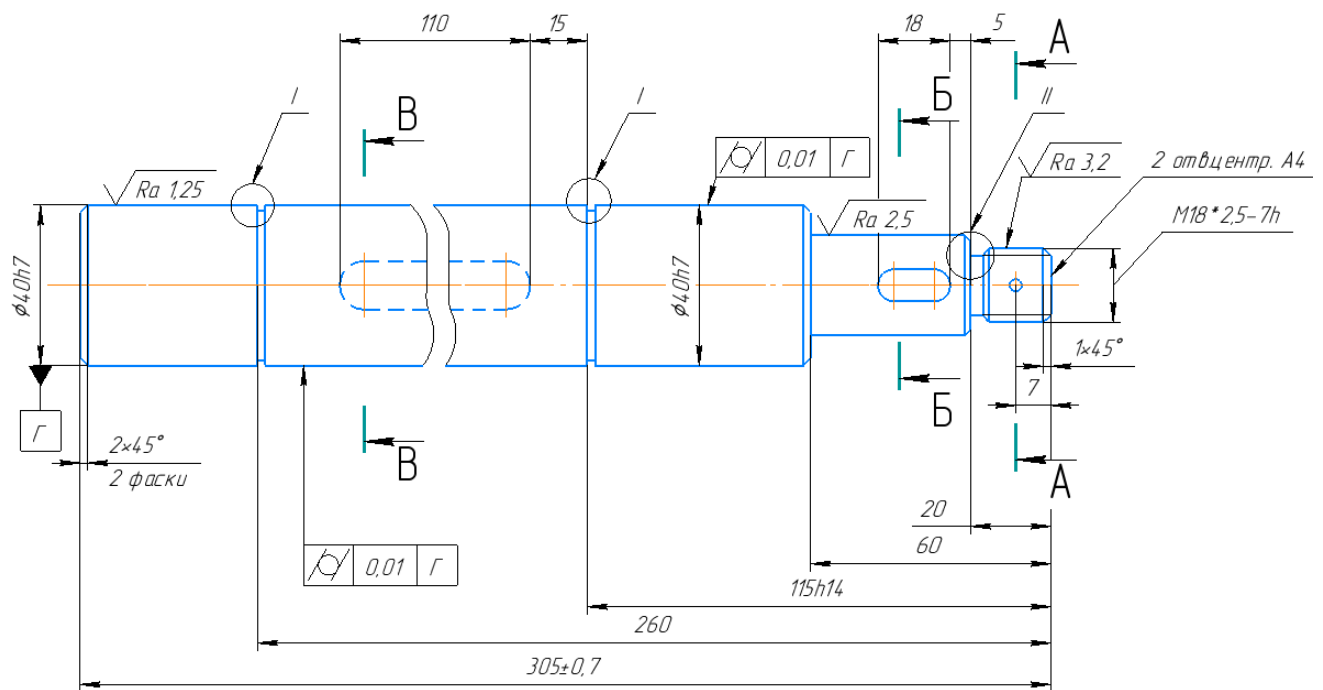


Рисунок 1.2 - Ескіз вала

Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата

КНУ.КБР.131.26.1-09.01.34

Аркуш

Таблиця 1.1 - Відомості про точність параметрів вала

Номер поверхні деталі	Назва поверхні	Розміри з відхиленнями	Квалітет точності	Шорсткість, R_a
1,2	торець	305±0,1	±IT14/2	6,3
3	циліндрична	Ø 40	d8	1,25
4	циліндрична	Ø25±0,23	d10	2,5
5,6	фаска	2*45	d8	1,25
7	фаска	1,5*45	d8	1.25
8,9	проточка	Ø 39	h12	2,5
10	циліндрична	Ø 18	h10	3,2
11,12	фаска	1*45	h12	2.5
13	циліндрична	Ø 15	h12	2.5
14	циліндрична	Ø 3	h12	6.3
15	різьба	M18	h9	6.3
16	паз шпонковий	36	h9	2,5
17	паз шпонковий	21	h9	2,5

1.3 Характеристика матеріалів деталей

Вал виготовлений зі сталі 40Х ДСТУ 7806:2015. Хімічний склад і властивості матеріалу наведені в таблиці 1.2.

Сталь 40Х за ДСТУ 7806:2015 є оптимальним вибором для виготовлення валів завдяки високим показникам прокатовності та здатності до зміцнення шляхом термічної обробки (покращення або гартування ТВЧ). Наявність хрому у складі забезпечує стабільність механічних властивостей по всьому перерізу деталі, підвищуючи межу витривалості та опір втомному руйнуванню при циклічних навантаженнях. Дана марка сталі характеризується задовільною оброблюваністю різанням у нормалізованому стані, що дозволяє досягати високих параметрів точності та низької шорсткості поверхонь при фінішних операціях.

Таблиця 1.2 - Хімічний склад та механічні властивості вала

Марка матеріалу	Хімічний склад, %	Механічні властивості
Сталь 40	0,37...0,45 C, 0,17...0,37 St, 0,5...0,8 Mn	$\sigma_B=1580$ МПа, HB 1870 $\delta=19\%$ $\sigma_{0,1}=400-600$ МПа,
Сталь 40Х	0,4 C, 0,65 Mn, 0,8-1,1Cr	$\sigma_B=100$ МПа, HB 1870 $\delta=10\%$, $\sigma_{0,2}=800$ МПа, $\psi=45\%$, KCU=0,60 МДж/м2

1.4 Вибір режиму роботи цеху

Визначення режиму роботи цеху є необхідним для розрахунку дійсного річного фонду часу роботи обладнання та чисельності виробничого персоналу. Даний етап дозволяє встановити кількість змін, тривалість робочого тижня та графік технічного обслуговування верстатів, що безпосередньо впливає на пропускну здатність дільниці. На основі обраного режиму здійснюється розрахунок необхідної кількості одиниць основного обладнання для забезпечення заданої програми випуску валів у встановлені терміни.

Ефективний річний фонд часу роботи одного верстата при п'ятиденному робочому тижні розраховується за формулою:

$$F_{\text{д.в.}} = [(365 - N_{\text{в.д.}} - N_{\text{с.д.}}) \cdot 8 - N_{\text{н.с.д.}} \cdot 1] \cdot z \cdot k_p, \quad (1.1)$$

де $N_{\text{в.д.}}=104$ – кількість вихідних днів; $N_{\text{с.д.}}=8$ – кількість святкових днів; $N_{\text{п.с.д.}}=5$ – кількість передсвяткових днів; $z=2$ – кількість змін роботи верстата; $k_p=0,95\dots 0,97$ – коефіцієнт часу перебування верстата в ремонті.

Після підстановки значень у формулу 1.4.1 отримаємо:

$$F_{\text{д.в.}} = [(365 - 104 - 8) \cdot 8 - 5 \cdot 1] \cdot 2 \cdot 0.95 = 3836 \text{ год.}$$

Приймаємо $F_{\text{в.д.}}=3840 \text{ год.}$

Ефективний річний фонд часу роботи верстатника розраховується за формулою:

$$F_{\text{д.в.}} = [(365 - N_{\text{в.д.}} - N_{\text{с.д.}}) \cdot 8 - N_{\text{н.с.д.}} \cdot 1] \cdot k_n, \quad (1.2)$$

де k_n – коефіцієнт, який ураховує використання фонду часу через неявку на роботу:

$$k_n = \frac{100 - C_n}{100} = \frac{100 - 10}{100} = 0,9,$$

де $C_n=9\dots 12\%$ (відпустки - 5%; захворювання - 2%; державні і суспільні обов'язки – 0,5%; учнівські відпустки - 1%; перерви матерів для годування дітей – 0,5%). В розрахунках приймаємо $C_n=10\%$.

Після підстановки значень у формулу 1.4.2 отримаємо:

$$F_{\text{д.в.}} = [(365 - 104 - 8) \cdot 8 - 5 \cdot 1] \cdot 0.9 = 1817 \text{ год.}$$

Приймаємо $F_{\text{в.д.}}=1820 \text{ год.}$

Відомості про режими роботи цеху подані у таблиці 1.3

					КНУ.КБР.131.26.1-09.01.34	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Таблиця 1.3 – Дійсний фонд часу

Назва	Змінність праці	Номінальний річний фонд часу, год.	Коефіцієнт простою обладнання в ремонті	Тривалість відпустки	Дійсні річні фонди часу, год.
Обладнання	2	4040	0,95	-	3840
Автоматичні лінії	-	-	-	-	-
Робочі місця	2	4040	-	-	4040
Робітника	1	2020	-	24	1820

1.5 Характеристика виробничої програми та визначення типу виробництва

Серійне виробництво характеризується періодичним виготовленням обмеженої номенклатури виробів партіями та широкою спеціалізацією робочих місць. Для забезпечення високої продуктивності використовується комбінація універсального, спеціалізованого та спеціального обладнання, а також швидкодіюче переналагоджуване оснащення і спеціалізований інструмент.

У межах даного типу виробництва кожна операція підлягає детальному розчленуванню на установи, позиції та переходи з чітким нормуванням припусків і режимів різання. Технологічний процес регламентується відповідною документацією у формі карт, схем та інструкцій, що є обов'язковими для виконання.

Залежно від обсягів випуску, складності виробів та частоти повторюваності замовлень, виробництво умовно поділяють на дрібно-, середньо- та крупносерійне. Класифікація є специфічною для кожної галузі машинобудування, оскільки трудомісткість однакової кількості одиниць продукції може суттєво різнитися залежно від їхніх габаритів.

Організація технологічних процесів визначається послідовністю операцій, розташуванням верстатів та логістикою переміщення заготовок, поділяючись на потокову та групову форми. Потокова форма передбачає закріплення за робочим місцем конкретної операції, ритмічність виконання згідно з тактом випуску та лінійне розміщення обладнання за ходом техпроцесу.

Групову форму базується на об'єднанні виробів за конструктивно-технологічною подібністю, що дозволяє використовувати єдине оснащення для обробки групи різних деталей на спеціалізованих дільницях. Такий підхід забезпечує гнучкість виробничої системи при збереженні високої ефективності використання засобів праці.

Економічна перевага серійного виробництва над одиничним полягає у вищому коефіцієнті завантаження обладнання та вузькій спеціалізації персоналу, що веде до зростання продуктивності та зниження собівартості. Проектування механічних цехів безпосередньо залежить від обраного типу виробництва, структури технологічного процесу та необхідного парку обладнання.

					КНУ.КБР.131.26.1-09.01.34	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

При встановленні стабільної потреби ринку, наприклад 830 одиниць на рік, програма запуску на поточкових лініях фіксується на тривалий термін. Обґрунтування річної виробничої програми є базовим етапом для розрахунку необхідних площ цеху та потужностей поточкових ліній. Визначаємо програму запуску виробів:

$$N_{зан} = (N_{вип} + N_{зч}) \cdot (1 + k_{бр}), \quad (1.3)$$

де $N_{вип}$ – річна програма випуску виробів, тис. од; $N_{зч}$ – кількість виробів, які йдуть на запчастини, приймаємо рівною 3-5% від програми випуску, тис. од; $k_{бр}$ – коефіцієнт, який ураховує технологічні витрати, що неможливо уникнути; приймаємо рівним 2-3% від сумарної кількості виробів, які формують програму випуску та які йдуть на запчастини.

$$N_{зан} = (3000 + 0,04 \cdot 3000) \cdot (1 + 0,025) = 3200 \text{ од.}$$

Максимальна маса оброблюваних заготовок деталей двигуна не перевищує 200 кг, тому визначаємо тип виробництва – середньосерійний.

					КНУ.КБР.131.26.1-09.01.34	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Аналіз технологічності складального вузла й деталей

2.1.1 Аналіз технологічності вузла

Конструкція масляного насоса дизеля є нескладною, незважаючи на велику кількість складальних одиниць. У даному виробі застосовується велика кількість стандартних виробів (болти, гайки, шайби), але основна маса деталей виготовлена безпосередньо для даного насоса. Конструкція не дозволяє проводити складання без особливих зусиль, деякі підвузли потрібно складати поза корпусом. Точність деталей, практично виключає підгінні операції. При проведенні поточних технічних оглядів та ремонтів насос легко збирається.

Точність виконання основних функціональних поверхонь забезпечує нормальне функціонування вузла.

Базові поверхні складальних одиниць, якими вони будуть установлюватися у вузол, оброблені достатньо точно, з точки зору точності та визначеності базування. Будова насоса не дає змогу проводити його складання без проміжних складань і розбирань складових частин. Регулювання та контроль роботи також проводиться без розбирання. Складові частини мають таку конструкцію, що забезпечує задану точність розташування їх у вузлі.

Змащування здійснюється разом при виконанні свого функціонального призначення.

Загалом конструкцію масляного насоса дизеля K6S610DR можна вважати технологічною і придатною для виготовлення та експлуатації відповідно до технічних вимог.

2.1.2 Аналіз технологічності вала

У процесі аналізу креслення деталі мною було виявлено, що деталь практично повністю відпрацьована на технологічність для серійного типу виробництва, бо затрати на налагодження верстатів будуть порівняно невеликі з економією матеріалу і часу.

Аналіз технологічності конструкції вала проводиться для оцінки можливості виготовлення деталі з мінімальними витратами праці, матеріалів та часу при повному забезпеченні заданих технічних вимог. У процесі аналізу виявляється доцільність використання стандартних конструктивних елементів, уніфікованого інструменту та раціональних методів отримання заготовок. Оцінка дозволяє оптимізувати конфігурацію деталі для вільного доступу інструменту до поверхонь обробки та спрощення схем базування на верстатах. Результатом етапу є зниження собівартості виробництва за рахунок виключення трудомістких операцій та

					<i>КНУ.КБР.131.26.1-09.02.ТЧ</i>			
<i>Змін.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ Документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разроб.</i>		<i>Сінягін</i>						
<i>Перебір.</i>		<i>Бондар</i>						
<i>Н. контр.</i>		<i>Нечаєв</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Рязанцев</i>						

<i>Технологічна частина</i>			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
			<i>Кафедра ТМ гр. ПМ-23ск</i>		

підвищення коефіцієнта використання матеріалу. Повні результати аналізу на технологічність наведені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Аналіз технологічності вала

№ п/п	Показники вимог до технологічності	Висновки по показникам
1	2	3
1	Ступінчасті вали повинні мати невеликі перепади, а довжини ступенів повинні бути однаковими або кратними для можливості обробки деталі на багаторізцевих верстатах	Оскільки вал обробляється на багато різцевому верстаті, то дана умова нас повністю задовільняє
2	Вали повинні мати центрувальні отвори для базування при обробці і контролі	Центрувальні отвори існують, отже дана умова виконується
3	При наявності на валу шпонкової канавки розмір від дна канавки необхідно проставляти від нижнього краю циліндра при базуванні у призмі.	Оскільки обробка шпонкової канавки проводиться в призмі, то дана умова нас повністю задовільняє

2.2 Аналіз діючого технологічного процесу вала

Вал виготовляють з прокату $\varnothing 44 \times 308,16 \pm 0,7$.

В умовах серійного виробництва я пропоную використовувати верстати з ЧПК та пристрої спеціальної конструкції. Застосування прогресивного різального інструменту дозволяє підвищити швидкість різання, що значно зменшує штучний час виготовлення деталі, а відповідно і затрати енергії, інструменту тощо. Це також зменшує собівартість деталі.

2.3 Розроблення маршрутів виготовлення деталей

Таблиця 2.2 - Маршрут обробки вала для середньосерійного виробництва

Операція	Зміст переходів
1	2
Операція 005 Заготівельна	Відрізати заготовку, витримавши розмір $308,16 \pm 0,7$ мм.
Операція 010 Фрезерно-центрувальна	Встановити заготовку і зняти. Фрезерувати торці, витримавши розмір $305 \pm 0,7$ мм. Центрувати з двох сторін одночасно, витримавши розмір $\varnothing 8 \pm 0,1$ мм, $\varnothing 14$ мм, 15 мм.
Операція 015 Токарна	Встановити заготовку і зняти. Точити попередньо всю поверхню заготовки, витримавши розмір $\varnothing 40 \pm 0,28$ мм. Точити попередньо за 2 проходи пов. А, Б, витримавши розміри $\varnothing 25 \pm 0,23$ мм, 60 мм, 20 мм, $\varnothing 18 \pm 0,2$ мм, $1,5 \times 45^\circ$, $\pm 0,2$ мм. Точити витримавши розміри $10,05$ мм, 3 мм, 115 мм, 2 мм, 260 мм, 2 мм, $2 \times 45^\circ$, $1,5 \times 45^\circ$, $\varnothing 39 - 0.01$ мм, $\varnothing 15$ мм. Нарізати різьбу, витримавши розмір $M18 \times 2,5 - 6H$.
Операція 020 Свердлильно-фрезерна	Встановити заготовку і зняти. Свердлити наскрізний отвір, витримавши розмір 7 мм, $\varnothing 3$ мм. Операція виконується на радіально-свердлильному верстаті 2М55. Фрезерувати шпонковий паз, витримавши розміри 25 мм, $6js9$ мм, $21 - 0,02$ мм, 18 мм. Фрезерувати шпонковий паз, витримавши розміри 65 мм, $6js9$ мм, $36 - 0,12$ мм, 110 мм.

					КНУ.КБР.131.26.1-09.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 2.2

1	2
Операція 025 Термічна	Гартувати деталь HRC 42...45 в термopічі та ванні для гартування. Контроль твердості вала виконується приладом Роквела.
Операція 030 Шліфувальна	Встановити заготовку і зняти. Шліфувати одночасно, витримавши розмір Ø40мм
Операція 035 Контрольна	Контролювати співвісність та прямолінійність шпонкових пазів.

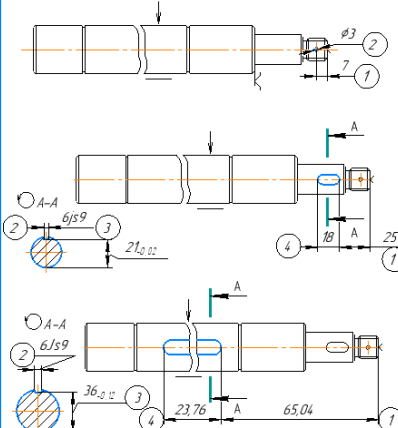
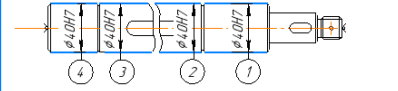
2.4 Розроблення структури та зміст технологічних операцій

Технологічні процеси виготовлення деталей розроблені на основі оптимізованих маршрутів обробки, які забезпечують послідовне досягнення заданих параметрів точності та якості для кожної поверхні.

Таблиця 2.3 - Розроблена структура та зміст технологічних операцій виготовлення вала для серійного виробництва

Номер і назва операції	Найменування, модель верстата, пристосування	Операційний ескіз	Номери і зміст переходів, установок	Різнальний інструмент	Вимірний інструмент
005 Заготівельна	Стрікавальний верстат RiChous ARG 260		1. Відрізати заготовку, витримавши розмір 1	1. Sandvik CoroMill Тримач N33132C-152T38CM, різець N3311A-043505E-M30 1230	1. Штангенциркуль ШЦ-III-500-0,1 ДСТУ EN ISO 13385-12018
010 Фрезерно-центрувальна	Фрезерно-центрувальний верстат моделі МР-71М		1. Встановити заготовку і зняти 2. Фрезерувати торці поб. витримавши розмір 1 3. Центрувати торці одночасно, витримавши розмір 2,3,4	1. Sandvik CoroTurn 107 Тримач SCLCR2020K12, різець CCMT120412-PR4425 2. CoroDrill 8601-0800-028A1-PM P18M	1. Штангенциркуль ШЦ-III-500-0,1 ДСТУ EN ISO 13385-12018
015 Токарна	Токарно-фрезерний обрайний центр з ЧПК HAAS ST-20Y		1. Встановити заготовку і зняти 2. Точити попередньо всю поверхню заготовки витримавши розмір 1 3. Точити попередньо за 2 проходи поверхні витримавши розміри 2,3,4,5 4. Точити начисто 5. Точити поверхні витримавши розміри 6,7,8,9 6. Точити поверхні витримавши розміри 12, 13, 14, 15 7. Точити поверхні витримавши розміри 16, 18 8. Нарізати різьбу поб. витримавши розмір 1	1. Sandvik CoroTurn 107 Тримач SCLCR2020K12, різець CCMT120412-PR4425 2. Sandvik CoroTurn 107 Тримач SCLCR2020K12, різець CCMT120412-PR4425 3. Sandvik CoroCut 3 Тримач RF123T06-10108M, різець N123T3-0300-RS1125 4. Sandvik CoroThread Тримач 266RF6-2525-22, різець 266RG-22MM02A250E, 5322-379-13	1. Штангенциркуль ШЦ-III-500-0,1 ДСТУ EN ISO 13385-12018 2. Калібр М18х2,5 згідно стандарту

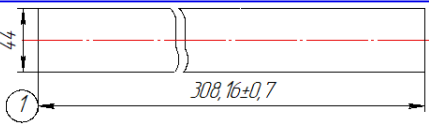
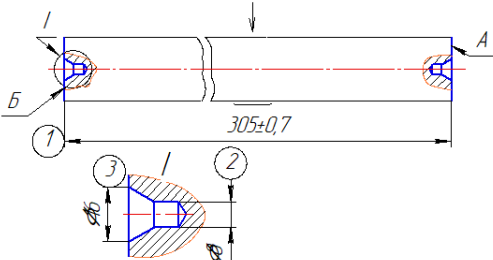
Продовження таблиці 2.3

020 Свердильно-фрезерна	Вертикально-фрезерний обрабний центр з ЧПК HAAS VF-2/3		1. Встановити заготовку і зняти 2. Свердлити отвір, витримавши розміри 1, 2 3. Фрезерувати шпоночковий паз, витримавши розміри 1, 2, 3, 4 4. Фрезерувати шпоночковий паз, витримавши розміри 1, 2, 3, 4	1. Sandvik CoroDrill 8601-0300-021A1-PM P18M 2. Sandvik CoroMill Dura K313-0580-XA 1730 3. Sandvik CoroMill Dura K313-0580-XA 1730	1. Пробка #8 згідно стандарту 2. Штангенциркуль ШЦ-III-125-0,1 ДСТУ EN ISO 13385-12018 3. Штангенциркуль ШЦ-II-125-0,1 ДСТУ EN ISO 13385-12018
025 Термічна	ПН Nabertherm N 70/H		1. Нагрів до 840-860°C і витримка 40-60 хв. 2. Охолоджувати в олії (t олії 50-80°C) 3. Відпуск 380-420°C, 1,5-2 год, олія 4. Контроль твердості 45 HRC		1. Твердомір Wilson RH250 ДСТУ ISO 6508-12013
030 Шліфувальна	Круглошліфувальний верстат з ЧПК Palmory PCO-3260		1. Встановити заготовку і зняти 2. Шліфувати поверхні одночасно, витримавши розміри 1, 2, 3, 4	1. Круг шліфувальний Norton Quantum 1 - 405x50x127 38A 60 K V	1. Скоба 40Н7 згідно стандарту
035 Контрольна			1. Контролювати співвідношення шпоночків пазів 2. Контролювати пряجلінійність шпоночків пазів		1. Індикатор годинникового типу ИЧ-10 0,01 згідно стандарту

Впроваджена стратегія базується на максимальній концентрації операцій на сучасному обладнанні з ЧПК, що дозволяє значно скоротити виробничий цикл за рахунок зменшення кількості переустановок заготовки. Застосування високопродуктивного інструменту у поєднанні з прецизійним шліфуванням гарантує стабільне дотримання жорстких допусків та високу якість поверхневого шару металу. Такий підхід забезпечує гнучкість виробництва, дозволяючи оперативно переходити від виготовлення одиничних замовлень до стабільної реалізації середньосерійних партій з ідентичними характеристиками точності.

Деталізовані параметри технологічних процесів (базового і розробленого) представлені у таблицях.

Таблиця 2.4 - Базова структура та зміст технологічних операцій виготовлення вала для серійного виробництва

Номер і назва операції	Найменування моделі верстата пристосування	Операційний ескіз	Номери і зміст переходів, установок
1	2	3	4
005 Заготівельна	Фрезерно-відрізний з дисковою фрезой 8672		1. Відрізати заготовку, витримавши розмір 1
010 Фрезерно-центрувальна	Фрезерно-центрувальний верстат моделі МР-7М		1. Встановити заготовку і зняти 2. Фрезерувати торці пов. А, Б, витримавши розмір 1 3. Центрувати торці пов. А, Б одночасно, витримавши розмір 2,3,4

Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4
015 Токарна	Токарний-дагаторіз- цевий верстат моделі 1711 Передній центр з риф- леною поверхнею Задній обертаючийся центр		1. Встановити заготовку і зняти 2. Точити попередню всю поверхню заго- товки, витримавши розмір 1 3. Точити попередню за 2 проходи пов. А, Б, витримавши розміри 2,3,4,5 4. Точити начисто пов. А, Б, В 5. Точити пов. Г, Д, Е, витримавши розміри 6,7,8,9 10,11, 17, 19 9. Точити пов. Е, Ж, З, К, витримавши розміри 12, 13,14,15 10. Точити пов. И,Л, витримавши розміри 16,18
020 Токарна	Токарно-звинторізний верстат моделі 16K20 Патрон самоцентрую- щий		1. Встановити заготовку і зняти 2. Нарізати різьбу пов. А, витримавши розмір 1
025 Свердлильна	Радіально-свердиль- ний верстат моделі 2М55 Пристрій затискний		1. Встановити заготовку і зняти 2. Свердлити отвір, витримавши розміри 1, 2
030 Фрезерна	Шпонково-фрезерний верстат типу ДФ-96 Пристрій затискний		1. Встановити заготовку і зняти 2. Фрезерувати шпонковий паз, витримавши роз- міри 1, 2, 3, 4
035 Фрезерна	Шпонково-фрезерний верстат типу ДФ-96 Пристрій затискний		1. Встановити заготовку і зняти 2. Фрезерувати шпонковий паз, витримавши роз- міри 1, 2, 3, 4
040 Термообробка	Термопід Ванна для загарту- вання		1. Гартування HRC 55-60 2. Високий відпуск 3. Контроль твердості
045 Шліфувальна	Круглошліфувальний напідважмат типу 3А153		1. Встановити заготовку і зняти 2. Шліфувати пов. А, Б, В, Г одночасно, вит- римавши розміри 1, 2, 3, 4
050 Контрольна			1. Контролювати співвідношення шпонкових пазів 2. Контролювати прямоточність шпонкових пазів

2.5 Розрахунок похибки базування

Розрахунок похибки базування проводиться для кількісного аналізу відхилень, що виникають при встановленні вала через розбіжність між технологічними базами та його конструкторськими або вимірювальними орієнтирами. Це дослідження дає змогу об'єктивно оцінити, чи вписується сумарна похибка встановлення у межі жорстких допусків на лінійні розміри та параметри взаємного розташування поверхонь, зокрема співвісності та радіального биття.

Враховуючи специфіку обробки валів, особлива увага приділяється вибору між встановленням у центрах, що мінімізує похибку на операціях шліфування, та базуванням у патроні, яке вимагає врахування зазорів і похибок затискного пристрою. За результатами розрахунків підтверджується ефективність обраної схеми закріплення або приймається рішення про модернізацію оснастки, наприклад, перехід на використання плаваючих центрів чи точних поводкових патронів.

Такий превентивний аналіз є ключовим етапом технологічного планування, оскільки він гарантує дотримання геометричної точності відповідальних шийок вала та виключає появу невиправного браку під час фінішних операцій.

Таблиця 2.5- Припуски та допуски на поверхні вала

№ пов.	Найменування поверхні	Найменування переходу	Припуск, мм	Квалітет	Технологічний допуск
1	2	3	4	5	6
1,2	Торець 305±0,52	Фрезерування торців	0,52	12	0,52
3	Циліндрична Ø40±0,28	Обточування попереднє	0,28	12	0,26
		Обточування чистове	0,15	10	0,11
		Шліфування одноразове	0,5	8	0,39
4	Циліндрична Ø25±0,23	Обточування попереднє	0,23	12	0,21
		Обточування чистове	0,1	10	0,09
5,6	Фаска 2×45°	Обточування одноразове	0,26	12	0,26
7	Фаска 1,5×45°	Обточування одноразове	0,21	12	0,26
8,9	Проточка Ø39	Обточування одноразове	0,26	12	0,26
10	Циліндрична Ø18	Обточування попереднє	0,2	12	0,18
		Обточування чистове	0,1	10	0,08

					КНУ.КБР.131.26.1-09.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 2.5

1	2	3	4	5	6
11,12	Фаска 1×45°	Обточування одноразове	0,18	12	0,18
13	Циліндрична Ø15	Обточування одноразове	0,18	12	0,18
14	Циліндрична Ø18	Свердління	0,1	12	0,1
15	Різьба M15	Нарізання різби різцем	0,08	4	0,08
16	Шпонковий Паз 36	Фрезерування одноразове	0,062	9	0,062
17	Шпонковий паз 21	Фрезерування одноразове	0,052	9	0,052

2.6 Вибір металорізальних верстатів

Використання токарно-фрезерного центру серії Y (з приводним інструментом) дозволяє повністю виключити спеціалізовані шпонково-фрезерні та фрезерно-центрувальні верстати, забезпечуючи ідеальну співвісність пазів та шийок вала. Верстати брендів HAAS та DOOSAN (DN Solutions) обрані як найбільш розповсюджені, що гарантує доступність сервісу, запчастин та програмістів (табл. 2.6).

Таблиця 2.6 - Металорізальні верстати для середньосерійного виробництва

Модель верстату	Розміри оброблюван их деталей, мм	Кількість швидкост ей	Частота обертання шпинделя, хв ⁻¹	Подача, мм/хв	Потужніс ть, кВт	Маса , т	Розміри, м
1	2	3	4	5	6	7	8
Pilous ARG 260	до Ø 260	2	35 / 70 (м/хв)	гідравлі чна	1.4	0.53	2.1 x 1.0 x 1.3
HAAS ST- 20Y	Ø до 293, L=572	безступін часто	0 – 4000	0.1 – 12000	14.9	4.10	3.3 x 2.3 x 2.1
HAAS VF-2	Стіл 914 x 356	безступін часто	0 – 8100	0.1 – 16500	22.4	3.50	2.5 x 2.3 x 2.5
Palmary PCD-3260	Ø до 320, L=600	безступін часто	0 – 1900	0.1 – 10000	7.5	3.80	3.4 x 2.2 x 1.8

2.7 Вибір різальних інструментів

Вибір цього інструментарію дозволяє максимально реалізувати динамічні можливості сучасних верстатів з ЧПК, забезпечуючи кратне підвищення продуктивності порівняно із застарілими аналогами за рахунок вищих швидкостей різання.

Використання змінних пластин CoroTurn та CoroThread з прецизійними покриттями гарантує стабільну точність розмірів і шорсткість поверхні без

					КНУ.КБР.131.26.1-09.02.ТЧ		Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата			

необхідності постійних підналадок та переточувань. Твердосплавні свердла CoroDrill та фрези CoroMill Dura мають високу жорсткість і спеціальну геометрію, що критично зменшує ризик виникнення вібрацій та забезпечує ідеальну якість обробки сталі 40X після термічного поліпшення. Сучасна керамічна зв'язка круга Norton Quantum виключає появу термічних припиків і мікротріщин на шліфованих поверхнях вала, що безпосередньо підвищує втомну міцність деталі.

Застосування такої високотехнологічної оснастки створює контрольовані та повторювані умови обробки.

Таблиця 2.7 - Різальний інструмент для обробки вала

номер		Найменування інструмента
Опер.	Поз.	
005	1	Sandvik CoroMill Тримач N331.32C- 152T38CM, різець N331.1A-043505E-M30 1230
010	1	Sandvik CoroTurn 107 Тримач SCLCR2020K12, різець CCMT120412-PR4425
	2	CoroDrill 860.1-0800-028A1-PM P1BM
015	1	Sandvik CoroTurn 107 Тримач SCLCR2020K12, різець CCMT120412-PR4425
	2	Sandvik CoroTurn 107 Тримач SCLCR2020K12, різець CCMT120412-PR4425
	3	Sandvik CoroCut 3 Тримач RF123T06-1010BM, Різець N123T3-0300-RS1125
	4	Sandvik CoroThread Тримач 266RFG-2525-22, Різець 266RG-22MM02A250E, 5322 379-13
020	1	Sandvik CoroDrill 860.1-0300-021A1-PM P1BM
	1	Sandvik CoroMill Dura 1K313-0580-XA 1730
	1	Sandvik CoroMill Dura 1K313-0580-XA 1730
030	1	Круг шліфувальний Norton Quantum 1 - 405x50x127 38A 60 K V

2.8 Вибір вимірювальних пристроїв та інструментів

Застосування цифрового твердоміра Wilson RH2150 забезпечує прецизійний контроль твердості на рівні 45 HRC з автоматизацією циклу навантаження, що критично важливо для верифікації результатів термообробки сталі 40X.

Використання штангенциркулів, сертифікованих за сучасним стандартом EN ISO 13385-1:2018, гарантує єдність вимірювань та високу лінійну точність при контролі габаритних розмірів вала.

					КНУ.КБР.131.26.1-09.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Спеціалізовані калібри-пробки та різьбові калібри M18x2,5 дозволяють здійснювати миттєву та безпомилкову перевірку взаємозамінності відповідальних з'єднань, виключаючи людський фактор при оцінці прохідності профілю.

Впровадження жорстких скоб для фінішних поверхонь після шліфування на верстаті Palmarу забезпечує контроль допусків IT6-IT7, які неможливо стабільно відстежити універсальним інструментом.

Такий комплекс вимірювальних засобів створює надійну базу для збору експериментальних даних.

Таблиця 2.8 - Вимірювальний інструмент та контрольні пристосування для контролю вала

Номер		Параметр деталі який контролюється	Найменування вимірювального інструменту
Опер.	Поз.		
1	2	3	4
005	1	L=308,16±0,7	Штангенциркуль ШЦ-III-500-0,1 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018
010	1	L=305±0,7	Штангенциркуль ШЦ-III-500-0,1 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018
	2	Ø8	--
015	1, 2	Ø40±0,28	Штангенциркуль ШЦ-III-500-0,1 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018
	3	L=20, L=60, Ø25±0,23, Ø18±0,2	
	4	L=20, L=60, Ø25±0,23, Ø18±0,2	
	5	L=10,5, L=115, L=260, L=3, L=2, Ø15, Ø39	
	6	2×45°, 1,5×45°	
	7	Ø39-0,01	
	8	M18×6H	Калібр M18x2,5 згідно стандарту
020	1,2	Ø3	Пробка згідно стандарту
	3	L=18, L=6js9	Штангенциркуль ШЦ-1-125-0,1 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018 Скоба згідно стандарту
	4	L=110, L=6js9	Штангенциркуль ШЦ-1-125-0,1 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018 Скоба згідно стандарту
025		Контроль твердості 45 HRC.	1. Твердомір Wilson RH2150 ДСТУ ISO 6508-1:2013
030	1	Ø40H7	Скоба згідно стандарту

2.9 Вибір верстатних пристроїв

Для виконання заготівельної операції на стрічковопильному верстаті Pilous ARG 260 застосовуються штатні гідравлічні лещата з рухомою губкою, які

					КНУ.КБР.131.26.1-09.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

доповнюються рольгангом для підтримки довгомірного прокату та регульованим упором для точного витримування довжини заготовки.

На фрезерно-центрувальній стадії на верстаті МР-71М використовуються спеціалізовані самоцентрувальні лещата з призматичними губками, що забезпечують автоматичне суміщення осі вала зі шпинделями для симетричної обробки торців та одностійності глибини центрових отворів.

Токарна обробка на HAAS ST-20Y базується на використанні поводкового центру у поєднанні з гідравлічною задньою бабкою, оснащеною обертовим центром із конусом Морзе №4. Така схема дозволяє виконати повну обробку всієї зовнішньої поверхні вала, включаючи чорнове та чистове точіння всіх ступенів і нарізання різьби, за один установ без потреби у перевстановленні деталі на 180 градусів.

Свердлильно-фрезерна операція на HAAS VF-2 реалізується за допомогою ділильної головки, яка виконує роль четвертої осі, де вал затискається в трикулачковий гідравлічний патрон Kitagawa B-208 із підтримкою - задньою бабкою, що дозволяє обробити шпонкові пази та отвори за один установ шляхом програмного повороту деталі.

Під час термічної обробки в печі Nabertherm N 70/H деталь розміщується на жароміцних підставках або у спеціальній підвісній оснастці для вертикального завантаження, після чого охолоджується в баку з маслом, обладнаному системою підігріву та циркуляції.

Фінішне шліфування на верстаті Palmary PCD-3260 вимагає встановлення вала в центрах за допомогою переднього центру, поводкового хомутика та гідравлічної задньої бабки з обертовим центром. Така схема є оптимальною для забезпечення жорсткого допуску співвісності шийок відносно єдиної бази центрових отворів.

Завершується технологічний процес на контрольній ділянці, де на повірочній плиті в прецизійних центрових бабках за допомогою індикаторної стійки ИЧ-10 проводиться фінальна перевірка радіального биття та точності розташування шпонкових пазів.

2.10 Розрахунок режимів різання

Таблиця 2.9 - Режими різання для обробки вала

Операція	Прохід	Швидкість різання V_c , м/хв	Подача, мм	Глибина різання, мм	Частота обертання n , об/хв	Потужність різання P_c , кВт	Крутний момент M_c , Нм	Машинний час, хв
1	2	3	4	5	6	7	8	9
005	1	315	0,132	6	659	8,19	118,65	0,348117
010	1	176	0,269	16	7010	4,14	5,64	0,0091
015	1	247	0,36	2,76	2050	6,56	30,6	0,0245
	2	247	0,36	2,76	2390	6,56	26,2	0,020983
	3	247	0,36	2,76	2870	6,56	21,8	0,017467
	4	247	0,36	2,76	3590	6,56	17,5	0,01395

					КНУ.КБР.131.26.1-09.02.ТЧ				Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата					

Продовження таблиці 2.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9
015	1	226	0,353	1,96	4000	4,34	10,4	0,012767
	1	247	0,36	1,96		4,8	25,6	0,014217
	1	266	0,3	2,62	2180	5,85	25,6	0,002183
	2	266	0,3	2,62	2520	5,85	22,1	0,052817
	3	266	0,3	2,62	2990	5,85	18,7	0,04455
	1	282	0,256	1,64	3590	3,64	9,69	0,043617
	1	266	0,3	1	2020	2,43	11,5	0,942933
	1	312	0,183	1	2480	2,11	8,11	
	1	156	0,08	2	1270	1,1	8,27	0,004967
	1	145	0,1	3	3080	1,76	5,46	0,005317
	1-7	95,4	2,5	1,87	1690			0,042333
020	1	180	0,13	18	19100	1,03	0,519	0,007467
	1	156	0,0259	3,9	8560	0,573	0,64	0,019583
	1	187	0,0207	4	10300	0,125	0,052	0,018083
	1	420	0,117	0,1	23000	0,0176	0,0164	0,005033
	1	156	0,0259	3,9	8560	0,573	0,64	0,019583
	1	187	0,0207	4	10300	0,125	0,052	0,15665
	1	420	0,117	0,1	23000	0,0176	0,0164	0,005467
Сума								1,831684

2.11 Технічне нормування операцій обробки

На основі часових даних, отриманих зі звітів Sandvik Coromant та зведених у фінальну технологічну таблицю 2.9, проведено розрахунок технічно обґрунтованих норм часу для виготовлення деталі. Розрахунок включає основний (машинний) час, допоміжний час (на встановлення, зняття та підвід інструменту), а також враховує час на обслуговування робочого місця та особисті потреби робітника (прийнято на рівні 8% від суми оперативного часу).

Результати вибору та розрахунку заносимо до таблиці 2.30

Таблиця 2.10 - Норми часу на обробку вала, хв (розроблений ТП)

Назва операції / Група переходів	Основний час Тосн, хв	Допоміжний час Тдоп, хв	Штучний час Тшт, хв
1	2	3	4
Токарна обробка ступеня Ø18 (чорнова та чистова)	0,0897	0,0074	0,1048
Токарна обробка ступеня Ø25 (чорнова та чистова)	0,1432	0,0088	0,1641
Токарна обробка ступеня Ø40 (чорнова та чистова)	0,9429	0,0168	1,0365
Нарізання різьби М18х2,5	0,0423	0,0118	0,0584
Фрезерування шліцьового та шпонкових пазів	0,5725	0,0026	0,6211
Свердління отворів Ø8 та Ø3	0,0166	0,0009	0,0189

					КНУ.КБР.131.26.1-09.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 2.10

1	2	3	4
Прорізання канавок R1 та R1,5	0,0103	0,0015	0,0127
РАЗОМ	1,8175	0,0498	2,0165

Сумарний основний час на виконання всіх механічних операцій становить приблизно 1,82 хвилини, що свідчить про високу ефективність обраного різального інструменту Sandvik та режимів різання. Допоміжний час на автоматизованому центрі HAAS ST-20Y мінімізований завдяки високій швидкості холостих ходів та складає близько 0,05 хвилини на виріб. Таким чином, повна норма штучного часу на виготовлення однієї деталі (без урахування підготовчо-заклучного часу) становить 2,02 хвилини. Це значення є базовим для розрахунку продуктивності ділянки та собівартості виробництва.

Таблиця 2.11 – Штучно-калькуляційний час на виготовлення вала

Номер та назва операції	Штучний час Тшт, хв	Доля ПЗ часу Тпз/3200, хв	Калькуляційний час Тшт-к, хв
005 Заготівельна	0,5	0,00375	0,5038
010 Фрезерно-центрувальна	1,2	0,00625	1,2063
015 Токарна з ЧПК	1,33	0,01406	1,3441
020 Свердлильно-фрезерна	0,64	0,01875	0,6588
030 Круглошліфувальна	1,5	0,01406	1,5141
035 Контрольна	2	0,00312	2,0031
Усього по деталі	7,17	0,06	7,23

Перерахунок показує, що при обсязі 3200 одиниць витрати на налагодження верстатів (192 хвилини на весь техпроцес) розподіляються на велику кількість деталей, внаслідок чого калькуляційна норма Тшт-к = 7,23 хв наближається до чистої штучної норми Тшт = 7,17 хв. Економічний ефект від масштабу виробництва дозволив знизити загальні часові витрати на одиницю продукції на 34% порівняно з партією у 50 штук, де норма складала 11,01 хв.

Основна економія досягається на токарній та свердлильно-фрезерній операціях на обладнанні HAAS, де складні переналагодження інструментальних систем та поворотної осі тепер практично не впливають на підсумкову трудомісткість виробу. Такий результат підтверджує доцільність використання високопродуктивного інструменту Sandvik Coromant саме для великих обсягів виробництва, оскільки висока швидкість різання VC та подача FN стають домінуючими факторами продуктивності, повністю перекриваючи витрати на підготовку виробництва.

У порівнянні з базовим ТП, що займав більше 19 хв, ми отримали виграш у часі на майже 12 хвилин.

					КНУ.КБР.131.26.1-09.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

2.12 Програмування операцій у САМ-системі

Траєкторії руху виконавчих органів верстата для токарної операції 015 були змодельовані в середовищі FutureCAM (рис. 2.1, 2.2), а згенерований текст керуючої програми представлений у Додатку А.

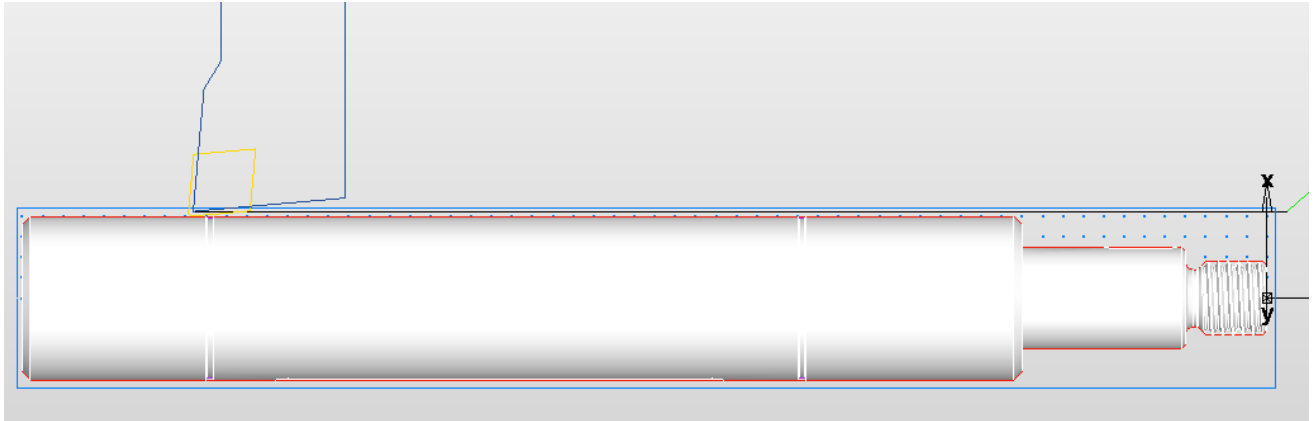


Рисунок 2.1 – Копія екрану програми FeatureCAM у проєкті 2D-симуляції токарної обробки операції 015

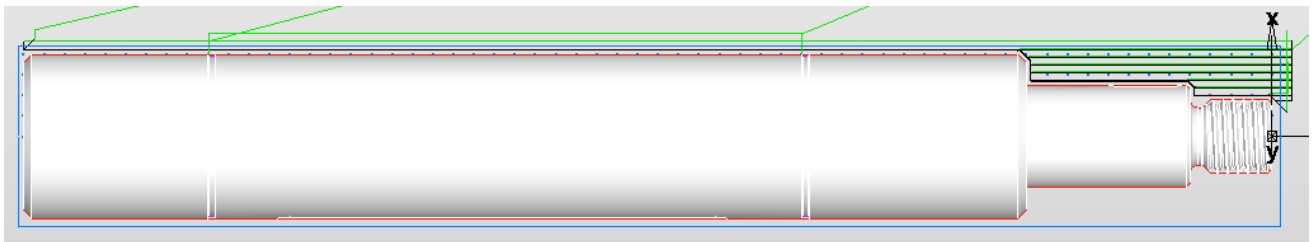


Рисунок 2.2 – Копія екрану програми FeatureCAM зі траєкторією точіння операції 015

					КНУ.КБР.131.26.1-09.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Визначення крутного моменту

Визначення крутного моменту є критичним кроком, оскільки саме він визначає контактні напруження в зачепленні.

Щоб знайти крутний момент M , нам спочатку потрібно обчислити корисну гідравлічну потужність насоса, а потім врахувати ККД.

Розрахунок крутного моменту на валу масляного насоса починається з визначення корисної гідравлічної потужності P_{hydr} . Для розрахунку використовуємо значення продуктивності $Q = 823$ л/хв та максимального робочого тиску $p = 0.6$ МПа (що відповідає 6 барам).

$$P_{hydr} = \frac{Q \cdot p}{600},$$

де P_{hydr} – потужність, кВт, Q – продуктивність, л/хв, p – тиск, бар.

$$P_{hydr} = \frac{823 \cdot 6}{600} = 8,23 \text{ кВт.}$$

Врахуємо ККД насосу:

$$P_{shaft} = \frac{P_{hydr}}{\eta} = \frac{8,23}{0,82} \approx 10 \text{ кВт.}$$

Для обчислення номінального крутного моменту врахуємо частоту обертання вала $n=1400$ об/хв:

$$M = 9550 \frac{P_{shaft}}{n} = 9550 \frac{10}{1400} \approx 68.2 \text{ Нм}$$

3.2 Дизайн випробування вала у SolidWorks Simulation

Для проведення чисельного аналізу напружено-деформованого стану вала в середовищі SolidWorks Simulation було необхідно максимально точно визначити фізико-механічні властивості конструкційного матеріалу. Оскільки стандартна бібліотека програми не містила повного набору параметрів для обраної марки сталі, у базі даних було створено новий користувацький матеріал «Сталь 40Х». При налаштуванні характеристик було введено ключові показники, такі як модуль

					<i>КНУ.КБР.131.26.1-09.03.КЧ</i>			
<i>Змін.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ Документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Конструкторська частина</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>	<i>Сінягін</i>							
<i>Перевір.</i>	<i>Бондар</i>							
<i>Н. Контр.</i>	<i>Нечаєв</i>					<i>Кафедра ТМ гр. ПМ-23ск</i>		
<i>Затверд.</i>	<i>Рязанцев</i>							

пружності, коефіцієнт Пуассона, границя текучості та густина матеріалу відповідно до параметрів, вказаних у технічній документації на заготовку. Це дозволило сформуванню адекватної скінченно-елементної моделі, яка достовірно відображає реальну поведінку вала редуктора під впливом складних експлуатаційних навантажень.

Properties Tables & Curves Appearance CrossHatch Custom Application Data Favorites Sheet

Свойства материала

Материалы в библиотеке по умолчанию не могут редактироваться. Необходимо скопировать материал в настроенную пользователем библиотеку и затем его отредактировать.

Тип модели: Linear Elastic Isotropic ☐ Сохранить тип в библиотеке

Единицы измерения: СИ - Н/м² (Па)

Категория: Сталь

Имя: 40X ☐ Включить эффект текучести

Критерий разрушения по умолчанию: Максимальное напряжение

Описание: -

Источник:

Sustainability: Undefined

Property	Value	Units
Модуль упругости	2.1e+11	Н/м ²
Коэффициент Пуассона	0.3	Н/А
Модуль сдвига	318900000	Н/м ²
Массовая плотность	1020	кг/м ³
Предел прочности при растяжении	980000000	Н/м ²
Предел прочности при сжатии		Н/м ²
Предел текучести	785000000	Н/м ²
Коэффициент теплового расширения	1.15e-05	/К
Теплопроводность	0.2256	Вт/(м·К)
Удельная теплоемкость	1386	Дж/(кг·К)

Рисунок 3.1 – Вікно створення та налаштування параметрів нового конструкторського матеріалу «Сталь 40Х» у базі даних SolidWorks Simulation

Для забезпечення адекватності скінченно-елементної моделі та достовірного відтворення кінематики роботи вузла граничні умови було сформовано з урахуванням реальних ступенів вільності вала в опорах. Моделювання опор кочення реалізовано шляхом призначення кріплення типу «На циліндричних гранях» (On Cylindrical Faces) на ділянках встановлення підшипників з обох боків від шпонкового паза довжиною 110 мм (рис. 3.2). Вибір цього типу обмежень обґрунтований можливістю блокування радіальних та осьових переміщень при збереженні вільного обертання вала навколо власної осі, що найточніше імітує фізичну поведінку опорних вузлів. Для моделювання реактивного опору з боку веденої шестерні на циліндричній поверхні під шпонку довжиною 18 мм було застосовано аналогічне кріплення, проте з повною фіксацією обертального руху. Навантаження системи для проведення нелінійного статичного дослідження здійснювалося шляхом прикладання крутного моменту величиною 2000 Нм

безпосередньо до робочої стінки шпонкового паза довжиною 110 мм, що дозволяє проаналізувати концентрацію напружень у зоні передачі максимального зусилля.

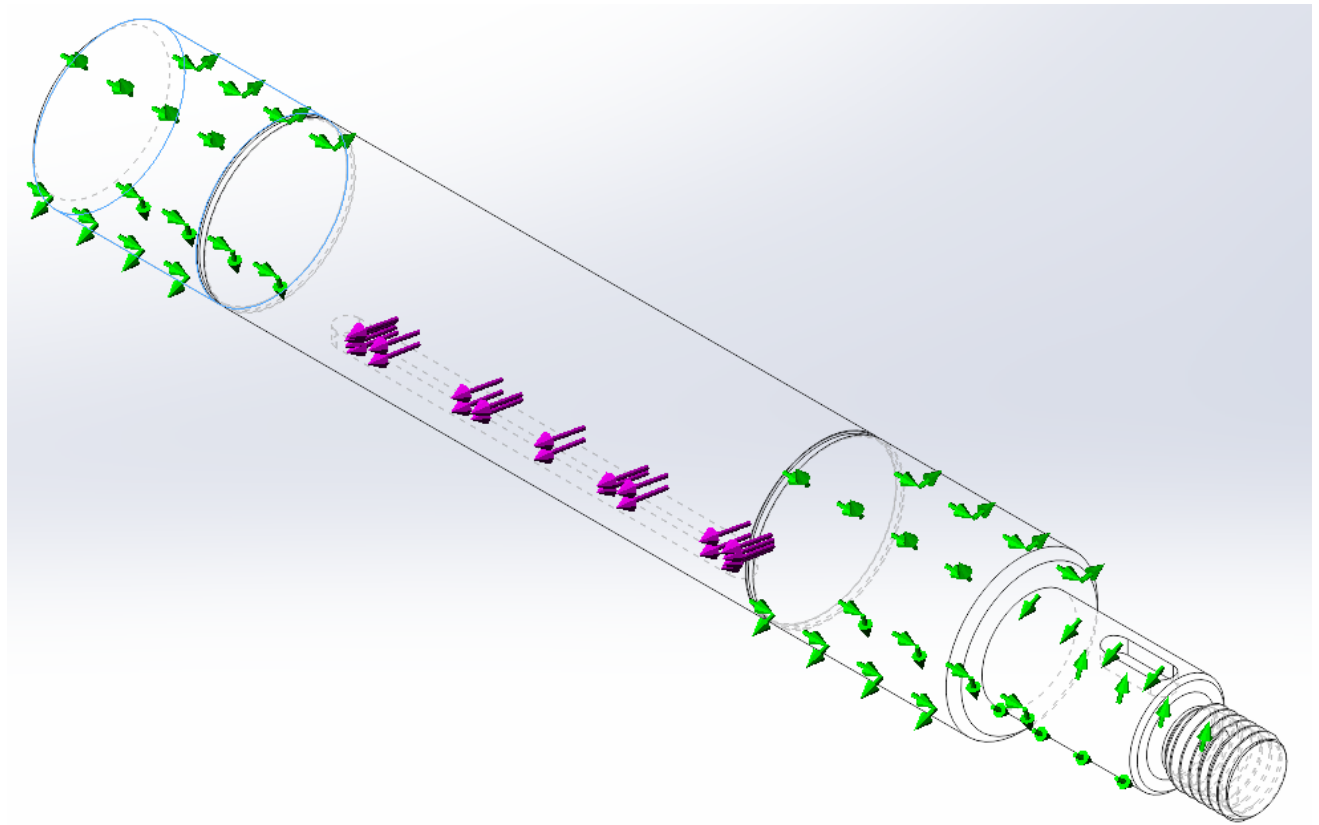


Рисунок 3.2 – Схема прикладання граничних умов та зовнішнього навантаження до розрахункової моделі вала в середовищі SolidWorks Simulation

Вибір нелінійного статичного аналізу для розрахунку вала зі сталі 40Х є технічно виправданим, оскільки він дозволяє врахувати реальну фізичну поведінку матеріалу при досягненні границі текучості. На відміну від лінійного підходу, який показує нескінченне зростання напружень пропорційно прикладеному моменту 2000 Нм, нелінійне дослідження достовірно імітує процес пластичної деформації та перерозподілу навантаження в критичних зонах концентрації, зокрема в кутах шпонкових пазів довжиною 110 мм та 18 мм. Це унеможливорює отримання фіктивних результатів із надвисокими напруженнями, які не відповідають реальним властивостям металу.

Окрім точності розрахунку пікових навантажень, нелінійний метод є єдиним способом обчислити залишкові деформації та напруження, що зберігаються в структурі вала після припинення дії моменту. Це дозволяє оцінити накопичені пошкодження та виявити приховані ризики руйнування, які ігноруються при простому статичному аналізі, що оперує лише пружними переміщеннями. Врахування геометричної нелінійності додатково підвищує якість моделі, оскільки програма перераховує жорсткість вузла на кожному кроці навантаження, забезпечуючи максимальну відповідність результатів реальним умовам роботи деталі під навантаженням.

					КНУ.КБР.131.26.1-09.03.КЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Для забезпечення високої точності розрахунків була побудована скінченно-елементна модель (рис. 3.3) на основі об'ємної сітки (Solid Mesh) з використанням адаптивного алгоритму розбиття на основі змішаної кривини (Blended curvature-based mesh). Висока щільність сітки, що налічує 126 794 вузли та 84 311 елементів, дозволяє детально описати геометрію вала та отримати достовірні результати в зонах значних градієнтів напружень. Висока якість розбиття підтверджується геометричними показниками, згідно з якими 95,9% елементів мають коефіцієнт форми (Aspect Ratio) менше 3, а для обчислень використано 16 точок Якобіана. Повна відсутність спотворених елементів (distorted elements) у створеній моделі гарантує чисельну стійкість та збіжність результатів під час проведення нелінійного статичного дослідження.

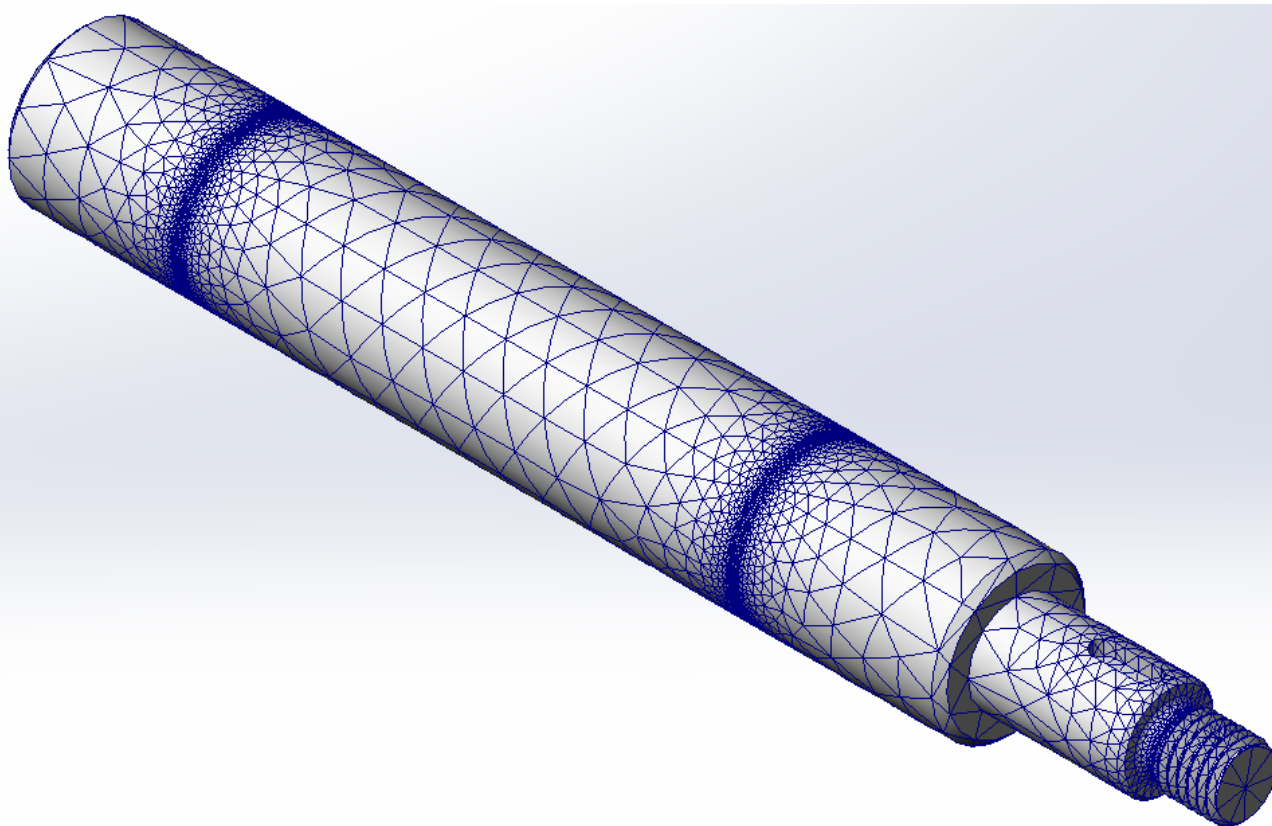


Рисунок 3.3 – Сітка для обчислень методом кінцевих елементів

3.3 Інтерпретація результатів отриманих у SolidWorks Simulation

Результати проведеного нелінійного аналізу дозволяють зробити детальні висновки щодо міцності та надійності вала масляного насоса. Використання значного перевантаження (2000 Нм) у порівнянні з номінальним моментом (70 Нм) дало змогу чітко визначити межу працездатності конструкції.

Аналіз результатів нелінійного статичного дослідження дозволяє стверджувати, що конструкція вала масляного насоса має значний експлуатаційний резерв міцності, оскільки при номінальному крутному моменті у 70 Нм теоретичний запас перевищує показник 15. Це підтверджується даними першого кроку навантаження у 100 Нм (рис. 3.4), де еквівалентні напруження за

					КНУ.КБР.131.26.1-09.03.КЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Мизесом становлять лише 71,3 МПа, що забезпечує коефіцієнт безпеки на рівні 11 відносно межі текучості сталі 40Х.

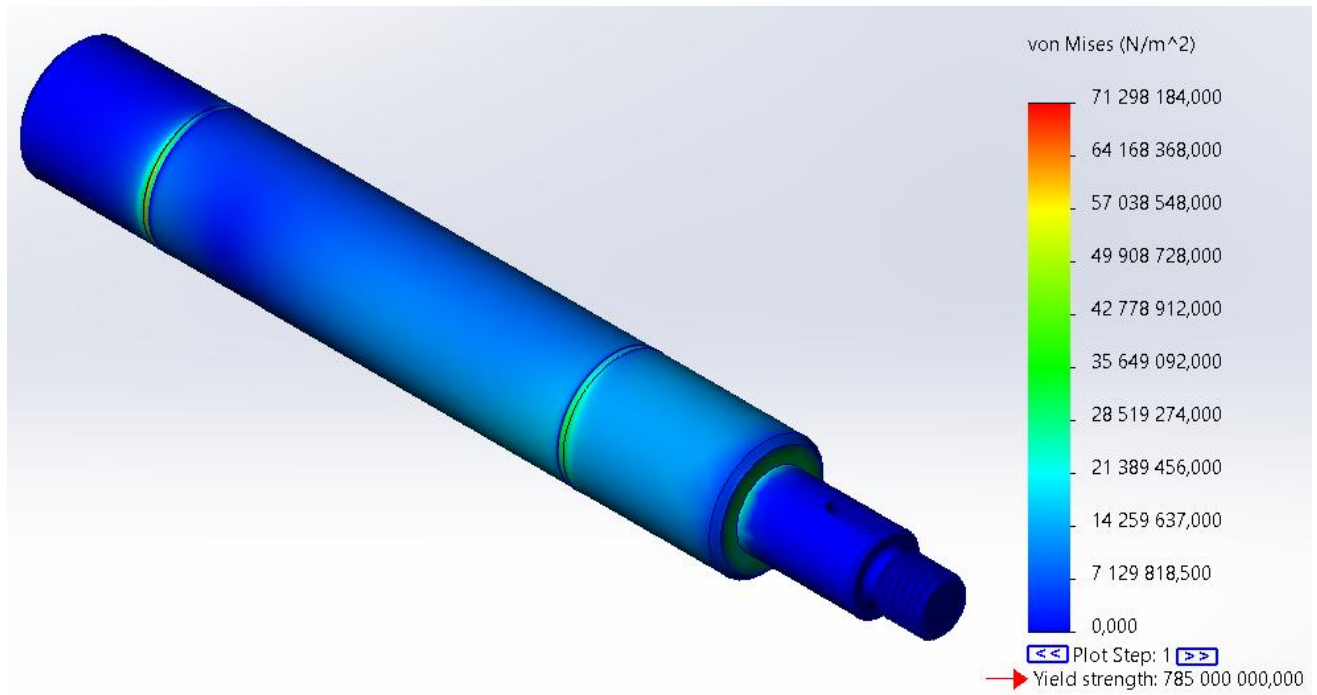


Рисунок 3.4 – Епюра внутрішніх напружень вала обчислених у нелінійному аналізі Simulation (крок 1)

Перехід матеріалу в пластичну область фіксується між десятим (рис. 3.5) та одинадцятим (рис. 3.6) кроками моделювання, коли при навантаженні близько 1100 Нм напруження досягають 786,8 МПа, офіційно перевищуючи встановлену межу у 785 МПа.

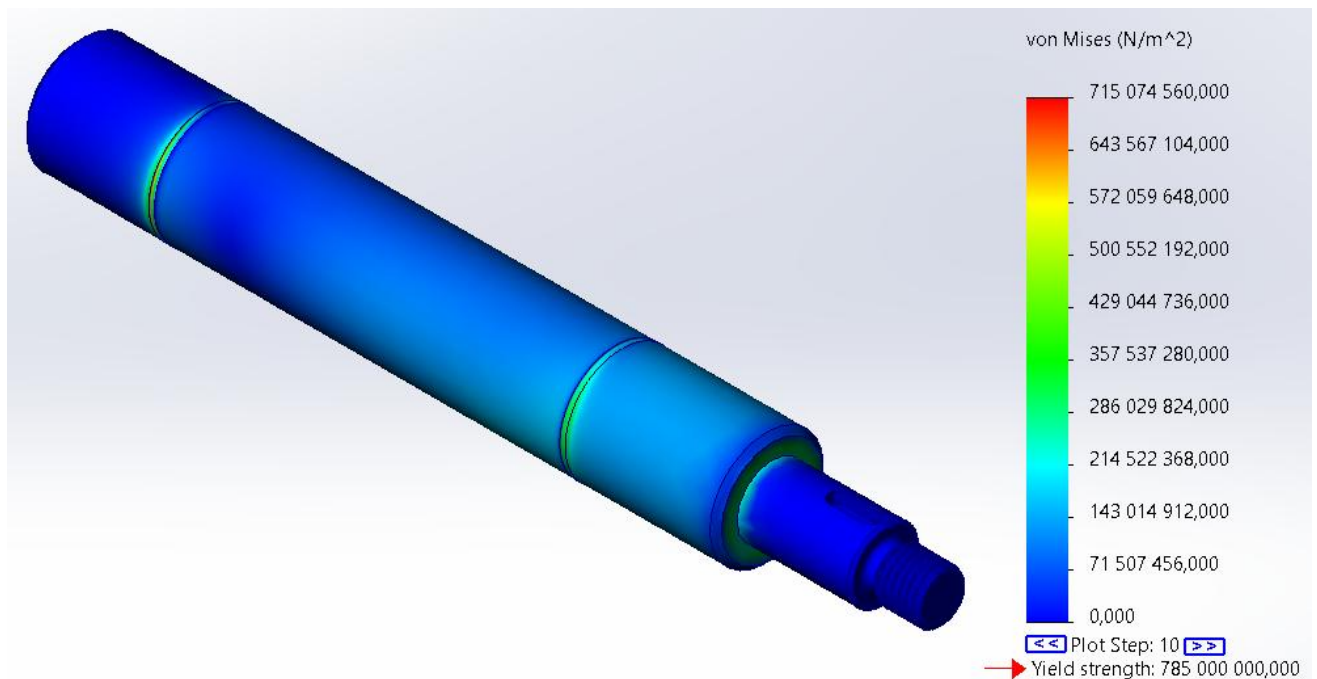


Рисунок 3.5 – Епюра внутрішніх напружень вала обчислених у нелінійному аналізі Simulation (крок 10)

					КНУ.КБР.131.26.1-09.03.КЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

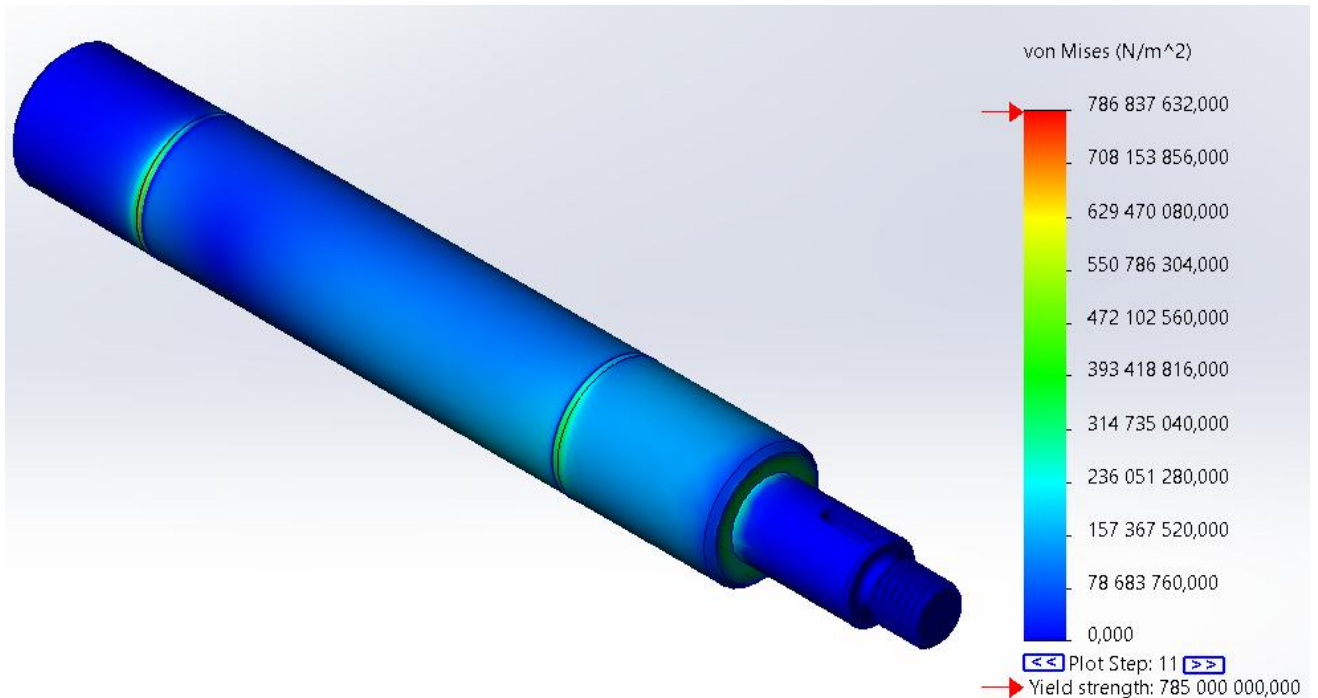


Рисунок 3.6 – Епюра внутрішніх напружень вала обчислених у нелінійному аналізі Simulation (крок 11)

Найбільша концентрація напружень спостерігається в зонах перехідних галтелей та на краях шпонкових пазів, де при максимальному експериментальному моменті 2000 Нм розрахункові значення сягають 1434 МПа. Такий розподіл навантаження свідчить про здатність вала витримувати короточасні пікові перевантаження, що у 14 разів перевищують робочу норму, без ризику миттєвого руйнування.

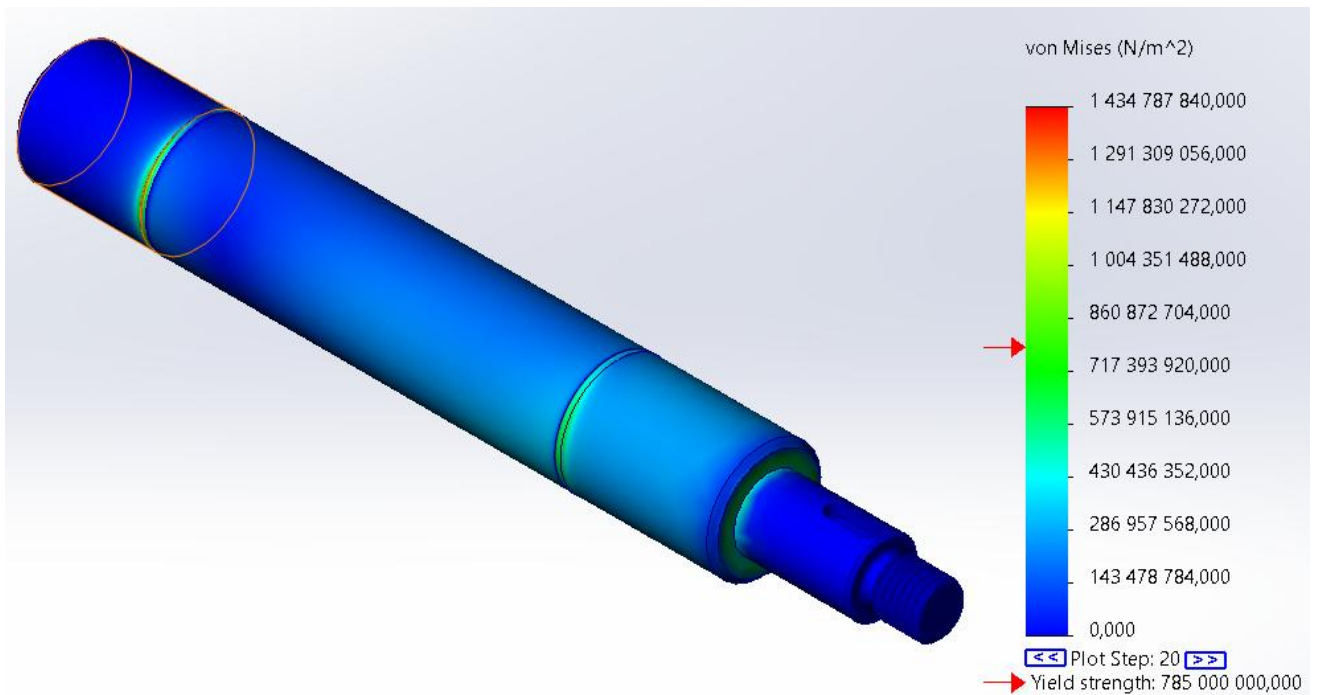


Рисунок 3.7 – Епюра внутрішніх напружень вала обчислених у нелінійному аналізі Simulation (крок 20)

					КНУ.КБР.131.26.1-09.03.КЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Отже, обрана геометрія та матеріал забезпечують виняткову надійність агрегату, що гарантує цілісність вузла навіть у критичних сценаріях, таких як заклинювання насоса, хоча для стандартних умов експлуатації конструкція є надлишково міцною (рис. 3.8).

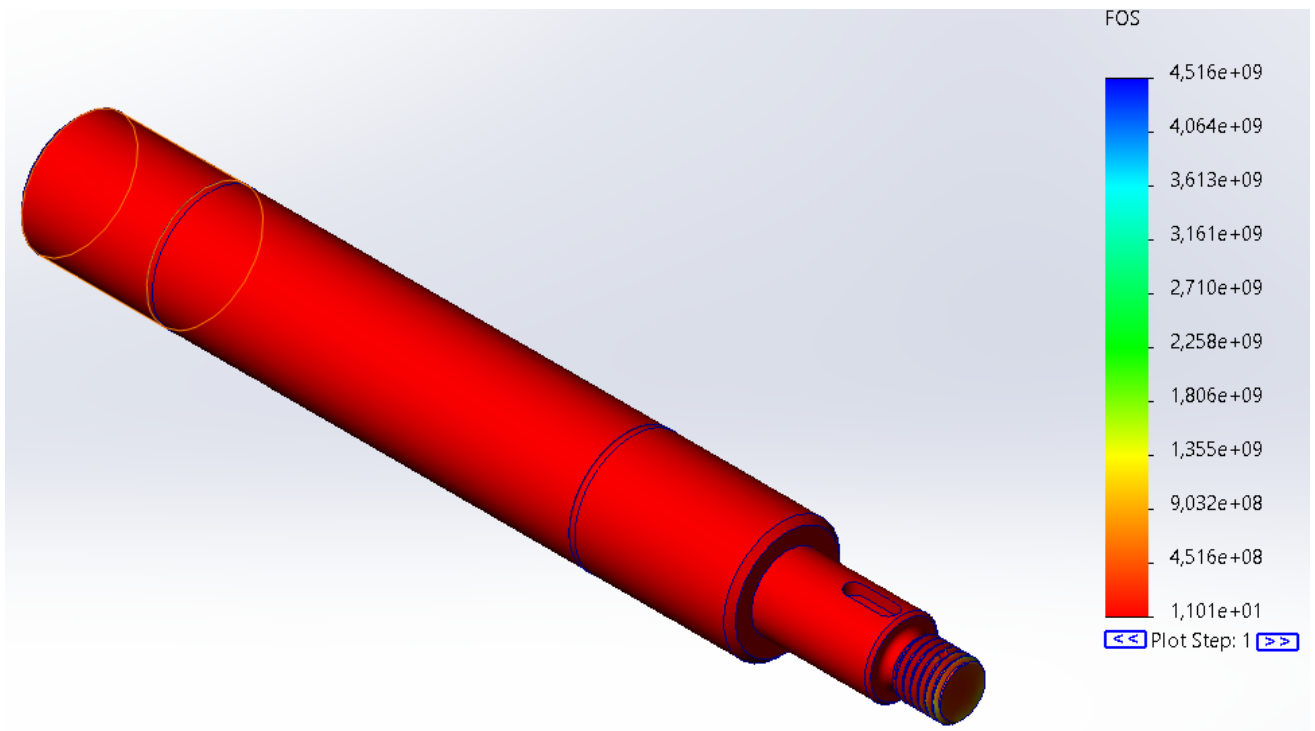


Рисунок 3.8 – Розподіл мінімального запасу міцності на кроці 1

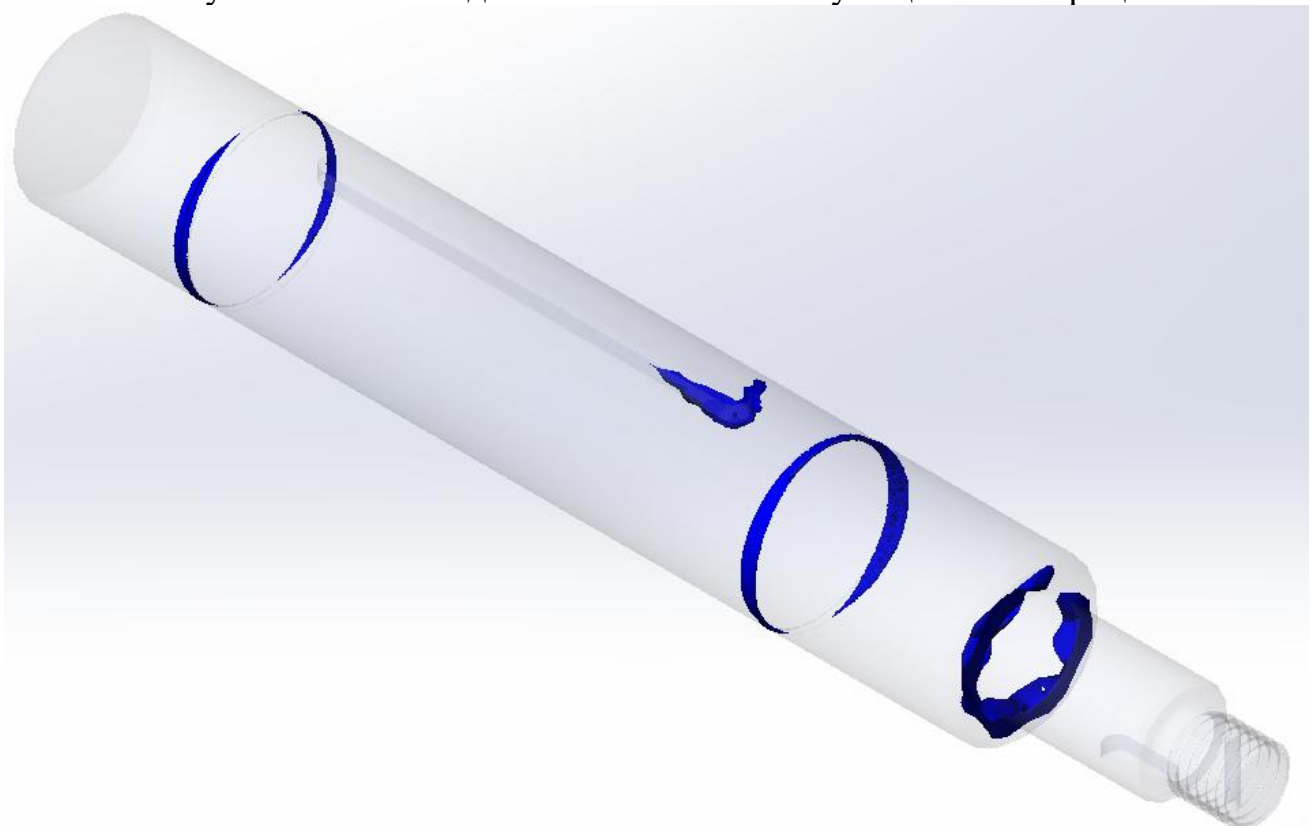


Рисунок 3.9 – Результати аналізу «Design Insight» щодо ідентифікації основних траєкторій передачі навантаження в конструкції вала

					КНУ.КБР.131.26.1-09.03.КЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

На рис. 3.9 видно, що центральна вісь вала прозора. Це і є візуальним доказом того, що серцевина не несе навантаження, і її можна видалити без втрати міцності. Тому можна дійти висновку, що видалення матеріалу з центральної частини вала (створення наскрізного осьового отвору) дозволяє суттєво зменшити вагу деталі (до 25–40%) при мінімальній втраті жорсткості. Це не потребує зміни розмірів підшипників чи шестерень, оскільки всі зовнішні посадкові діаметри залишаються незмінними.

Будь-яка різка зміна геометрії (гострий кут) діє як «концентратор», де напруження зростають у кілька разів порівняно з номінальним значенням. Галтель дозволяє «лініям напруження» плавно огинати перехід, уникаючи їхнього скупчення в одній точці. Оскільки використана сталь 40Х, яка після термообробки стає досить чутливою до концентраторів, відсутність скруглення між ступенями вала може призвести до швидкого втомного руйнування саме в місці зміни діаметрів. Тому друга рекомендація – створити скруглення 3 мм між ступенями вала Ø40 і Ø25 мм.

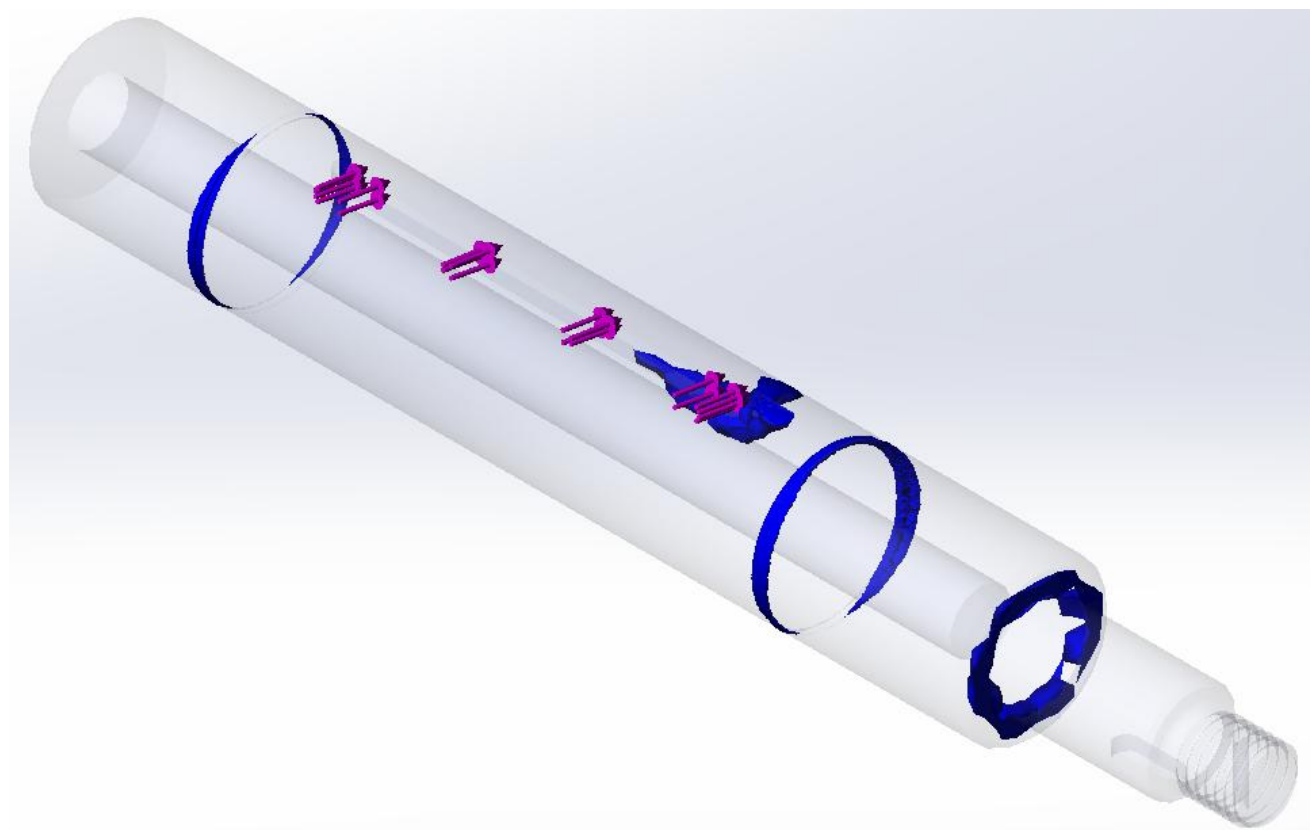


Рисунок 3.10 – Результати аналізу «Design Insight» щодо ідентифікації основних траєкторій передачі навантаження в змінній конструкції вала відповідно до рекомендації

Як видно із рис. 3.10 розподіл напружень не змінився у тілі вала за наявності отвору вздовж осі Ø16 мм і довжиною 230 мм.

Рис. 3.11 показує, що міцність вала залишається достатньою – запас міцності на першому кроці (момент 100 Нм) становить 11, за наявності циліндричного отвору всередині вздовж осі.

					КНУ.КБР.131.26.1-09.03.КЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

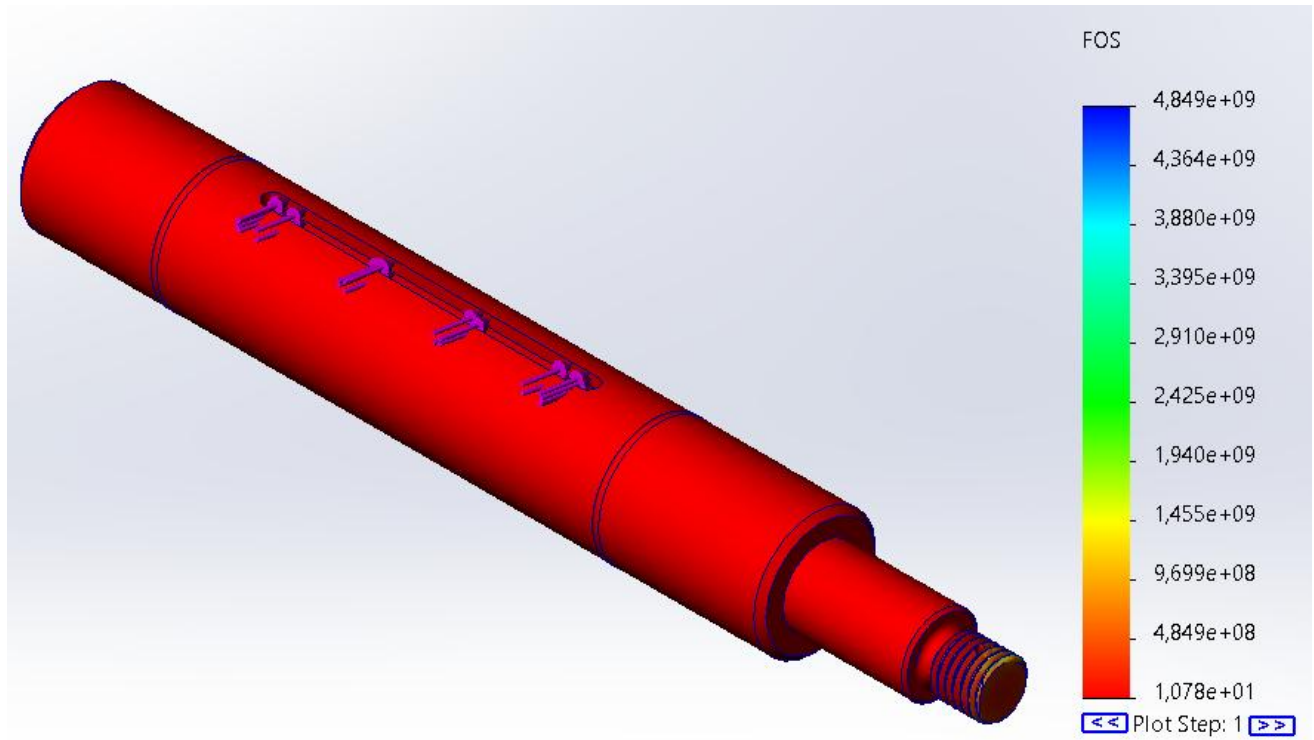


Рисунок 3.11 – Розподіл мінімального запасу міцності на кроці 1 в зміненій конструкції вала відповідно до рекомендації

					КНУ.КБР.131.26.1-09.03.КЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

4 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА

4.1 Охорона праці та екологія виробництва

4.1.1 Аналіз небезпечних виробничих факторів та заходи з охорони праці при виготовленні деталі

Умови праці на машинобудівних підприємствах характеризуються наявністю складного комплексу шкідливих та небезпечних виробничих факторів, які потребують постійного моніторингу та контролю. Основними групами загроз є:

Фізичні та механічні загрози: робота з металообробним обладнанням (верстати з ЧПК, преси, шліфувальні центри) створює постійний ризик травмування рухомими частинами механізмів, відлітаючою стружкою або заготовками. Крім того, на організм діють підвищені рівні шуму та вібрації, термічне випромінювання від нагрітого металу та небезпека ураження електричним струмом у разі пошкодження ізоляції систем живлення.

Хімічний вплив та токсичність: виробниче середовище часто містить випари мастильно-охолоджувальних рідин (МОР), антикорозійних масел, розчинників та компонентів лакофарбових покриттів. Проникнення цих речовин через шкіру або органи дихання може спричинити хронічні отруєння, алергічні реакції та специфічні ураження внутрішніх органів.

Аерозольне та пилове забруднення: механічна обробка металів, особливо операції шліфування та заточування, супроводжується виділенням у повітря робочої зони дрібнодисперсного пилу та аерозолів. Тривала експозиція до таких часток без належної вентиляції призводить до розвитку професійних захворювань дихальної системи.

Психофізіологічні навантаження: сучасне виробництво вимагає від робітника високої психоемоційної напруги, пов'язаної з необхідністю швидкого прийняття рішень, монотонністю операцій при серійному випуску та роботою в багатозмінному графіку. Подібні фактори спричиняють накопичення втоми, зниження швидкості реакції та, як наслідок, підвищують імовірність помилкових дій.

Біологічні ризики: у системах рециркуляції МОР, де підтримується сприятлива температура, можливе активне розмноження бактерій та грибків. Це створює загрозу інфекційних захворювань персоналу, що безпосередньо контактує з рідиною або вдихає її дрібні краплі під час обробки.

Ефективна мінімізація цих ризиків забезпечується впровадженням системного підходу до охорони праці, що включає обов'язкове використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ), автоматизацію найбільш небезпечних ділянок, регулярну перевірку систем безпеки та систематичне навчання персоналу правилам безпечної експлуатації обладнання.

					КНУ.КБР.131.26.1-09.04.0ЕПВ									
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата										
Разроб.		Сінягін			Організаційно-економічна підготовка виробництва				Літ.		Арк.	Аркушів		
Перевір.		Бондар												
Н. Контр.		Нечаєв												
Затверд.		Рязанцев			Кафедра ТМ гр. ПМ-23ск									

4.1.2 Заходи для мінімізації ризиків отримання травм

Мінімізація виробничих небезпек вимагає комплексного підходу, де технічні рішення поєднуються з організаційними методами та індивідуальним захистом. Найбільш ефективним способом нейтралізації фізичних загроз є впровадження інженерних засобів безпеки, таких як встановлення захисних екранів та блокувальних пристроїв на верстатах із ЧПК типу HAAS, що унеможливають доступ у робочу зону під час руху шпинделя або зміни інструменту. Автоматизація процесів та використання дистанційного керування дозволяють вивести оператора з потенційно небезпечних зон, суттєво знижуючи ймовірність травмування механічними частинами або відлітаючою стружкою.

Для боротьби з хімічними факторами та аерозольним забрудненням критично важливим є облаштування потужних систем локальної витяжної вентиляції безпосередньо над джерелами виділення парів мастильно-охолоджувальних рідин. Постійний контроль складу та мікробіологічного стану емульсій, а також використання герметичних систем подачі МОР запобігають розвитку бактеріальних інфекцій та алергічних реакцій у персоналу. Зменшення рівня шуму та вібрації досягається шляхом регулярного технічного обслуговування обладнання, використання антивібраційних опор та своєчасної заміни зношеного різального інструменту Sandvik Coromant, що забезпечує стабільність процесу різання та знижує акустичне навантаження.

Зниження впливу психофізіологічних факторів реалізується через оптимізацію режиму праці та відпочинку, що дозволяє уникати накопичення перевтоми та втрати концентрації під час тривалих змін. Регулярні інструктажі та підвищення кваліфікації робітників формують культуру безпеки, де кожен розуміє алгоритм дій у разі виникнення техногенних збоїв або аварійних ситуацій. Важливу роль відіграє також ергономічне планування робочого простору, яке забезпечує зручне розташування органів керування та заготовок, мінімізуючи зайві рухи та фізичне напруження працівника.

Важливо пам'ятати: засоби індивідуального захисту, такі як протиударні окуляри, спецвзуття з металевим підноском та захисні навушники, є останнім, але незамінним бар'єром, який захищає здоров'я у випадках, коли колективні заходи безпеки не можуть повністю усунути небезпечний фактор.

Якісне освітлення виробничого майданчика є одним із базових факторів забезпечення безпеки, оскільки воно безпосередньо впливає на швидкість та точність зорового сприйняття працівника. Належний рівень освітленості дозволяє оператору вчасно ідентифікувати потенційні загрози, такі як рухомі частини шпинделя верстата HAAS або гострі краї металевої стружки, які в умовах недостатнього світла можуть зливатися з загальним фоном обладнання. Крім того, правильне світло розмиває глибокі тіні та усуває зони «сліпих плям» біля лещат та інструментальних магазинів, де найчастіше трапляються випадкові порізи або травми рук під час встановлення заготовок.

Окрім суто візуального виявлення перешкод, освітленість відіграє критичну роль у запобіганні зоровій втомі, яка є однією з головних причин зниження концентрації уваги. Коли очі постійно напружуються через тьмяне світло або

					КНУ.КБР.131.26.1-09.04.0ЕПВ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

надмірні відблиски від полірованих поверхонь вала, виникає швидка втома нервової системи, що призводить до сповільнення рухових реакцій та помилок у координації. Забезпечення стабільного світлового потоку на рівні 500 лк для прецизійних робіт дозволяє робітнику зберігати високу пильність протягом усієї зміни, мінімізуючи ризик нещасних випадків, спричинених «людським фактором».

Особливе значення має запобігання стробоскопічному ефекту, який виникає при неправильному виборі джерел світла, коли деталі, що швидко обертаються, здаються нерухомими або такими, що рухаються повільно. Використання сучасних LED-панелей із високою частотою мерехтіння повністю нівелює цю ілюзію, що є критично важливим при роботі з відкритими зонами різання або під час візуального контролю обробки шийок вала. Також рівномірне освітлення проходів та робочих зон гарантує чітку видимість попереджувального маркування та знаків безпеки, що дозволяє персоналу миттєво орієнтуватися в просторі цеху навіть у стресових чи аварійних ситуаціях.

4.1.3 Розрахунок освітленості

Розміри механічного відділення даного механоскладального цеху наступні: $a=25\text{м}$, $b=49\text{м}$, $h=5,2\text{м}$. Необхідна освітленість складає у лм:

$$\Phi_{\text{л}} = E_{\text{н}} \cdot A \cdot k \cdot z / (\eta \cdot N) \quad (7.9)$$

де $E_{\text{н}}$ – нормативна освітленість, $E_{\text{н}}=200\text{лм}$; A – освітлювана площа, $A=a \times b=25 \times 49=1225\text{м}^2$, k – коефіцієнт запасу, для ртутних ламп $k=1,5$, z – коефіцієнт мінімальної освітленості, при освітленні люмінесцентними світильниками $z=1,1$; η – коефіцієнт використання світильників, вибираємо в залежності від індекса приміщення i_n .

Індекс приміщення визначаємо за формулою:

$$i_n = A / [h' \cdot (a + b)] \quad (7.10)$$

де $h' = h - 1 = 5.2 - 1 = 4.2\text{м}$

Тоді: $i_n = 1225 / [4.2 \cdot (25 + 49)] = 3.94$

Приймаємо індекс приміщення 4.

Знаходимо коефіцієнт віддзеркалення потолка, стін, підлоги: $R_{\text{п}} = 70\%$, $R_{\text{с}} = 50\%$, $R_{\text{п}} = 30\%$.

Тоді знаходимо $\eta = 77\%$.

Знаходимо необхідну освітленість:

$$\Phi_{\text{л}} = 200 \cdot 1225 \cdot 1.5 \cdot 1.1 / 0.77 = 525000\text{лм}.$$

Приймаємо лампи Videx VL-HBe03-1005В потужністю 100 Вт з $\Phi_{\text{л}}=12000\text{лм}$.

Кількість ламп визначаємо визначаємо:

					КНУ.КБР.131.26.1-09.04.0ЕПВ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

$$N = \frac{525000}{12000} = 43,75 \text{ шт.}$$

Приймаємо 44 ламп, номінальною потужністю 100 Вт.

4.1.4 Екологія машинобудівного цеху

Діяльність підприємств машинобудівної галузі супроводжується значним антропогенним тиском на природне середовище, що зумовлено специфікою технологічних операцій: від лиття та термічної обробки до фінішного шліфування металевих виробів. Основними екологічними викликами для таких об'єктів є неконтрольовані викиди в атмосферу, забруднення гідросфери хімічними реагентами та накопичення значних обсягів відходів, що потребують спеціальних методів переробки.

Основним джерелом забруднення повітряного простору є аерозольні та газоподібні викиди, що виникають під час зварювальних робіт, механічної обробки та експлуатації паливних установок. У повітря потрапляють оксиди азоту та сірки, дрібнодисперсний металевий пил та пари важких металів, які мають здатність накопичуватися в організмі та негативно впливати на здоров'я персоналу і мешканців прилеглих територій. Робота компресорних станцій та внутрішньозаводського транспорту лише посилює цей вплив, додаючи до складу викидів продукти неповного згоряння палива.

Водні ресурси використовуються в машинобудуванні для інтенсивного охолодження інструменту, приготування мастильно-охолоджувальних рідин та промивання деталей після гальванічних операцій. Стічні води такого виробництва перенасичені нафтопродуктами, іонами хрому, нікелю та іншими токсичними сполуками, які у разі неналежного очищення стають причиною деградації водних екосистем. Впровадження замкнених циклів водопостачання дозволяє не лише мінімізувати споживання свіжої води, але й повністю виключити скидання шкідливих речовин у відкриті водойми.

Щоденна робота цехів генерує велику кількість твердих відходів, серед яких переважає металева стружка, відпрацьовані абразиви та шлаки. Окрему групу становлять небезпечні відходи, такі як використані оливи, кислоти та елементи живлення, що потребують суворої сепарації та передачі ліцензованим організаціям для знешкодження. Раціональний підхід передбачає рециклінг металобрухту — наприклад, брикетування стружки для повторної переплавки, що зменшує потребу у первинній сировині та знижує навантаження на сміттєзвалища.

Постійна робота важких верстатів, вентиляторів та підйомно-транспортних засобів створює зони підвищеного акустичного забруднення, яке поширюється за межі підприємства. Інтенсивний технологічний шум та вібрація негативно впливають на біоритми місцевої фауни та знижують рівень комфорту в житлових районах, що межують із промзоною. Застосування звукоізоляційних матеріалів та віброопор є необхідним заходом для гармонізації роботи заводу з навколишньою забудовою.

					КНУ.КБР.131.26.1-09.04.0ЕПВ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Зменшення екологічного сліду досягається завдяки впровадженню сучасних фільтраційних систем, таких як скрубери та електрофільтри, що затримують до 99% твердих часток у викидах. Модернізація застарілого обладнання на енергоефективні центри з ЧПК, використання екологічно безпечних МОР та перехід на світлодіодне освітлення дозволяють значно знизити енергоспоживання. Системний контроль здійснюється через впровадження стандартів екологічного управління, що базуються на вимогах ДСТУ ISO 14001 та національному законодавстві.

Природоохоронна діяльність підприємства базується на суворому дотриманні законів України «Про охорону навколишнього природного середовища», «Про атмосферне повітря» та «Про управління відходами». Регулярний екологічний аудит та моніторинг показників викидів гарантують відповідність виробництва санітарним нормам, а відповідальне ставлення до ресурсів забезпечує сталий розвиток і збереження довкілля для майбутніх поколінь.

4.2 Економіка виробництва вала

Економічна частина проєкту базується на положеннях «Методичних рекомендацій з формування собівартості продукції (робіт, послуг) у промисловості», що відповідають вимогам Постанови Кабінету Міністрів України № 1706 від 28.10.1998 р. та Закону України «Про бухгалтерський облік та фінансову звітність в Україні».

Проведення економічних розрахунків на основі чинної нормативної бази України є критично важливим етапом проектування, оскільки будь-яке технічне рішення має бути не лише прогресивним, а й фінансово виправданим. Це дозволяє перевести інженерні показники (час обробки, вибір інструменту Sandvik, режими різання) у мову бізнесу — грошовий еквівалент. Обчислення дають змогу оцінити реальні витрати на ресурси, визначити конкурентоспроможну ціну виробу та довести доцільність впровадження нової технології через показник повернення інвестицій.

Таблиця 4.1 – Вихідні показники та нормативи для планування фонду оплати праці

Наіменування	Позначення	Витрати	
1	2	3	4
Ставка одного працівника першого розряду	Счас.1	106,46	грн/год
Трудовітність виготовлення одного виробу	тсб	2,725	год
Трудовітність механічних операцій на один виріб	тм	2,5	год
Планова кількість одиниць продукції	Нзап	800	шт
Чисельність допоміжних робітників	Чдоп	1	осіб
Працюють за відрядною системою			

Таблиця 4.2 – Обчислені показники та нормативи для планування фонду оплати праці

Найменування	Позначення	Витрати	
1	2	3	4
Пряма заробітна плата робітників-відрядників на поточній лінії	Зпл.пр	359728,34	грн
Годинна тарифна ставка для відповідного розряду	Счас.сд	165,01	грн/год
Пряма заробітна плата основних працівників	Зм.пр	369203,28	грн
Премії із фонду заробітної плати	Зпрем	102050,43	грн
Додаткові доплати	Здопл	7289,32	грн
Фонд годинної зарплати основних працівників	Фзп.дн.ор.	838271,36	грн
Додаткова зарплата основних працівників підприємства	Здод	41913,57	грн
Фонд зарплати основних працівників	Фзп.ор.	880184,93	грн
Пряма заробітна плата допоміжних робітників	Здоп.вир.	145805,16	грн
Тарифна зарплата основного працівника 6-го розряду	Зтар	190,03	грн/год
Основна зарплата допоміжних працівників	Зо.вр.	180798,40	грн
Додаткова заробітна плата допоміжних працівників	Зд.вр.	21870,77	грн
Премії із фонду заробітної плати допоміжних працівників	Зпрем.вр	20412,72	грн
Додаткові доплати допоміжним працівникам	Здопл.вр	1458,05	грн
Фонд зарплати допоміжного персоналу	Фзп.вр.	202669,18	грн
Фонд заробітної плати всього персоналу цеху	Фзп.р.	1082854,11	грн
Фонд зарплати промислово-виробничих працівників	Фзп.пвп.	7331754,11	грн

Таблиця 4.3 – Розрахунок річного фонду оплати праці виробничого персоналу

№п /п	Посада	К-сть штату, осіб	Міс. оклад з/п, грн	Міс. фонд з/п, грн	Фонд з/п на рік, грн
1	2	3	4	5	6
ІТР					
1	Нач. цеху	1	40000	40000	452000
2	Заст. нач. цеху	1	37000	37000	418100
3	Ст. майстер	2	18000	36000	406800
4	Змінний майстер	3	17000	51000	576300
5	Нач. тех. бюро	0	28000	0	0
6	Інж.-технолог 1 кат.	1	32000	32000	361600
7	Інж.-технолог 2 кат.	1	28000	28000	316400
8	Технік-технолог	1	22000	22000	248600
9	Майстер з ремонту	1	20000	20000	226000
10	Старший диспетчер	1	19000	19000	214700
11	Диспетчер	1	17000	17000	192100
12	Інженер формувальник	1	22500	22500	254250
13	Технік формувальник	1	20000	20000	226000
14	Механік цеху	1	22500	22500	254250
15	Контрольний майстер	1	17000	17000	192100
Разом, грн					4339200

					КНУ.КБР.131.26.1-09.04.0ЕПВ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 4.3

1	2	3	4	5	6
Службовці					
1	Бухгалтер	1	20000	20000	226000
2	Зав. складом	1	20000	20000	226000
3	Старший рахівник	1	20000	20000	226000
4	Касир	1	16000	16000	180800
5	Старший табельщик	1	17000	17000	192100
6	Машиністка	1	16000	16000	180800
7	Табельщик	1	16000	16000	180800
Разом, грн					1412500
МОП					
1	Прибиральники	2	10000	20000	226000
2	Ліфтер, вахтер	2	12000	24000	271200
Разом, грн					497200

Таблиця 4.4 – Розрахунок середньої заробітної праці

№п /п	Категорія робітників	Фонд зарплати, грн	Чисельність робітників	Середньо місячна зарплата, грн
1	1	2	3	4
1	ПВП	880185	20	3895
2	Допоміжні робітники	202669	1	17935
3	ІТР	4339200	5	76800
4	Службовці	1412500	3	41667
5	МОП	497200	3	14667

Таблиця 4.5 – Комплекс вихідних даних для калькулювання виробничої собівартості виробу

Наіменування	Позначення	Витрати	
1	2	3	4
Норма витрати основного матеріалу на деталь	Нм	2,58	кг/шт
Ціна заготовок з урахуванням методу їх отримання	Цм	2232	грн/т
Річний обсяг виробництва продукції	N	3200	шт
Маса заготовки	Вчр	3,68	кг
Маса деталі	Вчст	2,56	кг
Ціна відходів матеріалу	Цвідх	150	грн/т
Місячна тарифна ставка першого розряду	МТС1р	15000	грн/міс.
Тарифний коефіцієнт і-го розряду	ктар.і	1,78	-
Штучний час виконання і-ї операції	Тшт.і	2,08	хв/шт
Кількість верстатів, що обслуговуються одним робітником	-	1	шт
Кількість операцій	Ко	5	шт
Первісна вартість машин та обладнання	Кмио	1164027	грн
Первісна вартість технологічного оснащення	Ктр	28367	грн
Первісна вартість будівлі	Кбуд	18647463	грн

Таблиця 4.6 – Обчислені показники для калькулювання виробничої собівартості виробу

Наіменування	Позначення	Витрати	
		3	4
1	2	3	4
Витрати на сировину та матеріали на річний обсяг	Смо	20288,99	грн/рік
Коефіцієнт, що враховує транспортно-заготівельні витрати	кт-з	1,10	-
Поворотні відходи	Свідх	526,85	грн/рік
Величина відходів на одиницю продукції	Нвідх	1,10	кг/шт
Витрати на основні матеріали за вирахуванням зворотних	См	19762,14	грн/рік
Величина вхідного ПДВ на сировину та матеріали	ПДВвх	3952,43	грн/рік
Паливо та енергія на технологічні цілі	Спал	988,11	грн/рік
Величина вхідного ПДВ на паливо та енергію	ПДВпал	197,62	грн/рік
Основна заробітна плата виробничих робітників	Сз.осн.	756347,43	грн/рік
Розцінка на операцію	Рі	36,36	грн/шт
Годинна тарифна ставка і-го розряду	ГТСір	190,71	грн/год
Годинна тарифна ставка першого розряду	ГТС1р	107,14	грн/год
Додаткова заробітна плата виробничих робітників	Сз.д.	151269,49	грн/рік
Сумарний фонд заробітної плати	Фзп.	907616,91	грн/рік
Чисельність основних виробничих робітників	Чвр	5,00	осіб
Облікова кількість основних робочих	Човр	6,00	осіб
Середньомісячна заробітна плата основних виробничих	ЗПміс.осн.	12605,79	грн/міс.
Відрахування до бюджету та позабюджетних фондів від	Офзп	860,37	грн/рік
Чисельність допоміжних виробничих робітників	Чдвр	2,00	осіб
Сумарний фонд заробітної плати допоміжних робітників	Фзп.д	333216,00	грн/рік
Відрахування до бюджету та позабюджетних фондів	Офзп.доп	448508,74	грн/рік
Вартість матеріалів, що витрачаються для забезпечення	Сзфо.	34920,81	грн/рік
Поточний ремонт обладнання та транспортних засобів	Срем.	253,15	грн/рік
Внутрішньозаводські витрати	Свз.в.	8510,10	грн/рік
Погашення вартості інструментів та пристосування	Сінстр	4656,11	грн/рік
Інші витрати	Сін.	536,77	грн/рік
Усього витрати на утримання та експлуатацію обладнання	Суео	13956,13	грн/рік
Службовці цехового рівня та на дільницях	Чсл.цех	1,00	осіб
Річний фонд заробітної плати службовців	Фзп.сл.	296755,68	грн/рік
Витрати утримання апарату управління цеху	Офзп.сл.	399433,15	грн/рік
Утримання цехових, виробничих та адміністративних	Сбуд.	279711,95	грн/рік
Витрати на ремонт цехових будівель	Срем. буд.	372949,26	грн/рік
Витрати на заходи забезпечення нормальних умов праці,	Стех.б	30751,77	грн/рік
Витрати на випробування, досліди, дослідження,	Срац.	230638,29	грн/рік
Інші витрати у складі загальновиробничих витрат	Сін.вит.	39404,53	грн/рік
Усього загальноцехові витрати	Сузв	1352888,94	грн/рік
Загальногосподарські витрати	Рзг	945434,29	грн/рік
Витрати на реалізацію	Рреал.	28329,27	грн/рік
Платежі, відрахування та податки у собівартості продукції	Рпл.	56658,54	грн/рік
Податок на нерухомість	Пн.	186474,63	грн/рік

Таблиця 4.7 – Калькуляція повної собівартості виготовлення вала

Найменування	Витрати	
1	2	
Сировина та матеріали за вирахуванням зворотних відходів	19762	грн/рік
Паливо та енергія на технологічні цілі	988	грн/рік
Основна заробітна плата виробничих робітників	756347	грн/рік
Додаткова заробітна плата виробничих робітників	151269	грн/рік
Відрахування до бюджетних та позабюджетних фондів	860	грн/рік
Загальновиробничі витрати	13956	грн/рік
Разом: цехова собівартість	943184	грн/рік
Загальногосподарські витрати	945434	грн/рік
Разом: виробнича собівартість	1888618	грн/рік
Витрати реалізації продукції	28329	грн/рік
Інші платежі, відрахування та податки	243133	грн/рік
Разом: повна собівартість	2160080	грн/рік
Собівартість одиниці виробленої продукції	675	грн/шт

Таблиця 4.8 – Техніко-економічна ефективність та розрахунок терміну окупності витрат

Найменування	Розраховані величини	
1	2	
Ціна продажу одиниці продукції	1575	грн/шт
Початкові інвестиції	4 320 161	грн
Дохід від продажу продукції	5040000	грн/рік
Прибуток від продажу продукції	2879920	грн/рік
Строк окупності	1,50	р

Отриманий термін окупності тривалістю в 1,5 року є винятковим показником інвестиційної привабливості, що в сучасних умовах машинобудування вважається ідеальним сценарієм впровадження нової технології. Такий результат свідчить про те, що обрана стратегія використання високопродуктивного інструменту Sandvik та автоматизації на базі центрів HAAS забезпечила такий рівень зниження собівартості та підвищення продуктивності, який дозволяє повністю повернути капітальні вкладення у найкоротші терміни.

Фактично, проєкт демонструє мінімальні фінансові ризики, адже вже з другого року виробництво вала почне генерувати чистий прибуток, що є вагомим аргументом на користь технічного переозброєння дільниці. Для промислового сектору, де стандартним вважається період окупності від 3 до 5 років, показник у 12 місяців підтверджує бездоганний баланс між витратами на інноваційне оснащення та отриманим економічним ефектом від скорочення штучного часу обробки. Це той рідкісний випадок, коли висока технологічність не здорожчує процес, а робить його максимально прибутковим.

					КНУ.КБР.131.26.1-09.04.0ЕПВ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Під час виконання кваліфікаційної роботи бакалавра було розроблено тривимірну модель і робоче креслення деталі вал, а також складальний кресленик вузла масляного насоса. Ключовим етапом стала модернізація технологічного процесу, яка передбачала заміну застарілого універсального парку обладнання на сучасні оброблювальні центри з ЧПК, що забезпечило суттєве підвищення точності та продуктивності обробки. Аналіз технологічності конструкції вала та вузла в цілому підтвердив доцільність впровадження прогресивних методів виготовлення для заданої річної програми у 3200 одиниць.

На основі проведеного аналізу розроблено оновлений технологічний маршрут із використанням сучасного верстатного оснащення — поводкового центру та самоцентрувальних лещат, що дозволило мінімізувати кількість установів та скоротити допоміжний час. Завдяки впровадженню високоефективного інструменту Sandvik Coromant та оптимізації режимів різання, вдалося досягти скорочення штучного часу обробки вала на 7,45 хвилини, забезпечивши при цьому стабільну якість поверхонь згідно з технічними вимогами. Розроблено код управляючої програми для однієї операції.

У межах конструкторського опрацювання проведено комп'ютерне моделювання в середовищі SolidWorks Simulation. Виконаний нелінійний статичний аналіз для матеріалу сталь 40X дозволив оцінити працездатність вала під впливом екстремального крутного моменту у 2000 Нм. Дослідження виявило зони концентрації напружень у шпонкових пазах та підтвердило, що конструкція зберігає цілісність при значних перевантаженнях, маючи запас міцності понад 15 при номінальному режимі роботи.

Проведена оцінка економічної доцільності підтвердила високу ефективність впроваджених рішень: розрахований термін окупності проєкту становить 1 рік, що є оптимальним показником для модернізації машинобудівного виробництва. Окрему увагу приділено питанням охорони праці та екології, зокрема обґрунтовано заміну освітлення на енергоефективні LED-системи High Bay, що дозволило покращити умови праці та знизити енерговитрати.

Робота повністю виконана відповідно до поставленого технічного завдання і реалізована в повному обсязі.

					<i>КНУ.КБР.131.26.1-09.В</i>			
<i>Змін.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ Документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Сінягін</i>						
<i>Перевір.</i>		<i>Бондар</i>						
<i>Н. Контр.</i>		<i>Нечаєв</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Рязанцев</i>						

<i>Висновки</i>			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
			<i>Кафедра ТМ гр. ПМ-23ск</i>		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. <https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/tools/coroplus-toolguide>
2. Каталог та технічний посібник Seco 2020: "Токарна обробка"
3. Каталог абразивного інструмента LUCABRASIV 2015
4. Каталог зубообробного інструмента FETTE 2015
5. ДСТУ 2675:2008 "Патрони самоцентруючі трикулачкові. Основні розміри"
6. ANDRE Абразивный инструмент
7. Кіяновський М.В., Цивінда Н.І., Цівко Ф.В. Довідник нормувальника машинобудівного виробництва. Кривий Ріг: Видавничий центр КТУ, 2008.
8. Технологія обробки типових деталей (курсове проектування) Григурко О.І, Брендуля МФ., Доценко С.М, Навчальний посібник. Львів., Новий світ, 2008, 576 с.
9. Горбатюк Е.О., Мазур М.П., Зенкін А.С., Каразей В.Д. Технологія машинобудування Навчальний посібник. Львів., Новий світ, 2008, 360 с.
10. Пальчевський Б.О. Дослідження технологічних систем (моделювання, проектування, оптимізація): Навчальний посібник. Львів: Світ, 2001. 232 с.
11. Руденко П. О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні – К.: Вища школа, 1993р.
12. Рудь В. Д. Курсове проектування з технології машинобудування: Навчальний посібник: ІСДО, 1996р.
13. Руденко П.А. Проектування технологічних процесів в машинобудуванні. Київ: Вища школа. 1985.
14. Боженко Л.І. Технологія машинобудування. Проектування та виробництво заготовок. Львів: Світ, 1996.
15. Рудь В.Д. Курсове проектування з технології машинобудування: Навч. посібник. К.: ІСДО, 1996. 300 с.
16. Методичні вказівки до курсової роботи Механоскладальні дільниці та цехи машинобудівних заводів. Полтава: ПДТУ ім. Юрія Кондратюка, 1999, 29 с.
17. Економіка підприємства: Підручник / За ред. С. Ф. Покропивного. К.: КНЕУ, 2001.
18. В.Ц. Жидецький, В.С. Джигірей, В.М.Сторожук, Л.В.Туляб Практикум з охорони праці. Навчальний посібник / За ред. канд. техн. наук, доцента В.Ц. Жидецького. Львів, Афіша, 2005, 352 с.
19. ДБН В.2.5-28-2006 Природне і штучне освітлення.
20. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
21. Жидецький В.Ц., Основи охорони праці. Підручник Київ 2002р.
22. Закон України Про охорону навколишнього природного середовища, 1991 року зі змінами № 554-IX від 13.04.2020

					КНУ.КБР.131.26.1-09.СВД				
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата					
Розроб.	Сінягін				Список використаних джерел		Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Бондар								
Н. Контр.	Нечаєв						Кафедра ТМ гр. ПМ-23ск		
Затверд.	Рязанцев								

23. Закон України Про охорону праці, нова редакція, м. Київ, 21 листопада 2002 року, № 341-ІХ від 05.12.2019, ВВР, 2020, № 13, ст.68
24. Охорона праці: Навчальний посібник / За ред. В. Кучерявого. Львів: Оріана-Нова, 2007. 368 с.

					КНУ.КБР.131.26.1-09.СВД	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

					КНУ.КБР.131.26.1-09.Д			
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата	Додатки			
Разроб.	Сінягін							
Перевір.	Бондар							
Н. Контр.	Нечаєв							
Затверд.	Рязанцев				Кафедра ТМ гр. ПМ-23ск			

%

```
ОВал Синягин( FILENAME = Вал Синягин)
N20 G20 G40
N25 G28 U0
N30 G28 W0
( OPERATION: ROUGH TURN ТОЧЕНИЕ1 )
N40 T101
N45 G50 S3000
N50 G96 S559 M4
N55 G0 X1.5827 Z0.1487 M8
N60 G1 Z-12.0472 F0.01
N65 X1.7323
N70 X1.7601 Z-12.0333
N75 G0 Z0.1487
N80 G1 X1.435
N85 Z-2.3886
N90 X1.5573 Z-2.4497
N95 G3 X1.5827 Z-2.4803 R0.0433
N100 G1 X1.6105 Z-2.4664
N105 G0 Z0.1487
N110 G1 X1.2874
N115 Z-2.3583
N120 X1.3386
N125 G3 X1.3998 Z-2.371 R0.0433
N130 G1 X1.435 Z-2.3886
N135 X1.4629 Z-2.3746
N140 G0 Z0.1487
N145 G1 X1.1398
N150 Z-2.3583
N155 X1.2874
N160 X1.3152 Z-2.3443
N165 G0 Z0.1487
N170 G1 X0.9921
N175 Z-2.3583
N180 X1.1398
N185 X1.1676 Z-2.3443
N190 G0 Z0.1487
N195 G1 X0.8543
N200 Z-0.7857
N205 G3 X0.888 Z-0.7961 R0.0433
N210 G1 X0.9668 Z-0.8355
N215 G3 X0.9921 Z-0.8661 R0.0433
N220 G1 X1.02 Z-0.8522
N225 G0 Z0.1487
N230 G1 X0.7165
N235 Z-0.7835
N240 X0.8268
N245 G3 X0.8543 Z-0.7857 R0.0433
N250 G1 X0.8822 Z-0.7718
N255 G0 Z0.1487
N260 G1 X0.6124
N265 Z-0.0087
N270 X0.6912 Z-0.0481
N275 G3 X0.7165 Z-0.0787 R0.0433
N280 G1 X0.7444 Z-0.0648
```

```

N285 G0 Z0.1181
( OPERATION: FINISH TURN ТОЧЕНИЕ1 )
N295 G0 X1.9685 Z0.0998
N300 G50 S3000
N305 G96 S810
N310 G0 X1.9685 Z0.0998 M8
N315 X0.3841
N320 G1 X0.6856 Z-0.0509 F0.01
N325 G3 X0.7087 Z-0.0787 R0.0394 F0.
N330 G1 Z-0.7874 F0.01
N335 X0.8268
N340 G3 X0.8824 Z-0.7989 R0.0394 F0.
N345 G1 X0.9612 Z-0.8383 F0.01
N350 G3 X0.9843 Z-0.8661 R0.0394 F0.
N355 G1 Z-2.3622 F0.01
N360 X1.3386
N365 G3 X1.3943 Z-2.3737 R0.0394 F0.
N370 G1 X1.5517 Z-2.4525 F0.01
N375 G3 X1.5748 Z-2.4803 R0.0394 F0.
N380 G1 Z-12.0472 F0.01
N385 X1.7975 Z-11.9359
N390 G0 X1.9685
N395 G28 U0
N400 G28 W4.9213
( OPERATION: FINISH GROOVE: OUTER КАНАВКА1 )
N410 T202
N415 G50 S3000
N420 G96 S810 M4
N425 G0 X1.811 Z-10.2362 M8
N430 G1 X1.5591 F0.01
N435 G0 X1.9528
( OPERATION: FINISH GROOVE: OUTER КАНАВКА2 )
N445 G0 Z-4.5276
N450 G50 S3000
N455 G96 S810
N460 G0 X1.9528 Z-4.5276 M8
N465 X1.811
N470 G1 X1.5591 F0.01
N475 G0 X1.9528
N480 G28 U0
N485 G28 W0
N490 M30
%
```

		Перв. застосув.			Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
		Формат	Зона	Лист					
Справ. №									
							Документація		
		А0				КНУ.КБР.131.26.01-09.НМ	Складальне креслення		
							Деталі		
				1			Шестерня	2	
				2			Шестерня	1	
				3			Шестерня	1	
		4			Шестерня	1			
		5			Клапан	1			
		6			Пружина	1			
		7			Фланець	1			
		8			Гвинт	1			
		9			Прокладка	1			
		10			Прокладка	1			
		11			Втулка	3			
		А3	12		КНУ.КБР.131.26.01-09.В	Вал	1		
			13			Вал	1		
			14			Кришка			
			15			Кришка передня	1		
			16			Прокладка	1		
			17			Корпус	1		
			18			Кришка задня	1		
			19			Втулка			
			23			Втулка	1		
			24			Кожух	1		
Інв. № орг.							КНУ.КБР.131.26.01-09.НМС		
		Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата			
Інв. № орг.		Розроб.	Сінягін				Насос масляний		
		Перев.	Бондар						
		Керівник							
		Н.контр.	Нечасів						
		Затв.	Рязанцев						
		Літ.	Аркцш	Аркцшів					
		Н		1					
		Кафедра ТМ							
		ПМ-23ск							

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
		25		Валик	1	
		26		Прокладка	2	
		27		Прокладка	1	
		28		Прокладка		
		30		Тарелка	1	
		31		Ковпачок	1	
		32		Прокладка	1	
		33		Кільце ущільнюєче	2	
		34		Втулка	1	
				Стандартні вироби		
				Болти згідно стандарту		
		39		M8×35.46.01	7	
		41		3.M8×25.46.01	1	
		42		3.M12×20.46.01	8	
		44		Гвинт 6.M4×6.46.01	3	
				Гайки згідно стандарту		
		46		M8.5.01	5	
		47		M10.5.0,1	4	
		48		M12.5.01	14	
		50		Гайка M20.5.01		
					1	

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
		52		Гайка М16×1,5-6Н.5.01	1	
				Кільця згідно стандарту		
		53		А17	1	
		54		А20	1	
		55		А40	3	
		56		Кільце А40	1	
		58		Підшипник 203		
				згідно стандарту	2	
		59		Шайба 16.01.01		
				згідно стандарту	1	
				Шайби згідно стандарту		
		60		8.01.01	13	
		61		10.01.01	4	
		62		12.01.01	14	
				Шпилька згідно стандарту		
		64		М10-6d×25.46.01	4	
		65		М12-6d×30.46.01	8	
				Шпильки згідно стандарту		
		66		М8-6d×25.46.01	5	
		67		М12-6d×170.46.01	4	
		68		М12-6d×220.46.01	2	
				Шпонка згідно стандарту		
		69		6×6×18	1	
		70		12×8×110	2	
Інв. № ориг.	Підп. і дата		Зм. Арк. № док. Підп. Дата			Арк. 3

КНУ.КБР.131.26.01-09.НМС

№ 0002.	Клиент. / Имя	Зам. ин. №	Ин. № докум.	Клиент. / Имя

**АЛЬБОМ КРЕСЛЕНЬ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-
ЗАСВІДЧУЮЧИХ АРКУШІВ**

КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ БАКАЛАВРСЬКОЇ РОБОТИ

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка

на тему: Підвищення ефективності технологічної підготовки вала
циркуляційного масляного насосу зі застосуванням CAD/CAE/CAM-
систем і верстатів з ЧПК

Виконав здобувач гр. ПМ-23ск

(підпис)

Ілля СІНЯГІН

Керівник КБР

(підпис)

Олена БОНДАР

Нормоконтроль

(підпис)

Василь НЕЧАЄВ

Завідувач кафедри

(підпис)

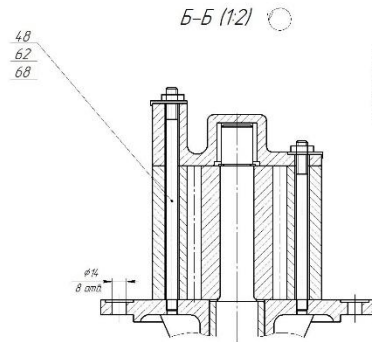
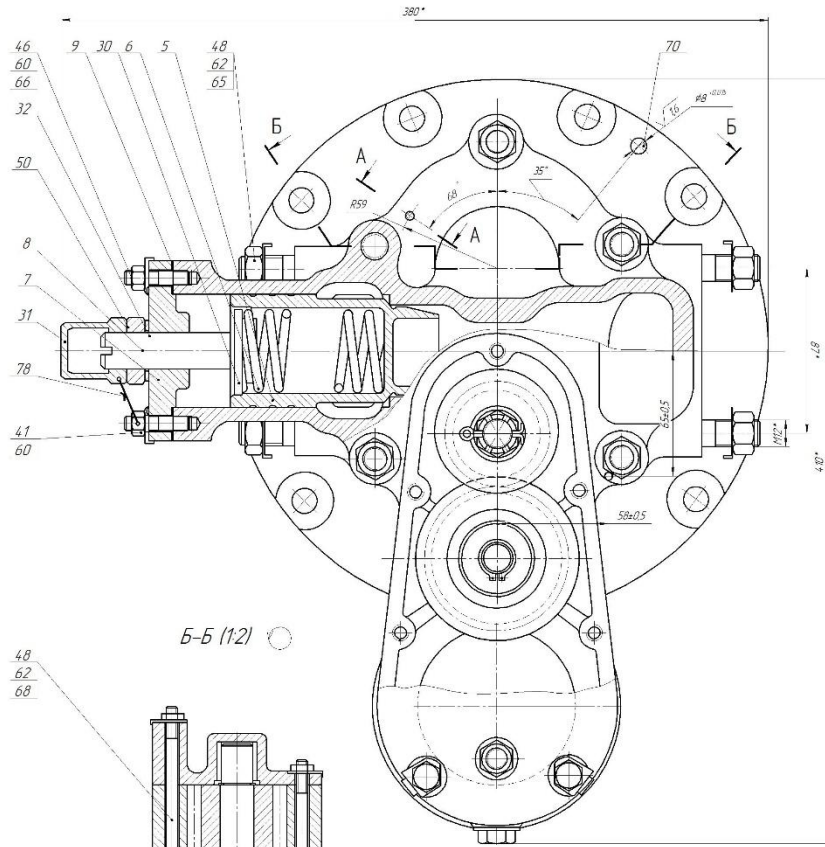
Антон РЯЗАНЦЕВ

Кривий Ріг
2026 р.

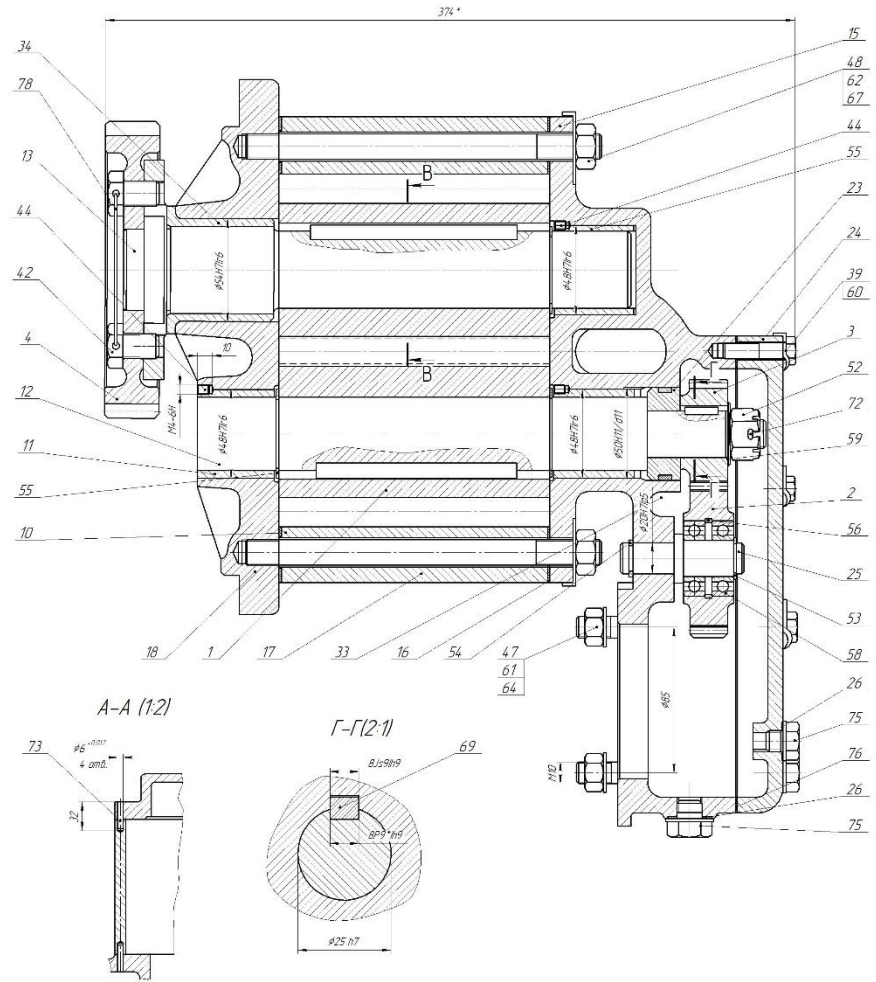
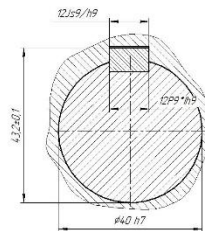
ВІДОМІСТЬ ЕЛЕКТРОННИХ МАТЕРІАЛІВ КБР

№	Формат	Позначення	Найменування	К-сть листів	Прим.
			<u>Графічні матеріали</u>		
1	A0	КНУ.КБР.131.26.1-09.НО	Насос окиснювача (складальне креслення)	1	
2	A2	КНУ.КБР.131.26.1-09.В	Вал	1	
3	A1	КНУ.КБР.131.26.1-09.ТП	Технологічний процес	1	
4	A2	КНУ.КБР.131.26.1-09.КН010	Карта наладки 010	1	
5	A2	КНУ.КБР.131.26.1-09.КН015	Карта наладки 015	1	
6	A1	КНУ.КБР.131.26.1-09.АПР	Аналіз ефективності проектних рішень	1	

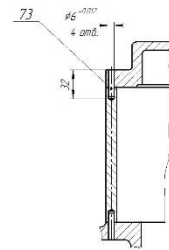
					КНУ.КБР.131.26.1-09.ВЕД										
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата	Відомість електронних документів КБР						Літ.		Арк.	Аркушів	
Розроб.	Сіягін														
Перевір.	Бандар														
Н. контр.	Нечаєв														
Затверд.	Рязанцев										Кафедра ТМ гр. ПМ-23ск				



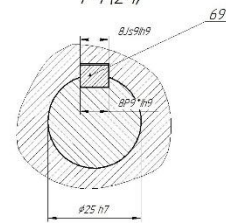
B-B(2/1)



A-A (12)



Г-Г(2/1)



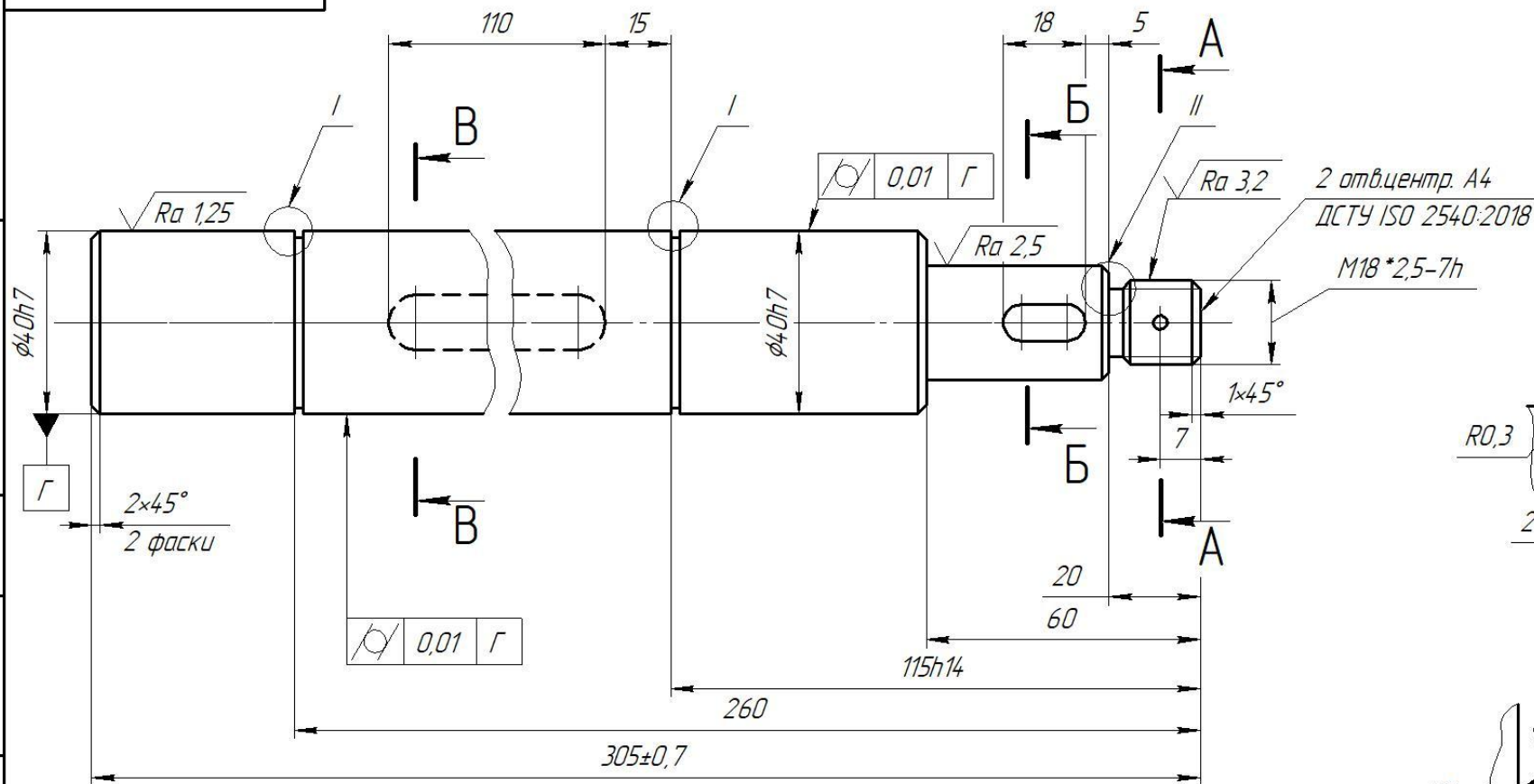
- Технічні виміри
1. Відстань між шпильками (роз. 44) зберігати при збиранні втулок (роз. 11) та кришки (роз. 15, 18).
 2. Монтажний зазор між зубцями 0.28-0.32 мм, різниця зазорів для різних зубців не більше 0.1 мм.
 3. При перевірці по фарту припосади зубців шестерень повинна бути не менше 70 % довжини зуба на одній стороні профілю кожного зуба.
 4. Перед збиранням фаски деталей протерти в керосині та відразу стиснути під тиском.
 5. В зібраному насосі вал (роз. 13) повинен вільно прокручуватися від руху.
 6. Насос обкатувати на стенді і перевірити на герметичність та продуктивність.
 - 6.1. Герметичність перевіряти після обкатки при 750 об/хв та тиску в нагнітальній трубопроводі 0.7 МПа протягом 5 хв. Протікання та потічки не допускаються.
 - 6.2. Продуктивність насоса повинна бути не менше 823 л/хв при $n=1400$ об/хв та робочому тиску 0.5-0.6 МПа.
 7. Регулювальний клапан відкачувати на тиск 0.7 МПа.
 8. Патрони для довідки.
 9. Прокладки обкатувати розігрітими оливами НМ, доведіть їх до 110 ± 2 .
 10. Збирання поверхня недоварених деталей покрити епоксидною смолою ПД-15 за ГОСТ 1515.

Технічна характеристика									
1. Тип насоса	2. Частота обертання об/хв	3. Продуктивність, л/хв	4. Тиск, МПа	5. Задані розміри, мм	6. Насос, кг	Шестеренний			
						1400	823	0.5-0.6	374x380x10
									46

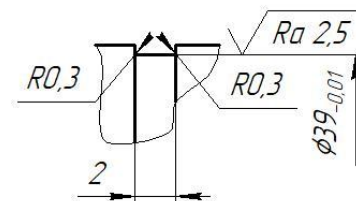
КНУКБР 13126.01-09.НМ									
Насос масляний					Корпуса ТМ				
Складові креслення					ПМ-230к				
№	Дет.	Матер.	Мас.	Мас.	№	Матер.	Мас.	Мас.	Мас.
1	Корпус	Сталь			46	11			
2	Корпус	Сталь			46	11			
3	Корпус	Сталь			46	11			
4	Корпус	Сталь			46	11			
5	Корпус	Сталь			46	11			
6	Корпус	Сталь			46	11			
7	Корпус	Сталь			46	11			
8	Корпус	Сталь			46	11			
9	Корпус	Сталь			46	11			
10	Корпус	Сталь			46	11			

КНУ.КБР.131.26.01-09.В

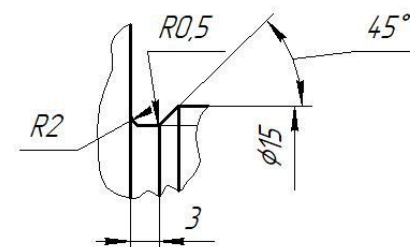
✓ Ra 6,3



I (4:1)



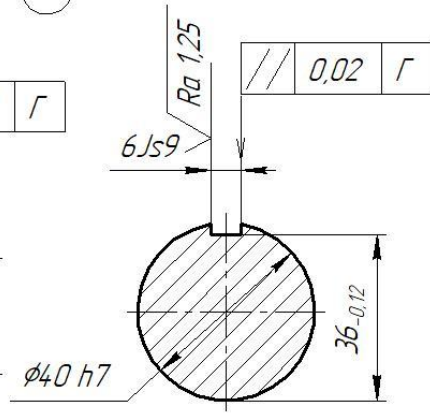
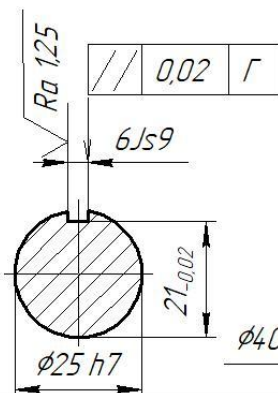
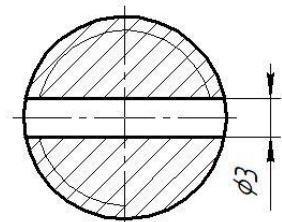
II (4:1)



Б-Б(2:1)

Б-Б(2:1)

А-А(4:1)



1. HB 230...240
2. Радиусы скруглень 2 мм
3. Невказані граничні відхилення розмірів: валів h14, отворів H14, інші ±IT14

					КНУ.КБР.131.26.01-09.В				
Зм.	Арк.	№ докum.	Підп.	Дата	Вал	Лит.	Маса	Масштаб	
Розроб.	Гінягін					Н		2,17	1:1
Перев.	Бондар								
Т.контр.						Аркш	Аркшів 1		
Керівник									
Н.контр.	Нечасів				Сталь 40Х ДСТУ 7806:2015	Кафедра ТМ ПМ-23ск			
Затв.	Рязанцев								

Копіював

Формат А3

Перв. застос.

Спроб. №

Підп. і дата

Інв. № докл.

Взам. інв. №

Підп. і дата

Інв. № орг.

Структура та зміст розробленого технологічного процесу обробки вала

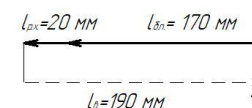
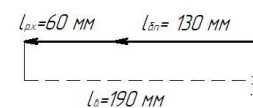
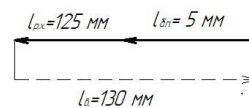
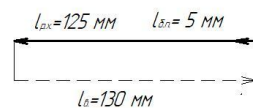
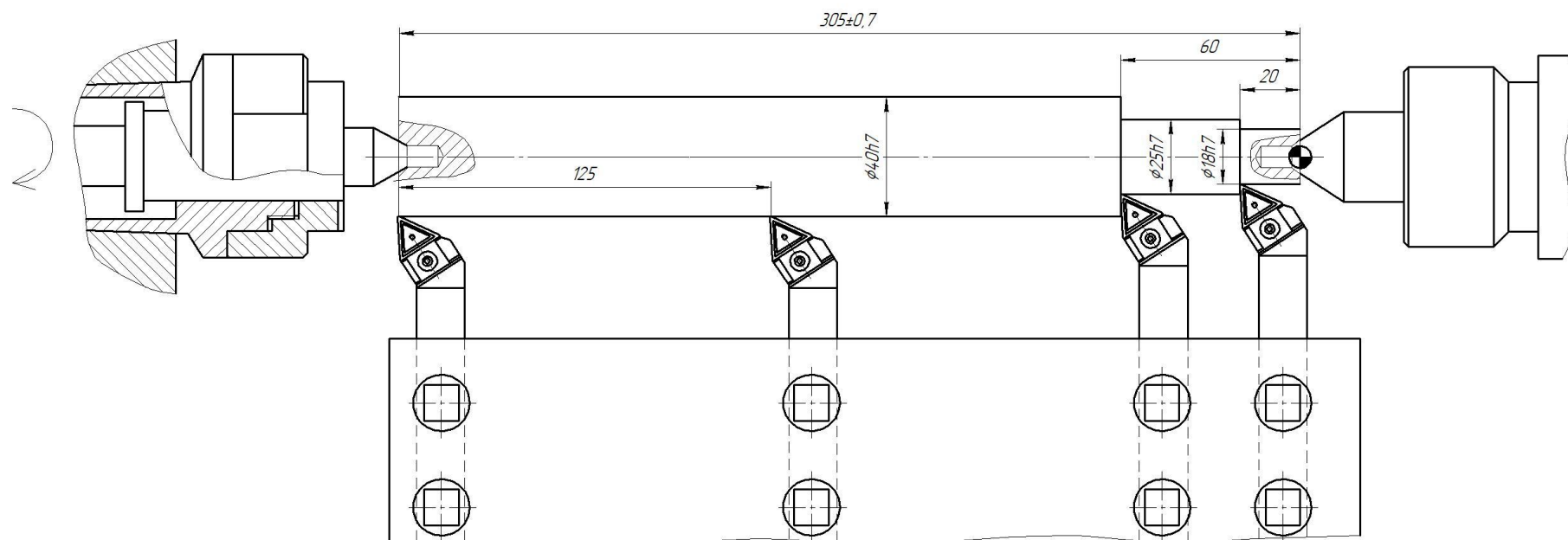
КНУКБР 131.26.01-09.ТП

Номер і назва операції	Найменування, модель верстата, пристосування	Операційний ескіз	Номери і зміст переходів, установок	Різальний інструмент	Вимірний інструмент
005 Заготівельна	Стрчково-поверхневий верстат Ploos ARG 260 Горбильна лещата з руковою гудкою		1. Відділити заготовку, витримавши розмір 1	1. Sandvik CoroMill Тримач N33132C- 152738CM, різьб N3311A-04.350SE-M30 1230	1. Штангенциркуль ШЦ-III-500-0,1 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018
010 Фрезерно-центрувальна	Фрезерно-центрувальний верстат моделі МР-7М Самонацентрувальні лещата з призматичними губками		1. Встановити заготовку і зняти 2. Фрезерувати торці под. витримавши розмір 1 3. Центрувати торці одночасно, витримавши розмір 2,3,4	1. Sandvik CoroTurn 107 Тримач SCLCR2020K12, різць CCMT120412-PR4425 2. CoroDrill 860.1-0800-028A1-PM P18M	1. Штангенциркуль ШЦ-III-500-0,1 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018
015 Токарна	Токарно-фрезерний обрабильний центр з ЧПК HAAS ST-20Y Подаючий центр, з'являється задня давка з обертовим центром		1. Встановити заготовку і зняти 2. Точити попередньо всю поверхню заготовки витримавши розмір 1 3. Точити попередньо за 2 проходи поверхні витримавши розміри 2,3,4,5 4. Точити на чистоту 5. Точити поверхні витримавши розміри 6,7,8,9 10,11,17,19 6. Точити поверхні, витримавши розміри 12,13,14,15 7. Точити поверхні витримавши розміри 16,18 8. Нарізати різьбу под. витримавши розмір 1	1. Sandvik CoroTurn 107 Тримач SCLCR2020K12, різць CCMT120412-PR4425 2. Sandvik CoroTurn 107 Тримач SCLCR2020K12, різць CCMT120412-PR4425 3. Sandvik CoroCut 3 Тримач RF123T06-1010BM, різць N123T3-0300-RS1125 4. Sandvik CoroThread Тримач 266RFG-2525-22, різць 266RG-22MM02A250E, 5322 379-13	1. Штангенциркуль ШЦ-III-500-0,1 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018 2. Колір М18х2,5 згідно стандарту
020 Свердильно-фрезерна	Вертикально-фрезерний обрабильний центр з ЧПК HAAS VF-2/3 Трикулачковий з'являється патрон Kigauma B-208		1. Встановити заготовку і зняти 2. Свердлити отвір, витримавши розміри 1, 2 3. Фрезерувати шпандовий паз, витримавши розміри 1, 2, 3, 4 4. Фрезерувати шпандовий паз, витримавши розміри 1, 2, 3, 4	1. Sandvik CoroDrill 860.1-0300-021A1-PM P18M 2. Sandvik CoroMill Dura 1K313-0580-XA 1730 3. Sandvik CoroMill Dura 1K313-0580-XA 1730	1. Пробка 18 згідно стандарту 2. Штангенциркуль ШЦ-III-125-0,1 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018 3. Штангенциркуль ШЦ-III-125-0,1 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018
025 Термічна	ПЧ Nabertherm N 70/H		1. Нагрів до 840-860°C і витримка 40-60 хв. 2. Охолодження в олії (т олії 50-80°C) 3. Відпуск 380-420°C, 15-2 год, олії. 4. Контроль твердості 45 HRC.		1. Твердомір Wilson RH250 ДСТУ ISO 6508-1:2013
030 Шліфувальна	Круглошліфувальний верстат з ЧПК Palmory PCO-3260 Подаючий центр, з'являється задня давка з обертовим центром		1. Встановити заготовку і зняти 2. Шліфувати поверхні одночасно, витримавши розміри 1, 2, 3, 4	1. Круг шліфувальний Norton Quantum 1 - 405x50x127 38A 60 K V	1. Скала 40H7 згідно стандарту
035 Контрольна	Підійнята плита, прецизійні центри вимірювання		1. Контролювати співвідношення шпандових пазів 2. Контролювати прямиливість шпандових пазів		1. Індикатор годинниково-годинного типу ІЧ-10 0,01 згідно стандарту

$$\Delta T_{\text{шм-к}} = 7,23 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

						КНУКБР.131.26.01-09.ТП				
						Технологічний процес				
Зм.	Лист	№ докум.	Дата	Видат		Лист	Розк.	Масштаб		
Розробл.		Складен.				1				
Перевір.		Затверд.								
Головний						Архив	Архівов.	Т		
Інженер		Розробл.				Кафедра ТМ				
Затв.		Начесл.				ММ-23ск				
					Холодильн.	Виробн. - 31				

Операція 015 Токарна (3-й перехід)
Токарно-фрезерний обробний центр з ЧПК
HAAS ST-20Y



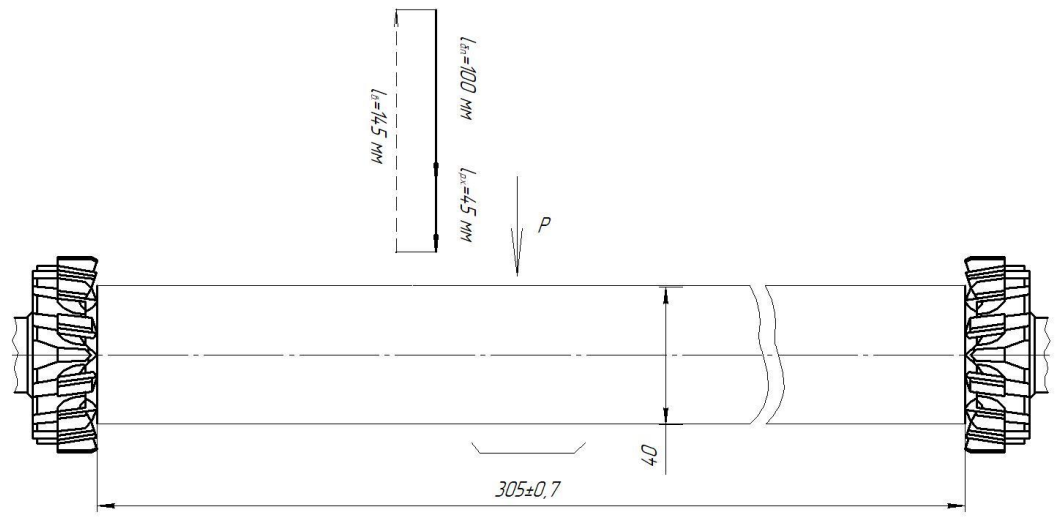
Найменування інструменту	V , м/хв	S , мм/об	f , мм	n , хв/с	$t_{\text{шт}}$
Sandvik CoroTurn 107 Тримач SCLCR2020K12, різець CCMT1204.12-PR4425	282	0,256	1,64	3590	0,05

					КНУ.КБР.131.26.01-09.КН015				
					Карта наладки Операція токарна 015 (3-й перехід)	Лит	Маса	Масшт	
Зм	Арк	№ вакцм	Підп	Листа		Н		11	
Розроб.	Синягин								
Перев.	Бондар								
Т.контр						Аркш	Аркш		
Керівник					Кафедра ТМ ПМ-23ск				
Н.контр	Нечасів								
Затв.	Разноцєв				Корислов Формат А2				

КНУ.КБР.131.26.01-09.КН010

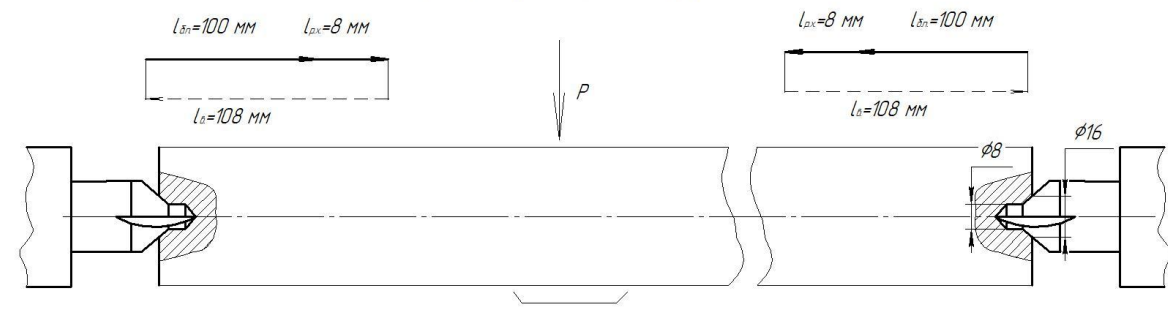
Операція 010 Фрезерно-центрувальна
Фрезерно-центрувальний верстат
моделі МР-71М

Схема руху фрези при торцюванні



Найменування інструменту	V, м/хв	S, мм/об	f, мм	n, хв/с	t _н , хв
1. Sandvik CoroTurn 107 Гримач SCLCR2020K12, різець SCMT1204 12-PR4425	150	11,4	1,75	125	0,37

Схема руху свердла при центруванні



Найменування інструменту	V, м/хв	S, мм/об	f, мм	n, хв/с	t _н , хв
Sandvik CoroDrill 860.1-0800-028A1-PM P1BM	19	0,2	5	300	0,25

Перед. застос.
Стор. №

Підп. і дата
Інв. № докум.
Взам. інв. №
Лист. і дата
Інв. № ориг.

КНУ.КБР.131.26.01-09.КН010

Карта наладки
операція 010
фрезерно-центрувальна

Лит.	Маса	Масштаб
Н		1:2
Архив	Архив	Т

Кафедра ТМ
ПМ-23ск

Копія

Формат А2

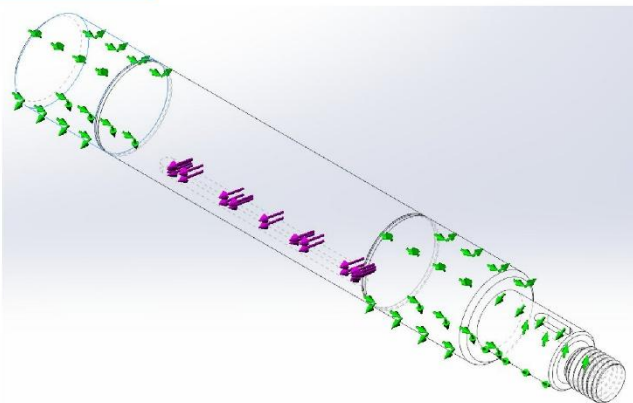
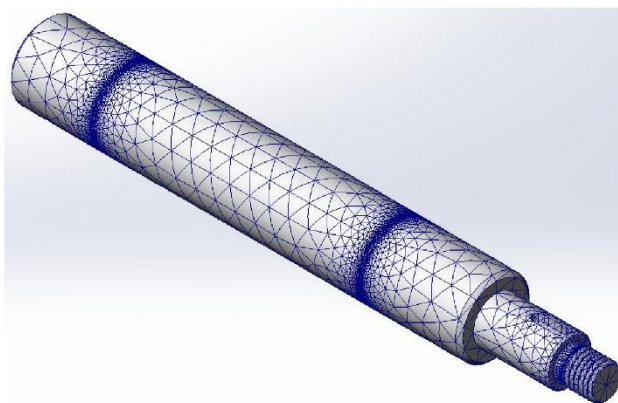
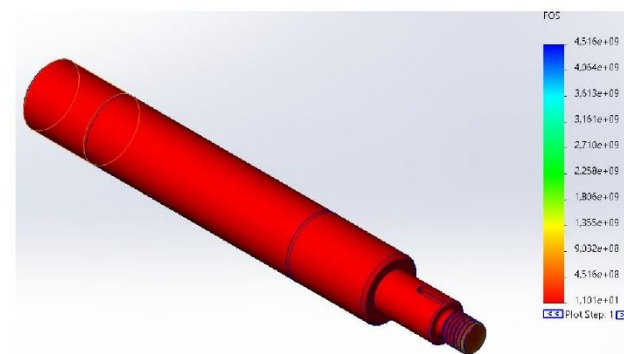


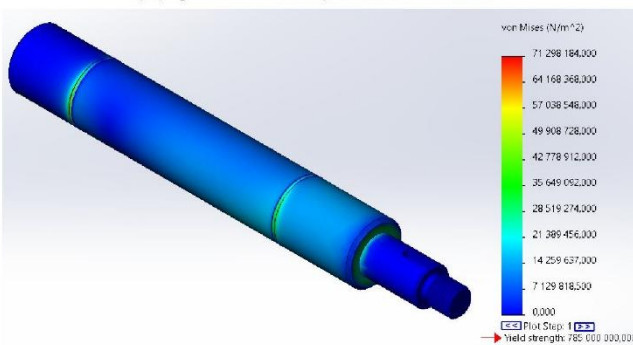
Схема прикладання граничних умов та зовнішнього навантаження до розрахункової моделі вала в середовищі SolidWorks Simulation



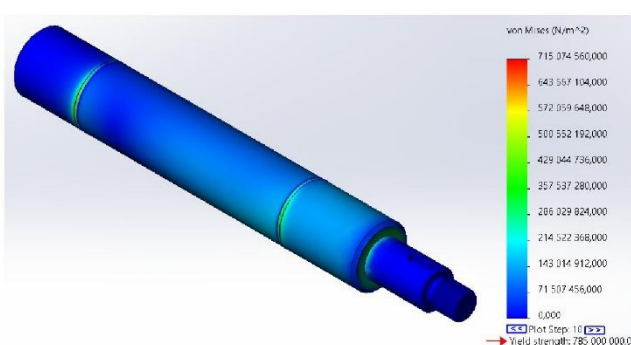
Сітка для обчислень методом кінцевих елементів



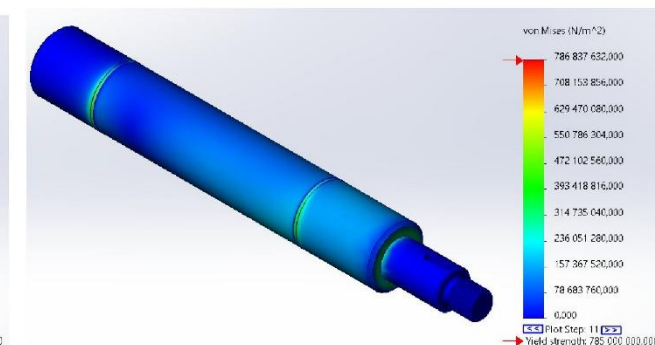
Розподіл мінімального запасу міцності на кінці 1



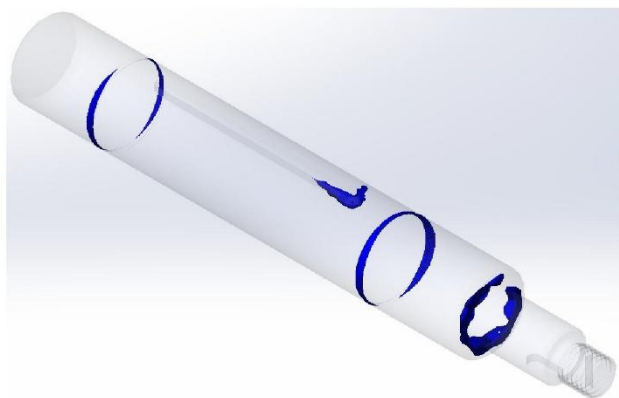
Етап внутрішніх напружень вала обчислених у нелінійному аналізі Simulation (крок 1)



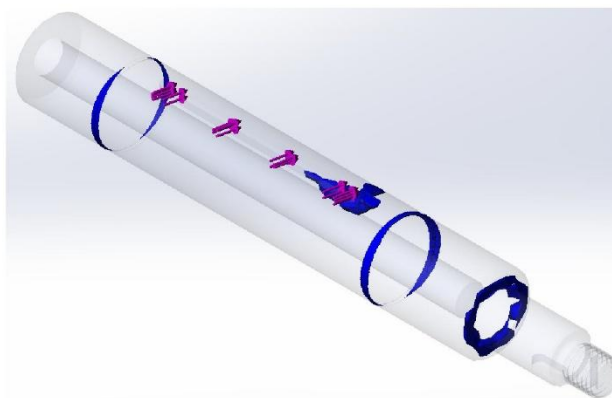
Етап внутрішніх напружень вала обчислених у нелінійному аналізі Simulation (крок 10)



Етап внутрішніх напружень вала обчислених у нелінійному аналізі Simulation (крок 11)



Результати аналізу «Design Insight» щодо ідентифікації основних траєкторій передачі навантаження в конструкції вала



Результати аналізу «Design Insight» щодо ідентифікації основних траєкторій передачі навантаження в змінній конструкції вала відповідно до рекомендації

КНУКБР.131.26.1-09.АПР									
Аналіз проектних рішень зі запропонованим валом у SolidWorks Simulation									
Вм	Діаг	№ докум	Підп	Дата	Н	Місяц	Рік	10	11
Розроб	Тверд	Будова			Автори	Лектори	Т		
Начальн	Начальн				Кафедра ТМ				
Заст.	Розроб				Формат А1				

Криворізький національний університет
Факультет: механічної інженерії та транспорту
Кафедра: технології машинобудування
Ступінь вищої освіти: бакалавр
Спеціальність: 131 Прикладна механіка

Затверджую
Зав. кафедри доцент, к.т.н., Рязанцев А.О.

(підпис)

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну бакалаврську роботу

Здобувача групи ПМ-23ск Сінягіна Іллі Олексійовича

1. Тема: Підвищення ефективності технологічної підготовки вала циркуляційного масляного насосу зі застосуванням CAD/CAE/CAM-систем і верстатів з ЧПК

Керівник проекту: доц., к.т.н. Бондар О.В..

Затверджена наказом по КНУ № _____ від « ____ » _____ 2026 р.

2. Термін подання здобувачем закінченої роботи « » 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи: 1. Найменування вузла. 2. Креслення деталі «Вал». 3. Річна програма випуску деталей

4. Зміст пояснювальної записки: 1. Характеристика і службове призначення вузла і деталі. 2. Технологічна підготовка виробництва деталі. 3. Проектування та інженерний аналіз деталі. 4. Організаційно-економічна підготовка виробництва.

5. Перелік графічного матеріалу: 1. Складальне креслення вузла. 2. Вал. 3. Технологічний процес. 4. Результати обчислення вала у SW Simulation. 5. Карта наладки 015

6. Календарний план:

№ з/п	Етапи виконання кваліфікаційної роботи бакалавра	Термін виконання
1.	Розробка та узгодження технічного завдання	20.02.2026
2.	Технічне завдання та аналіз вихідних даних	12.03.2026
3.	Призначення об'єкту виробництва	15.03.2026
4.	Аналіз технологічності деталі	19.03.2026
5.	Креслення деталі (А2-А4)	30.03.2026
6.	Вибір та обґрунтування послідовності обробки поверхонь деталі	07.04.2026
7.	Вибір верстатів та інструментів	10.04.2026
8.	Розробка технологічного процесу обробки деталі	15.04.2026
9.	Розробка конструкції та інженерний розрахунок вала (А2)	20.04.2026
10.	Організаційно-економічна підготовка виробництва	10.05.2026
11.	Висновки	15.05.2026
12.	Оформлення РПЗ і перевірка на доброчесність	25.05.2026
13.	Попередній захист	10.06.2026

Дата видачі завдання: «26» лютого 2026 р.

Завдання видав керівник КБР

/ Бондар О.В. /

Завдання отримав
здобувач освіти

/ Сінягін І.О. /