

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка

на тему: Технологічна підготовка виробництва вала насосного агрегату
зі застосуванням CAD/CAE/CAM систем і верстатів з ЧПК

Виконав: здобувач
групи ПМ-24м
Ткаченко О.В.
Керівник КМР:
к.т.н., доцент
Бондар О.В.

Кривий Ріг
2025 р.

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

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ**

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка

на тему: Технологічна підготовка виробництва вала насосного агрегату
зі застосуванням CAD/CAE/CAM систем і верстатів з ЧПК

Виконав здобувач гр. ПМ-24м

(підпис)

Ткаченко О.В.

Керівник КМР

(підпис)

Бондар О.В.

Нормоконтроль

(підпис)

Нечаєв В.П.

Завідувач кафедри

(підпис)

Рязанцев А.О.

м. Кривий Ріг
2025 р.

ВІДОМІСТЬ МАТЕРІАЛІВ КМР

№	Формат	Позначення	Найменування	К-сть листів	Прим.
			<u>Документація</u>		
1	A4	КНУ.КМР.131.25.1-16.ПЗ	Пояснювальна записка	120	
			<u>Графічні матеріали</u>		
2	A1	КНУ.КМР.131.25.1-16.АН	Агрегат насосний (складальне креслення)	1	
3	A2	КНУ.КМР.131.25.1-16.B	Вал	1	
4	A2	КНУ.КМР.131.25.1-16.B3	Вал (заготовка)	1	
5	A1	КНУ.КМР.131.25.1- 16.C3TO	Структура та зміст технологічних	2	
6	A1	КНУ.КМР.131.25.1-16.РТК	Розрахунково- технологічна карта	1	
7	A1	КНУ.КМР.131.25.1-16.ЛП	Лещата призматичні	1	
8	A1	КНУ.КМР.131.25.1-16.АПР	Аналіз проектних рішень	1	
9	A1	КНУ.КМР.131.25.1-16.ТЕП	Техніко-економічні показники	1	

					КНУ.КМР.131.25.1-16.ВМКМР						
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата							
Розроб.	Ткаченко				Відомість матеріалів КМР				Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Бондар										
Н. контр.	Нечаєв										
Затверд.	Рязанцев				Кафедра ТМ гр. ПМ-24м						

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА.....	11
1.1 Характеристика і службове призначення виробу, умови експлуатації, опис функцій, які виконують функціональні поверхні деталі.....	11
1.2 Опис функцій, які виконують функціональні поверхні деталі.....	12
1.3 Аналіз вимог до точності деталі	13
1.4 Характеристика матеріалів деталі	15
1.5 Вибір режимів роботи цеху, розрахунок річних фондів часу	17
1.6 Характеристика виробничої програми.....	18
1.7 Визначення типу виробництва.....	19
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	20
2.1 Аналіз технологічності деталі.....	20
2.2 Аналіз діючих технологічних процесів	22
2.3 Аналіз методів одержання заготовки	23
2.4 Вибір методів обробки поверхні.....	26
2.5 Розробка маршрута виготовлення деталі.....	30
2.6 Вибір технологічних баз.....	33
2.7 Розрахунок похибок базування.....	38
2.8 Розробка структури та змісту технологічних операцій.....	39
2.9 Вибір обладнання	43
2.10 Вибір верстатних пристосувань.....	45
2.11 Вибір різального інструменту	46
2.12 Визначення припусків на обробку та операційні розміри деталі.....	47
2.13 Розрахунок режимів, сил та потужності різання	53
2.14 Нормування технологічних операцій.....	56
2.15 Програмування токарної операції у САМ-системі.....	58
3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	60
3.1 Проектування пристосування для встановлення та закріплення оброблювальної деталі.....	60
3.2 Обчислення сили затиску	61
4 ДОСЛІДНА ЧАСТИНА. АНАЛІЗ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ ЧЕРЕЗ ВИПРОБУВАННЯ ВАЛУ НА КРУЧЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ CAD/CAE-ТЕХНОЛОГІЙ	66
4.1 Проектування і налаштування обчислювального випробовування.....	66
4.2 Результати випробовування та інтерпретація епюр	70
5 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА	74
5.1 Визначення кількості виробничого обладнання	74
5.2 Визначення чисельності персоналу.....	76
5.3 Розрахунок капітальних вкладень	79

					КНУ.КМР.131.25.1-16.3									
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата										
Розроб.		Ткаченко			Зміст				Літ.		Арк.		Аркушів	
Перевір.		Бандар												
Н. контр.		Нечаєв												
Затверд.		Рязанцев												
					Кафедра ТМ гр. ПМ-24м									

5.3.1 Розрахунок вартості споруд цеху	80
5.3.2 Розрахунок вартості обладнання	81
5.3.3 Розрахунок капітальних вкладень в обігові кошти	83
5.3.4 Планування фондів заробітної плати працівників.....	83
5.3.5 Планування фондів заробітної плати ІТР, службовців та МОП	87
5.3.6 Визначення середньої заробітної платні.....	87
5.4 Розрахунок собівартості продукції.....	89
5.5 Техніко-економічні показники роботи механічного цеху	96
5.6 Охорона праці та екологія на підприємстві.....	97
5.7 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які впливають на процес виробництва деталі.....	99
5.8 Інженерні рішення та пропозиції по забезпеченню безпеки технологічного процесу	102
ВИСНОВКИ.....	104
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	105
ДОДАТОК А.....	108
ДОДАТОК Б	111

					КНУ.КМР.131.25.1-16.3	Аркуш
						3
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної магістерської роботи містить 108 сторінок, 19 рисунків, 17 таблиць та 9 аркушів графічної частини.

Метою магістерського проекту є удосконалення базових технологічних процесів механічної обробки деталей шляхом модернізації виробництва — заміни застарілого універсального обладнання на сучасні верстати з числовим програмним керуванням (ЧПК). Реалізація цього підходу спрямована на підвищення точності, стабільності параметрів якості та ефективності технологічного процесу виготовлення деталі типу «вал насосного агрегату».

У межах роботи здійснено аналіз конструкції деталі вала з позицій її механічної стійкості до дії крутних навантажень, що дало змогу оцінити надійність елемента в умовах експлуатаційних перевантажень.

У першому розділі подано технічну характеристику деталі, обґрунтовано вибір матеріалу — сталі 45 відповідно до ДСТУ 7809:2015, визначено її призначення та місце в складальному вузлі насосного агрегату.

У другому розділі розглянуто базовий технологічний процес виготовлення деталі та розроблено оновлений технологічний маршрут обробки на верстатах з ЧПК, реалізований у САМ-системі FeatureCAM, що забезпечує автоматизацію побудови траєкторій інструмента та генерування керуючих програм.

У третьому розділі спроектовано технологічне оснащення — призматичні лещата, необхідні для надійного закріплення заготовки під час обробки.

У четвертому розділі виконано CAE-аналіз у середовищі SolidWorks Simulation, у межах якого проведено статичне дослідження деталі "вал". Побудовані епюри напружень і деформацій дали змогу виявити зони підвищених напружень та сформулювати рекомендації щодо підвищення експлуатаційної надійності деталі.

					<i>КНУ.КМР.131.25.1-16.P</i>			
<i>Змін.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ Документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Ткаченко</i>			<i>Реферат</i>			
<i>Перевір.</i>		<i>Бондар</i>						
<i>Н. Контр.</i>		<i>Нечаєв</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Рязанцев</i>						
						<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
					<i>Кафедра ТМ гр. ПМ-24м</i>			

У п'ятому розділі розглянуто питання охорони праці та безпеки виробничого процесу, наведено аналіз небезпечних і шкідливих факторів у механообробному цеху, а також здійснено економічне обґрунтування ефективності впровадження розробленої технології.

Отримані результати підтверджують, що модернізація технологічного процесу виготовлення вала насосного агрегату із застосуванням CAD/CAE/CAM-систем і верстатів з ЧПК дозволяє досягти високої точності обробки, зменшити трудомісткість та собівартість продукції, а також забезпечує економічну доцільність виробництва.

ВАЛ, НАСОСНИЙ АГРЕГАТ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВИГОТОВЛЕННЯ, ВЕРСТАТ З ЧПК, САМ-СИСТЕМА, SOLIDWORKS SIMULATION, CAE-АНАЛІЗ, ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ.

					КНУ.КМР.131.25.1-16.Р	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

6
ABSTRACT

The explanatory note to the Master’s qualification thesis contains 108 pages, 19 figures, 17 tables, and 9 sheets of graphical material.

The purpose of the project is to improve the basic technological processes of mechanical machining by modernizing production facilities—replacing outdated universal equipment with modern Computer Numerical Control (CNC) machines. This modernization aims to increase machining accuracy, process stability, and overall production efficiency during the manufacturing of the “pump shaft” component.

Within the scope of the research, an analysis of the shaft structure was carried out to evaluate its mechanical resistance to torsional loads, which made it possible to assess the reliability of the part under emergency operating conditions.

The first chapter presents the technical characteristics of the part, justifies the selection of material—Steel 45 according to DSTU 7809:2015, and describes its purpose and function within the pump assembly.

The second chapter examines the basic technological process and develops an improved machining route using CNC equipment, implemented in the FeatureCAM software environment, which enables automated toolpath generation and CNC program creation.

The third chapter describes the design of technological equipment—prismatic vise fixtures, ensuring reliable workpiece clamping during machining.

The fourth chapter presents CAE analysis performed in SolidWorks Simulation, including a static study of the “shaft” part. The generated stress and deformation plots allowed for the identification of high-stress areas and formulation of recommendations to improve the operational reliability of the component.

The fifth chapter addresses occupational safety and labor protection within the machining environment, providing an analysis of hazardous and harmful production factors and an economic justification for the efficiency of the proposed technology.

The obtained results confirm that the modernization of the pump shaft manufacturing process using CAD/CAE/CAM systems and CNC machines enables high

					<i>KHY.KMP.131.25.1-16.P</i>	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

machining accuracy, reduced labor intensity and production cost, and ensures the overall economic feasibility of production.

SHAFT, PUMP UNIT, MANUFACTURING PROCESS, CNC MACHINE, CAM SYSTEM, SOLIDWORKS SIMULATION, CAE ANALYSIS, ECONOMIC EFFICIENCY.

					KHU.KMP.131.25.1-16.P	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

ВСТУП

Сучасний етап розвитку машинобудівного комплексу України характеризується інтенсивною цифровізацією виробничих процесів, упровадженням автоматизованих систем проєктування, аналізу та виготовлення, а також переходом до високотехнологічних виробництв, здатних забезпечувати високу точність і стабільну якість продукції. В умовах зростаючої конкуренції на світовому ринку та потреби в енергоефективному, надійному і технологічному обладнанні, особливої актуальності набуває проблема підвищення ефективності технологічної підготовки виробництва деталей машин, зокрема деталей обертових вузлів – таких як вали насосних агрегатів.

Розвиток машинобудування в Україні потребує переосмислення традиційних підходів до конструкторсько-технологічного проєктування. Нині провідні підприємства галузі орієнтуються на впровадження інтегрованих CAD/CAE/CAM-технологій, які забезпечують безперервність інформаційного потоку на всіх етапах життєвого циклу виробу – від створення тривимірної моделі до виготовлення готової деталі на верстатах з числовим програмним керуванням (ЧПК). Такі підходи дозволяють суттєво скоротити час розроблення технологічного процесу, мінімізувати похибки проєктування, оптимізувати витрати матеріалів та забезпечити високу якість обробки поверхонь.

Одним із напрямів реалізації державної політики цифрової трансформації промисловості є створення «цифрових двійників» виробів і технологічних процесів, що забезпечує можливість віртуальної перевірки працездатності деталей ще до етапу їх виготовлення. Для цього застосовуються CAE-системи інженерного аналізу (Computer-Aided Engineering), які дозволяють дослідити напружено-деформований стан елементів, виявити потенційні концентрації напружень, а також удосконалити геометрію деталі з метою підвищення її

					<i>КНУ.КМР.131.25.1-16.В</i>			
<i>Змін.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ Документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Ткаченко</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-24м</i>		

довговічності. У поєднанні з CAD-системами проєктування (Computer-Aided Design) та CAM-модулями програмування обробки (Computer-Aided Manufacturing) формується єдиний інформаційний простір, у якому всі зміни конструкції автоматично узгоджуються з технологічною моделлю, що відповідає принципам індустрії 4.0.

Вал насосного агрегату є однією з найвідповідальніших деталей у складі машин гідравлічних систем. Він передає обертальний момент, сприймає згинальні, осьові та крутильні навантаження, тому до його точності, жорсткості та якості поверхні ставляться підвищені вимоги. Від досконалості технології виготовлення вала безпосередньо залежить надійність і довговічність усього насосного вузла. Тому розроблення оптимальної технології його виготовлення із застосуванням сучасних CAD/CAE/CAM інструментів і верстатів з ЧПК є важливим завданням сучасного машинобудування.

У даній кваліфікаційній магістерській роботі розроблено технологічний процес виготовлення вала насосного агрегату, який відповідає вимогам сучасних міжнародних стандартів до точності, шорсткості, твердості та якості матеріалу. На основі 3D-моделі, створеної в CAD-середовищі SolidWorks, виконано структурно-технологічний аналіз деталі, визначено базові поверхні та технологічні розміри, а також проведено оцінювання напружено-деформованого стану за допомогою CAE-модуля Simulation. Для розроблення маршрутного та операційного процесу виготовлення використано CAM-середовище, у якому виконано побудову траєкторій обробки на верстаті з ЧПК, вибір різального інструменту та режимів різання.

Отримані результати демонструють можливість повної інтеграції етапів проєктування, моделювання та виготовлення в єдиній інформаційній системі, що забезпечує скорочення тривалості технологічної підготовки виробництва та підвищення точності виготовлення деталей. Запропонована методика дозволяє створювати оптимізовані технологічні процеси з урахуванням енергетичних, ресурсних і економічних критеріїв ефективності.

					<i>КНУ.КМР.131.25.1-16.В</i>	Аркуш
						9
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Таким чином, актуальність теми дипломної роботи зумовлена потребою у впровадженні сучасних цифрових технологій у процеси технологічної підготовки виробництва на машинобудівних підприємствах України, що сприятиме підвищенню їхньої конкурентоспроможності на міжнародному ринку. Наукова новизна полягає у системному застосуванні CAD/CAE/CAM-підходів для комплексного проєктування технології виготовлення вала, з урахуванням інженерних розрахунків, технологічних обмежень і параметрів обробки. Практична цінність роботи полягає у створенні реальної технологічної документації, придатної для використання у виробничих умовах при виготовленні валів насосних агрегатів на верстатах із ЧПК.

Отже, робота спрямована на підвищення ефективності виробництва деталей насосного устаткування, удосконалення процесів технологічного проєктування та впровадження інноваційних засобів цифрового моделювання, що відповідають сучасним тенденціям розвитку машинобудування в Україні.

					КНУ.КМР.131.25.1-16.В	Аркуш
						10
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Характеристика і службове призначення виробу, умови експлуатації, опис функцій, які виконують функціональні поверхні деталі

Агрегат насосний призначений для транспортування пароводяної пульпи на сепаратор. Агрегат входить до змісту лінії первинної переробки птиці продуктивністю 1000, 1500, 2000, 3000 гол/год.

Продуктивність (подача), м ³ /год.....	75
Напір , мм. вод. ст.....	11
Встановлена потужність, кВт.....	11
Діаметр нагнітаючого патрубку, мм.....	150
Діаметр вхідного патрубку, мм.....	150
Габаритні розміри, мм, не більше	
Довжина.....	1130
Ширина.....	558
Висота.....	695
Маса, кг.....	450

Агрегат КНУ.КМР.131.25-16.АН представляє собою кронштейн 1 , яку служить одночасно корпусом який кріпиться до рами болтами за допомогою чотирьох лап з отворами під болти. У кронштейн 1 вмонтовано підшипниковий вузол, на якому обертається вал 2. З лівої сторони вала у кронштейн запресований підшипник. Рух підшипника обмежується торцем вала та стопорним кільцем. За підшипником розташована кришка 5, яка кріпиться до кронштейна за допомогою 6 болтів.

Для запобігання протіканню масла через щілини між кронштейном і кришкою застосовуються прокладка 20 та манжета 38. З правої сторони розта-

					<i>КНУ.КМР.131.25.1-16.01.34</i>			
<i>Змін.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ Документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Ткаченко</i>						
<i>Перевір.</i>		<i>Бондар</i>						
<i>Н. контр.</i>		<i>Нечаєв</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Рязанцев</i>						

<i>Загальна частина</i>			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
			<i>Кафедра ТМ гр. ПМ-24м</i>		

шовані два підшипника, які запресовані у стакані 3, який вставляється у кронштейн та кріпиться за допомогою 6 болтів. Між підшипниками розташована втулка 6. Підшипник піджимає гайка 23. Для фіксації гайки в загвинченому стані на валі є повздовжній паз для лапки стопорної шайби гайки 23 з шайбою 24, яка через різьбове з'єднання накручується на вал 1. Для запобігання протіканню масла через щілини між кронштейном і стаканом 3 застосовуються масло утримуюче кільце 22, а для протіканню масла через щілини між кронштейном і кришкою 4 застосовується прокладка 21 та манжета 37.

На валу за допомогою шпонкового з'єднання та різьбового отвору закріплено зубчасте колесо. Обертання зубчастого колеса здійснюється за допомогою клинопасової передачі від електродвигуна, який розташований над кронштейном та кріпиться за допомогою різьбового з'єднання болтами. Втулка 11 встановлюється між валом та фланцем 9, потім заводиться набивка 43. Грун-букса прикріплюється 12 двома шпильками до фланця і потім надівається на вал. Суміщаються отвори під болти та фланець затягується болтами. З лівої сторони вала надівається шпонка 41, за допомогою якої крильчатка 9 надівається на вал. Крильчатка закручується гайкою 10. Заводиться равлик 7 та затягується болтами.

Для проектування технологічного процесу було обрано деталь в складі насоса – вал, який виготовлений зі сталі 45 методом штампування на ГKM.

Умови експлуатації вибраної деталі є досить нестабільними - постійна підвищена вологість та температура, наявність достатньої кількості кисню для корозії. Саме тому при аналізі матеріалу даних деталей необхідно буде передбачити дані факти.

1.2 Опис функцій, які виконують функціональні поверхні деталі

Вал є однією з деталей агрегата, він має шпонковий паз та різьбовий отвір під болт для фіксації зубчастого колеса, різьбову поверхню, яка необхідна для загвинчення крильчатки, за допомогою якої на вал кріпиться равлик. Інша різьбова поверхня служить для гайки, яка запобігає зміщенню підшипників. Для

					КНУ.КМР.131.25.1-16.01.34	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

фіксації гайки в загвинченому стані на валі є повздовжній паз для лапки стопорної шайби гайки.

1.3 Аналіз вимог до точності деталі

Креслення деталі «Вал» в цілому виконане у відповідності з ДСТУ, бо мають в собі всі необхідні розміри хоча і мають позначення відхилень взаємного розташування та допусків на розміри за застарілими стандартами. Необхідно виконати креслення вала враховуючи сучасні вимоги ЕСКД та ДСТУ.

Згідно результатів аналізування точнісних характеристик деталі «Вал» відповідно заповнюємо таблиці 1.1 і робимо відповідні висновки.

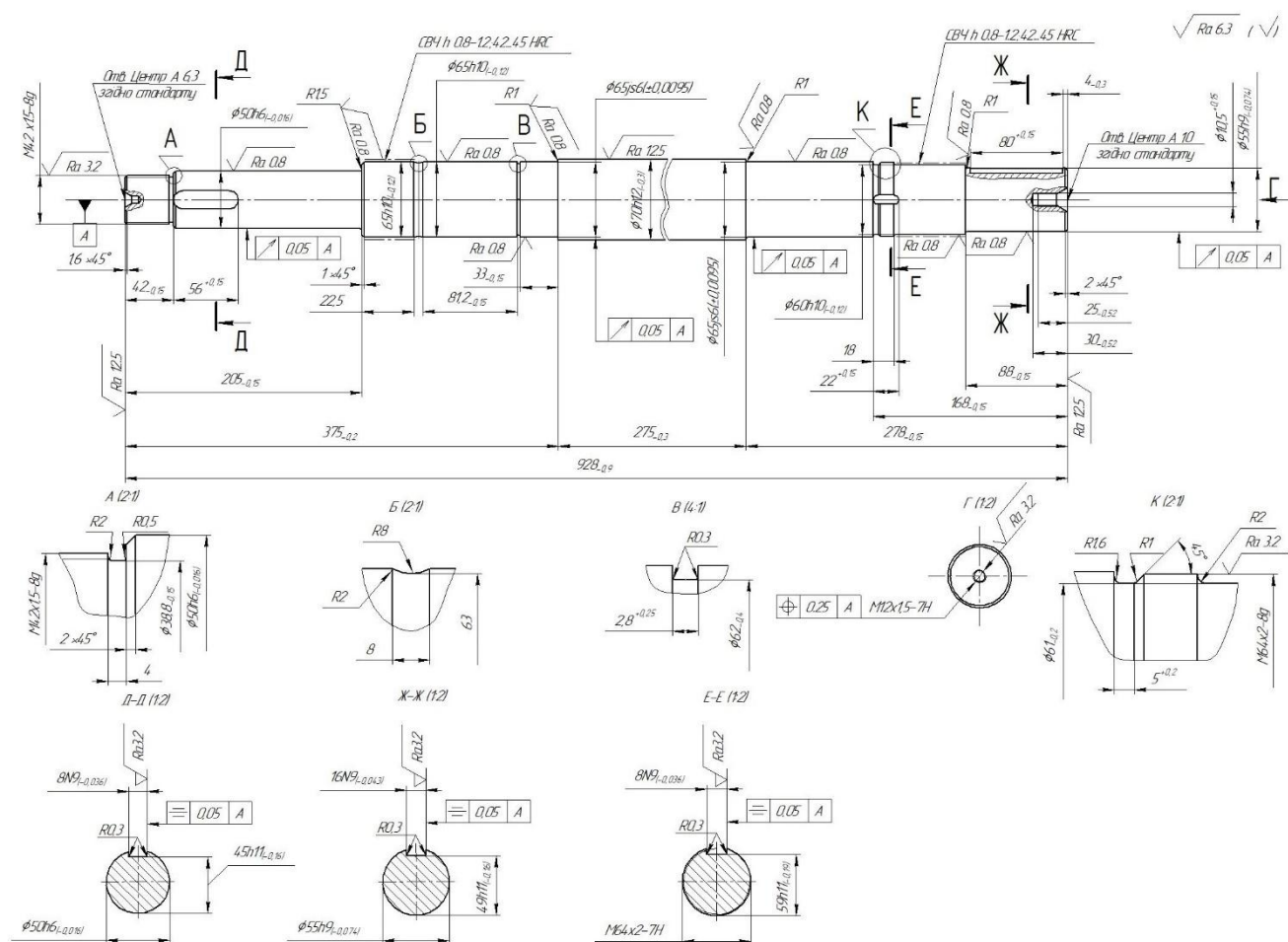
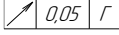
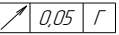
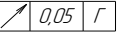
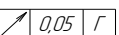
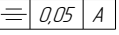
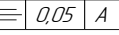
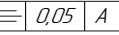
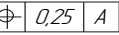


Рисунок 1.1 – Вал

					<i>КНУ.КМР.131.25.1-16.01.34</i>	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1 – Аналіз точнісних характеристик деталі

№ по-верхні	Назва поверхні	Розміри з відхиленнями	Квалітет точності	Точність форми	Точність розташування пов.	Шорсткість, R_a
1	2	3	4	5	6	7
1,12	Торець 928	928h12 _(-0,9)	h12	-	-	12.5
2	Різьба метрична	M42x1,5	8g	-	-	3.2
3	Циліндрична поверхня	Ø50 _(-0,016)	h6			0.8
4	Циліндрична поверхня	Ø65 _(-0,12)	h10	-	-	6,3
5	Циліндрична поверхня	Ø65 _(-0,12)	h10	-	-	0.8
6	Циліндрична поверхня	Ø65(±0,0095)	js6	-		0.8
7	Циліндрична поверхня	Ø70 _(-0,3)	h12	-	-	6,3
8	Циліндрична поверхня	Ø65(±0,0095)	js6	-		0.8
9	Різьба метрична	M62x2	8g	-	-	3.2
10	Циліндрична поверхня	Ø60 _(-0,12)	h10	-	-	0.8
11	Циліндрична поверхня	Ø55 _(-0,074)	h9	-		0.8
13	Шпонковий паз	45 _{-0,16}	h11	-		6,3
14	Шпонковий паз	50-0,19	h11	-		6,3
15	Шпонковий паз	59-0,19	h11	-		6,3
16	Різьба метрична	M12x1,5	7H	-		3,2
17	Канавка	Ø62 _(-0,4)	±IT14/2	-	-	6,3
18	Канавка	Ø61 _(-0,2)	±IT14/2	-	-	6,3

Виконавши аналіз параметрів точності деталі «Вал» робимо висновок – шорсткість поверхонь відповідає параметрам точності деталі. Найточніший розмір має поверхня 6 та 8 - $\varnothing 65_{js6} (\pm 0,0095)$. Найвища шорсткість $Ra = 0,8$ (мкм).

Деталь може бути досить легко виготовлена в умовах середньосерійного виробництва.

1.4 Характеристика матеріалів деталі

Деталь «Вал» виготовляється з вуглецевої конструкційної сталі 45 відповідно до вимог ДСТУ 7809:2015. Цей матеріал належить до групи якісних середньовуглецевих сталей, які широко застосовуються у машинобудуванні для виготовлення деталей, що працюють під дією помірних і підвищених навантажень. Основними вимогами до таких сталей є висока міцність, достатня в'язкість, стабільність структури після термічної обробки та добра оброблюваність різанням.

За результатами випробувань механічних властивостей сталі 45 віднесено до другої категорії контролю якості, яка передбачає обов'язкову перевірку показників межі міцності при розтязі та ударної в'язкості. Такий рівень контролю гарантує стабільність експлуатаційних характеристик деталей, виготовлених із цього матеріалу, та забезпечує надійність їхньої роботи у динамічно навантажених вузлах машин.

Хімічний склад сталі 45 регламентує вміст вуглецю у межах 0,42–0,56%, що забезпечує оптимальне поєднання міцності й пластичності після загартування та низького відпуску. Вона належить до покращувальних сталей першої групи, які використовуються після термічної обробки (загартування та відпуску) для отримання структури сорбіту або трооститу з підвищеними механічними властивостями.

Серед переваг сталі 45 варто відзначити високу оброблюваність різанням, добру зварюваність (за умови попереднього підігріву), а також стабільні розміри

					КНУ.КМР.131.25.1-16.01.34	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

після термообробки. Саме тому сталь 45 у машинобудуванні прийнято вважати еталонною, її оброблюваність умовно приймають за одиницю при порівнянні з іншими сталями.

У виробництві валів, осей, шпинделів, зубчастих коліс та інших деталей, що працюють у помірно навантажених умовах, сталь 45 застосовується найчастіше завдяки поєднанню достатньої твердості (до 50 HRC після гарту), високої втомної міцності та доступності матеріалу. Для деталей, які працюють у складніших умовах або потребують підвищеної зносостійкості, можливим є використання легованих аналогів, зокрема сталі 40X ДСТУ 7806:2015, що містить хром як основний легувальний елемент.

Сталь 40X відрізняється підвищеною прокалістю та більшою стабільністю структури при термічній обробці, що забезпечує поліпшені характеристики міцності, зносостійкості та опору втомі. Тому у випадках, коли до вала насосного агрегату висуваються підвищені вимоги до довговічності та надійності, сталь 40X може розглядатися як раціональний заміник сталі 45, зберігаючи при цьому добрі технологічні властивості під час механічної обробки.

Таблиця 1.2 – Хімічний склад та механічні властивості матеріалу деталі «Вал»

Марка сталі	Хімічний склад					Механічні властивості			
	C, %	Mn, %	Si, %	Ni, %	Cr, %	σ_B , МПа	$\sigma_{0.2}$, МПа	δ , МПа	НВ, МПа
Сталь 45	0,42-0,56	0,5-0,8	0,17-0,4	0,025	-	550	353	16	197
Сталь 40X	0,47-0,55	0,5-0,8	0,17-0,4	0,025	0,25	640	380	14	207

Таким чином, вибір сталі 45 як основного матеріалу для виготовлення вала обґрунтовується її збалансованими механічними, технологічними та експлуатаційними властивостями, а також відповідністю вимогам сучасних стандартів машинобудування. У подальших етапах технологічної підготовки виробництва доцільно виконати аналіз структури матеріалу після термообробки

					КНУ.КМР.131.25.1-16.01.34				Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата					

та розробити режими обробки, що забезпечують необхідні параметри точності та якості поверхні.

Як видно з таблиці ці сплави мають приблизно однаковий хімічний склад та механічні властивості, тобто вони можуть легко замінювати одна одну. Але при виборі матеріалу переваги слід віддати найбільш дешевій - базовій сталі - сталь 45.

1.5 Вибір режимів роботи цеху, розрахунок річних фондів часу

В загальне поняття режиму роботи цеху входять такі складові як змінність та дійсний річний фонд часу для роботи працівників та устаткування. Після обирання режиму роботи (приймаємо змінність, яка рівна одній зміні на робочий день для роботи працівників та двом змінам для роботи устаткування у цеху) встановлюємо фонди часу на рік для працівників та устаткування.

Ефективний фонд часу на рік роботи у цеху при 5-денному роб. тижні обчислюється так:

$$F_{д.в.} = ((366 - В.Д. - С.Д.) \cdot 8 - П.С.Д.) \cdot Z \cdot K_p, \quad (2.1)$$

де В.Д. – К-сть вихідних днів, приймаємо В.Д. = 105 (днів); С.Д. – К-сть святкових днів, приймаємо С.Д. = 10 (днів); П.С.Д. – К-сть передсвяткових днів, приймаємо П.С.Д. = 7 (днів); Z – К-сть змін роботи устаткування, приймаємо Z = 2 зміни; K_p = коефіцієнт часу перебування устаткування в ремонті, приймаємо $K_p = 0,95$.

Тоді отримаємо:

$$F_{д.в.} = ((366 - 105 - 10) \cdot 8 - 7) \cdot 2 \cdot 0,95 = 3802 \text{ (год.)}.$$

Приймаємо $F_{д.в.} = 3802$ (годин).

Ефективний річний фонд часу роботи працівника у цеху розраховуємо за формулою:

$$F_{д.в.} = ((365 - В.Д. - С.Д.) \cdot 8,2 - П.С.Д.) \cdot Z \cdot K_n, \quad (2.2)$$

де K_n – коефіцієнт неявки на роботу. Його ми визначаємо за формулою:

					КНУ.КМР.131.25.1-16.01.34	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

$$K_H = \frac{100 - C_H}{100}, \quad (2.3)$$

де $C_H = 9 - 12\%$. Приймаємо середнє значення $C_H = 10\%$.

Тоді отримаємо:

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

Підставивши обрані та розраховані значення у формулу, отримаємо:

$$F_{д.в.} = ((366 - 105 - 10) \cdot 8 - 7) \cdot 1 \cdot 0,9 = 1801 \text{ (год.)}.$$

Приймаємо $F_{д.в.} = 1801$ годин.

Таблиця 1.3 – Дійсний фонд часу на рік роботи працівників та устаткування

Назва	Змінність праці	Номінальний річний фонд часу F_n , год.	Коефіцієнт простою обладнання K_p	Коефіцієнт тривалості неявок та відпустки K_n	Дійсний річний фонд часу F_d , год.
1	2	3	4	5	6
Обладнання	2	4000	0,95	-	3802
Робочі місця	2	4000	-	-	4000
Працівники	1	2000	-	0,9	1801

1.6 Характеристика виробничої програми

Серійне виробництво – це виготовлення виробів обмеженої номенклатури партіями (серіями), які періодично повторюються. Нехай при маркетингових дослідженнях було доведено, що потрібність у агрегаті у даному регіоні становить 3200 штук, тоді, відповідно, потрібність у валах цього агрегата становить по 3200 штук, так як у нього по одній штуці на весь виріб.

Програму запуску виробу визначаємо за формулою:

$$N_{зап.} = (N_{вир.} + N_{зч.}) \cdot (1 + K_{бр.}), \quad (2.4)$$

					КНУ.КМР.131.25.1-16.01.34	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

де $N_{\text{вип.}}$ – річна програма випуску виробів, приймаємо 3200 штук; $N_{\text{зч.}}$ – К-сть виробів, які йдуть на запчастини, приймаємо рівною 3-5%, від програми випуску, визначаємо $N_{\text{зч.}}=150$ штук; $K_{\text{бр.}}$ – коефіцієнт, який враховує технологічні витрати що неможливо уникнути, приймаємо 2-3% від сумарної кількості виробів, які формують програму випуску та які йдуть на запчастини ($N_{\text{вип.}}+N_{\text{зч.}}$).

$$N_{\text{зап.}} = (3200 + 150) \cdot (1 + 0,03) = 3460 \text{ шт.}$$

1.7 Визначення типу виробництва

Тип виробництва — це класифікаційна характеристика виробничої системи, що визначається параметрами широти номенклатури продукції, рівнем повторюваності операцій, стабільністю технологічних процесів та обсягом випуску виробів. Залежно від масштабів виробничої програми, специфіки технологічного процесу та особливостей продукції розрізняють три основні типи виробництва. Одиначне — виготовлення окремих виробів або невеликих партій з високою варіативністю. Серійне — випуск продукції серіями з певною регулярністю та стандартизованими операціями. Масове — безперервне виробництво великого обсягу однотипних виробів із високим рівнем автоматизації.

Можна зробити висновок, що при даному обсязі виробництва його тип є середньосерійним.

Таблиця 1.4 – Подетальна річна програма цеху

Назва виробу	Маса виробу	Річна програма випуску					
		Штук				Нормо-години	
		Випуск	Запасні частини	Брак	Запуск	На одиницю	На програму запуску
Насос	450	3200	160	100	3460	2,54	8815,79
Вал	21	3200	160	1100	3460	0,746	2581,73

					КНУ.КМР.131.25.1-16.01.34		Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата			

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Аналіз технологічності деталі

Аналіз технологічності деталі починають після визначення типу виробництва, адже кожен тип має власні методи виготовлення заготовок та способи їх обробки. Якісна оцінка технологічності виконується за матеріалом, формою, точністю та станом поверхонь, а також за правильністю нанесення розмірів і можливими методами отримання заготовки. Кількісна оцінка базується на абсолютних і відносних показниках. Спершу визначають параметри базової деталі та аналізованої: коефіцієнт використання матеріалу, точність обробки, шорсткість поверхонь, трудомісткість виготовлення та технологічну собівартість.

Під час аналізу необхідно перевірити такі аспекти: можливість спрощення конструкції та зменшення залишків матеріалу, формування більш раціональної форми з доступними для обробки поверхнями та достатньою жорсткістю для зниження металомісткості й трудомісткості (жорстка деталь дозволяє застосовувати продуктивні режими різання). Слід оцінити можливість зменшення кількості оброблюваних поверхонь, наявність зручних базових площин або створення допоміжних баз у вигляді поясків чи бобишок. Важливо технологічно узгодити розміри для скорочення розмірних ланцюгів, обрати оптимальний метод виготовлення заготовки з високим коефіцієнтом використання матеріалу та мінімальною трудомісткістю. Для деталей, що піддаються термообробці, слід передбачити елементи, які зменшують короблення при нагріванні та охолодженні.

Поняття «технологічність» також полягає в тому, що при конструюванні деталей необхідно забезпечувати вимоги експлуатації виробів та вимоги на більш раціональне та продуктивне їх виготовлення.

					КНУ.КМР.131.25.1-16.02.ТЧ							
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата								
Разроб.		Ткаченко			Технологічна частина				Літ.		Арк.	Аркушів
Перевір.		Бондар										
Н. контр.		Нечаєв										
Затверд.		Рязанцев										
					Кафедра ТМ гр. ПМ-24м							

Результати аналізу технологічності деталі «Вал» заносимо відповідно до таблиць 2.1.

Таблиця 2.1 - Аналіз технологічності вала

№, п/п	Показники вимог до технологічності	Висновки по показнику	Заходи щодо поліпшення технологічності
1	2	3	4
1.	Наявність зручних баз, що забезпечують необхідну орієнтацію та надійне закріплення заготовки	Так, технологічно	-
2.	Чи необхідні додаткові ребра жорсткості ?	Ні, технологічно	-
3.	Наявність глухих отворів	Ні, технологічно	-
4.	Ступінчаті вали повинні мати невеликі переходи по діаметру, а їх довжини однаковими, або кратними.	Зважаючи на те, що вал має значну довжину, дана вимога не дійсна, так як вона передбачає собою обробку на багато інструментальних верстатах.	При обробці вал має бути закріплений в люнеті, для підвищення його жорсткості та точності обробки.
5.	Чи можлива багатошпиндельна та (або) багатоінструментальна обробка ?	Так, технологічно, можлива багатоінструментальна обробка	-
6.	Чи є внутрішні торці, які необхідно обробляти?	Ні, технологічно	-
7.	Чи є скоси або пази під кутами відмінними від 45° ?	Ні, технологічно	-
8.	Чи є в деталі різьби, менші за М6 ?	Ні, технологічно	-
9.	Точність штампування заготовки	-	Бажана штампована поковка класу точності Т4
10.	Чи від однієї бази проставлені розміри ?	Ні, не технологічно	Необхідний перерахунок розмірів, враховуючи методи обробки

1	2	3	4
11.	Чи є великі перепади ступінчастих валів ?	Ні, не технологічно	-
12.	Вали повинні мати центровочні отвори	Дана вимога виконується	-

Проаналізувавши таблицю 2.1, можна зробити висновок, що деталь є технологічною для даного виду виробництва за більшістю показників.

2.2 Аналіз діючих технологічних процесів

Вал спочатку виготовляли з прокату розміром $\varnothing 75 \times 935$ мм, що потребувало великих припусків на механічну обробку. Хоча цей спосіб є відносно дешевим, він призводить до значних витрат часу та ресурсів на зняття надлишкового матеріалу, а коефіцієнт використання металу залишається низьким. Тому пропонується застосувати штампування для отримання заготовки. Цей метод забезпечує мінімальні припуски, що дозволяє скоротити кількість операцій механічної обробки, зменшити потребу у верстатах та оптимізувати виробничий процес.

На підприємстві виготовлення вала здійснюється із застосуванням універсальних верстатів, стандартних пристроїв та різального інструменту. Для серійного виробництва доцільно використовувати верстати з ЧПК та спеціалізовані пристрої. Використання сучасного різального інструменту дає змогу підвищити швидкість різання, що значно скорочує штучний час обробки, зменшує витрати енергії, інструменту та інших ресурсів. У результаті собівартість деталі знижується, а ефективність виробництва зростає.

В цілому діючі технологічні процеси, документацію на які було взято на виробництві, гарно складені, але вони написані для дрібносерійного виробництва. Отже для того щоб впровадити на виробництво, яке у даний час є у нас середньо серійним, необхідно зробити зміни у вже існуючих технологічних процесах на подані деталі. Зокрема необхідно технологічне устаткування, яке було застосовано при дрібносерійному виробництві, а саме, універсальне, замінити на верстати з

					КНУ.КМР.131.25.1-16.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

ЧПК по можливості. Такі верстати за своїми можливостями можуть зменшити в порівнянні з іншими час налагодження та переналагодження на виготовлення інших деталей в сучасних умовах нестійкої номенклатури виготовлення виробів.

2.3 Аналіз методів одержання заготовки

Під час техніко-економічного аналізу вибору способу виготовлення заготовок необхідно порівняти два можливі технологічні варіанти. Обирають той метод, який забезпечує оптимальне співвідношення вартості, якості готового виробу та продуктивності. Якщо показники продуктивності однакові, перевагу надають варіанту з нижчою собівартістю. У випадку рівності вартості вибір роблять на користь більш продуктивного способу, за умови гарантованого дотримання встановлених вимог до якості виробу.

Для деталі «Вал», яка виготовляється з вуглецевої конструкційної сталі Ст45 найбільш доцільними буде два способи: прокат та штампування на ГKM.

Горизонтально-кувальні машини (ГKM) належать до класу горизонтальних кривошипних гарячештампових пресів із діапазоном зусиль 6,3...125 МН. На цьому обладнанні виконують штампування у відкритих та закритих штампах, а також у штампах, призначених для операцій видавлювання. Характерним технологічним процесом для ГKM є багатораструменева висадка у двох роз'ємних закритих штампах. Конструктивною особливістю штампів для таких машин є наявність двох площин роз'єму, що перетинаються під прямим кутом. Поковки, отримані на ГKM, зазвичай мають форму тіл обертання з прямолінійною віссю, що збігається з напрямком осі вихідного прутка. За геометричними ознаками їх переважно поділяють на дві групи: поковки у вигляді стрижнів суцільного перерізу з одним або кількома місцевими потовщеннями та стрижні з наскрізним отвором.

До недоліків горизонтально-кувальних машин належать обмежений асортимент та невелика маса поковок (до 150 кг), що можуть бути виготовлені на цьому обладнанні. Крім того, технологія потребує використання вихідного металопрокату, як правило, підвищеної точності, а в окремих випадках —

					КНУ.КМР.131.25.1-16.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

каліброваного. Це обумовлено тим, що робота ГKM здійснюється за принципом "врозпір", і навіть незначні відхилення у поперечному перерізі прокату звичайної точності призводять до неможливості або економічної недоцільності формування поковок у закритих та відкритих струмках.

Отже лишається тільки економічно порівняти лиття в піщані форми, які виконані за допомогою ручної або машинної формовки.

$$C = Q_3 \cdot \frac{S_3}{1000} \cdot k_T \cdot k_c \cdot k_B \cdot k_{M3} \cdot k_{B\delta} - (Q_3 - q_q) \frac{S_{відх}}{1000}, \quad (3.1)$$

де S_3 — стандартна ціна 1 т заготовок, (грн.); k_T , k_C , k_B , k_{M3} , $k_{B\delta}$ — коефіцієнт, який залежить відповідно від класу точності, класу складності, маси, марки матеріалу, від об'єму в-ва; q_q — маса вала, (кг); $S_{відх}$ — ціна 1 т відходів, грн.

Коефіцієнти k_T , $k_{П}$, k_B , k_C , k_M знаходимо за [3].

Для виготовлення за допомогою ручної формовки:

- а) в залежності від точності: $k_T=1,32$
- б) в залежності від програми випуску: $k_{П}=1$;
- в) в залежності від маси виливки: $k_B=1,2$;
- г) в залежності від групи складності: $k_C= 1$;
- д) в залежності від матеріалу: $k_M=1$

Для виготовлення за допомогою машинної формовки:

- а) в залежності від точності: $k_T=1,05$
- б) в залежності від програми випуску: $k_{П}=1$;
- в) в залежності від маси виливки: $k_B=1$;
- г) в залежності від групи складності: $k_C= 1$;
- д) в залежності від матеріалу: $k_M=1$

Отже визначаємо:

$S_3 = 8896$ (грн.) за 1 т, $S_{відх}=500$ (грн.) за 1т. Для першого і другого методу виготовлення заготовки деталі “ Вал” ці коефіцієнти визначаємо за [3] та клас точності поковки – Т4, група сталі – М2, ступінь складності – С3, вихідний індекс – 12.

					КНУ.КМР.131.25.1-16.02.Т4	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Тоді отримаємо відповідно до першого і другого методу: $k_{T1}=1,25$, $k_{T2}=1,23$, $k_{C1}=1,25$, $k_{C2}=1,27$, $k_{M31}=0,83$, $k_{M32}=0,72$, $k_{B1}=1,0$, $k_{B2}=1,0$, $k_{BB1}=1,35$, $k_{BB2}=1,27$; q_q – маса деталі, становить $q_q=21$ (кг);

Масу заготовки визначаємо через об'єм заготовки помножений на питому вагу сталі. Питома вага сталі 45 складає 7850 (кг/м³)

Об'єм знаходимо за геометричною формою та розмірами заготовки

$$V_3 = \frac{\pi}{4} (D_1^2 \cdot l_1 + D_2^2 \cdot l_2 + D_n^2 \cdot l_n) \quad (3.2)$$

Для першого способу об'єм становить:

$$V_3 = \frac{\pi}{4} (0,075^2 \cdot 0,935) = 0,004128 (\text{м}^3)$$

Для другого способу об'єм становить:

$$V_3 = \frac{\pi}{4} (0,047^2 \cdot 0,0445 + 0,0536^2 \cdot 0,1625 + 0,07^2 \cdot 0,17 + 0,074^2 \cdot 0,281 + 0,07^2 \cdot 0,13 + 0,065^2 \cdot 0,0595 + 0,06^2 \cdot 0,095) = 0,003257 (\text{м}^3)$$

Маючи питому вагу сталі 45 визначаємо масу заготовки:

$$G_{31} = V_{31} \cdot \gamma \quad (3.3)$$

Для першого способу маса становить:

$$G_{31} = V_{31} \cdot \gamma = 0,004128 \cdot 7850 = 32,4 \text{ (кг)}$$

Для другого способу маса становить:

$$G_{32} = V_{32} \cdot \gamma = 0,003257 \cdot 7850 = 25,56 \text{ (кг)}$$

Отже собівартість заготовки, виготовленої прокатом:

$$C_1 = \left(32,4 \cdot \frac{8896}{1000} \right) \cdot (1,25 \cdot 1,25 \cdot 0,83 \cdot 1 \cdot 1,35) - (32,4 - 21) \frac{500}{1000} = 498,92 \text{ (грн.)}$$

Собівартість заготовки, виготовленої штампуванням на ГKM:

$$C_2 = \left(25,56 \cdot \frac{8896}{1000} \right) \cdot (1,23 \cdot 1,27 \cdot 0,72 \cdot 1 \cdot 1,27) - (25,56 - 21) \frac{500}{1000} = 322,50 \text{ (грн.)}$$

Так як другий метод є вигідніший на 170 (грн.) то обираємо штампування на ГKM.

					КНУ.КМР.131.25.1-16.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

2.4 Вибір методів обробки поверхні

Оскільки окремі поверхні деталі виконують неоднакові функціональні завдання, до них висуваються відмінні вимоги щодо шорсткості, точності розмірів та точності взаємного розташування. Досягнення необхідних параметрів здійснюється шляхом застосування різних технологічних методів механічної обробки, кожен із яких забезпечує певний рівень точності та якості поверхні. Під час формування маршруту обробки слід керуватися принципом послідовного підвищення точності: кожна наступна операція має забезпечувати вищий рівень точності й якісніший стан поверхні порівняно з попередньою.

К-сть ступенів обробки обчислюють:

$$\varepsilon = \frac{T_3}{T_d} = \frac{T_3}{T_1} \cdot \frac{T_3}{T_2} \dots \frac{T_{i-1}}{T_i} \dots \frac{T_{n-1}}{T_d} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \dots \varepsilon_n = \prod_i^n \varepsilon_i, \quad (3.4)$$

де: ε — загальне значення; ε_i — окремі ступені уточнення; n — число ступенів обробки; T_3 , T_d , T_i — відповідно допуски для заготовки, деталі, окремого ступеня обробки.

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

Для найбільш спрямованого вибору числа ступенів обробки необхідно застосувати формулу:

$$n_p = l_g(\varepsilon) / 0,46 \quad (3.5)$$

Приклад для обробки циліндричної поверхні 4 вала $\varnothing 65h10_{(-0,12)}$ (мм).

Допуск за кресленням 0,12 (мм), допуск заготовки 2,5 (мм). Отже загальне уточнення становить:

$$\varepsilon = \frac{2,5}{0,12} = 20,83$$

Орієнтовна К-сть ступенів обробки становить:

					КНУ.КМР.131.25.1-16.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

					<i>КНУ.КМР.131.25.1-16.02.ТЧ</i>	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
8	6	0,019	0,8	2,5	15	131,57	1.	Точіння чорн.	12	0,3	8,33	131,57
							2	Точіння н/чист.	11	0,19	1,578	
							3	Точіння чист.	8	0,046	4,13	
							4	Шліфування	6	0,019	2,42	
							1	Точіння чорн.	12	0,3	8,33	131,57
							2	Точіння н/чист.	9	0,074	4,05	
							3	Шліфування	6	0,019	3,89	
9	8	0,039	3,2	2,5	15	64,1	1	Точіння чорн.	12	0,3	8,33	64,1
							2	Точіння н/чист.	11	0,19	1,578	
							3	Точіння чист.	8	0,046	4,13	
							4	Нарізання різьби	8	0,39	1,78	64,1
							1	Точіння чорн.	12	0,3	8,33	
							2	Точіння н/чист.	9	0,1	3	
							3	Нарізання різьби	8	0,039	2,564	
10	10	0,12	6,3	2,5	15	20,83	1	Точіння чорн.	14	0,74	3,37	20,83
							2	Точіння н/чист.	12	0,3	2,46	
							3	Точіння чист.	11	0,19	1,57	
							4	Шліфування	10	0,12	1,58	
							1	Точіння чорн.	14	0,74	3,37	20,83
							2	Точіння н/чист.	12	0,3	2,46	
							3	Шліфування	10	0,12	2,5	
11	9	0,0	0,8	2,5	15	33,7	1	Точіння чорн.	14	0,74	3,37	33,7
							2	Точіння н/чист.	12	0,3	2,46	
							3	Точіння чист.	11	0,19	1,57	
							4	Шліфування	9	0,074	2,56	
							1	Точіння чорн.	14	0,74	3,37	
							2	Точіння н/чист.	11	0,19	3,9	
							3	Шліфування	9	0,074	2,56	
13	11	0,16	6,3	-	-	-	1	Фрезерування одноразове	11	0,16	-	-
14	11	0,16	6,3	-	-	-	1	Фрезерування одноразове	11	0,16	-	-

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
15	11	0,19	6,3	-	-	-	1	Фрезерування одноразове	11	0,19	-	-
16	7H	-	3,2	-	-	-	1	Свердління	12	0,15	-	-
							2	Нарізання різьби	7H	0,015	-	
17	± IT14/2	0,4	6,3				1	Точіння одноразове	± IT14/2	0,4	-	-
							2	Точіння одноразове	± IT14/2	0,4	-	-
18	± IT14/2	0,2	6,3				1	Точіння одноразове	± IT14/2	0,2	-	-
							2.	Точіння одноразове	± IT14/2	0,2	-	-

2.5 Розробка маршрута виготовлення деталі

Маршрут виготовлення деталі «Вал» будуємо на основі обраних окремих варіантів маршрутів обробки поверхонь деталі з урахуванням типу виробництва.

Технологічні маршрути виготовлення деталі наводимо у вигляді послідовності обробки зі стислим змістом операцій. Отже після проведення аналізу маршрут виготовлення деталі «Вал» наводимо у вигляді таблиць 2.3.

Таблиця 2.3 - Маршрут виготовлення вала

Номер і назва операції	Обладнання	Номери та зміст переходів та установів
1	2	3
005 Заготівельна	Горизонтально- кувальна машина	Штамповка поковки на ГKM

Продовження таблиці 2.3

1	2	3
010 Термічна		Нормалізація (згідно типового ТП).
015 Токарно-гвинторізна	Токарно-гвинто-різний верстат моделі 1М63	Встановити заготовку, закріпити і зняти. 1. Підрізати торець лівий начисто. 2. Центрувати лівий отвір центровий А6.3 згідно стандарту Перестановити заготовку 3. Точити правий торець витримаючи розміри 1 і 2 4. Центрувати правий отвір центровий А10 згідно стандарту
020 Горизонтально-фрезерна	Горизонтально-консольно-фрезерний верстат моделі 6Р82Г	Встановити заготовку, закріпити і зняти. 1. Сверлити отвір витримуючи розміри 1,2 2. Нарізати різьбу М12х1.5-7Н у розміри 3,4
025 Токарна з ЧПК	Токарно-гвинторізний верстат з ЧПК моделі 16 К20Ф3	Встановити деталь, закріпити і зняти. 1. 1. Точити 7 поверхонь начорно витримуючі розміри 1,2 відповідно (Ø56,1h14(-0,74),87,4(-0,3); 3,4 - відповідно Ø61,15h14(-0,74),;146,8(-0,35); 5,6 - відповідно Ø66,15h12(-0,3); 276,2 (-0,35); 7,8 - відповідно Ø70,6h14(-0,74); 554,2(-0,4). 2. Точити 7 поверхонь напівчисто витримуючі розміри 9-11. 3. Точити фаску і канавку витримуючи розміри 17-20 та радіуси згідно ескізу. 4. Точити 5 поверхонь начисто та точити різьбу витримуючи розміри 21,28.

Продовження таблиці 2.3

1	2	3
030 Токарна з ЧПК	Токарно- гвинторізний верстат з ЧПК моделі 16 K20Ф3	Встановити деталь, закріпити і зняти. 1. Точити 6 поверхонь начорно витримуючі розміри 1,2 – відповідно $\varnothing 43d11(-0,08/-0,24)$, $41,4(-0,3)$; 3,4- відповідно ($\varnothing 50,95h12(-0,3)$, $203,8(-0,3)$; 5,6- відповідно ($\varnothing 66,2h14(-0,74)$, $373,2(-0,35)$; 2. Точити поверхонь напівчисто витримуючі розміри 1-6. 3. Точити 2 фаски і канавку витримуючи розміри 7-11 та радіус згідно ескізу. 4. Точити фаску та 2 канавки витримуючи розміри 12-17 та радіус згідно ескізу. 5. Точити 5 поверхонь начисто та точити різьбу витримуючи розміри 18-27 та радіус згідно ескізу.
035 Шпоночно- фрезерна	Вертикально- фрезерний верстат моделі 6P11	Встановити деталь, закріпити і зняти. 1. Фрезерувати шпоночний паз витримуючи розміри 1-4. 2. Фрезерувати шпоночний паз витримуючи розміри 5-8. 3. Фрезерувати шпоночний паз витримуючи розміри 9-12.
040 Термічна	Установка високочастотна ЛЗ-13	Гартувати поверхні $\varnothing 60h11(-0,19)$ та $\varnothing 65h11(-0,19)$ до твердості HRC 42..45, $h=0,8...1,2$ мм .
045 Шліфувальна	Круглошліфувальний верстат моделі 3M163B	Встановити деталь, закріпити і зняти. 1. Шліфувати шийку витримуючи розміри 1 і 2 .
050 Шліфувальна		Встановити деталь, закріпити і зняти. 1. Шліфувати шийку витримуючи розміри 3 і 4 .
055 Шліфувальна		Встановити деталь, закріпити і зняти. 1. Шліфувати шийку витримуючи розміри 5 і 6.

Продовження таблиці 2.3

1	2	3
060 Шліфувальна		Встановити деталь, закріпити і зняти. 1. Шліфувати поверхні витримуючи розміри 7 і 8.
065 Шліфувальна		Встановити деталь, закріпити і зняти. 1. Шліфувати шийку витримуючи розміри 9 і 10.
070 Шліфувальна		Встановити деталь, закріпити і зняти. 1. Шліфувати шийку витримуючи розміри 11 і 12.
075 Мийна	Мийна машина.	Промити деталь.
080 Контрольна	-	Технічний контроль ОТК.

2.6 Вибір технологічних баз

База – це сукупність елементів, які належать заготовці або деталі та які визначають положення останніх відносно конкретної системи координат.

Схема базування – це схема розміщення опорних точок на базах комплекта. У свою чергу різні схеми базування визначають за собою різні конструктивні варіанти реалізації одного і того ж комплекта баз пристосування.

Правильний вибір схем базування має ключове значення на етапі розроблення технологічного процесу виготовлення деталі, оскільки коректне встановлення та фіксація заготовки забезпечують досягнення необхідної точності оброблюваних поверхонь, їх якісного стану та раціональної послідовності технологічних операцій. Для визначення оптимальних схем базування використовують конструкторське креслення деталі, яке дозволяє встановити функціонально важливі поверхні та вимоги до їхнього взаємного розташування.

					КНУ.КМР.131.25.1-16.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Вибір схем базування здійснюється відповідно до прийнятої послідовності технологічного процесу з обов'язковим дотриманням принципу єдності баз, що забезпечує стабільність точності на всіх етапах обробки.

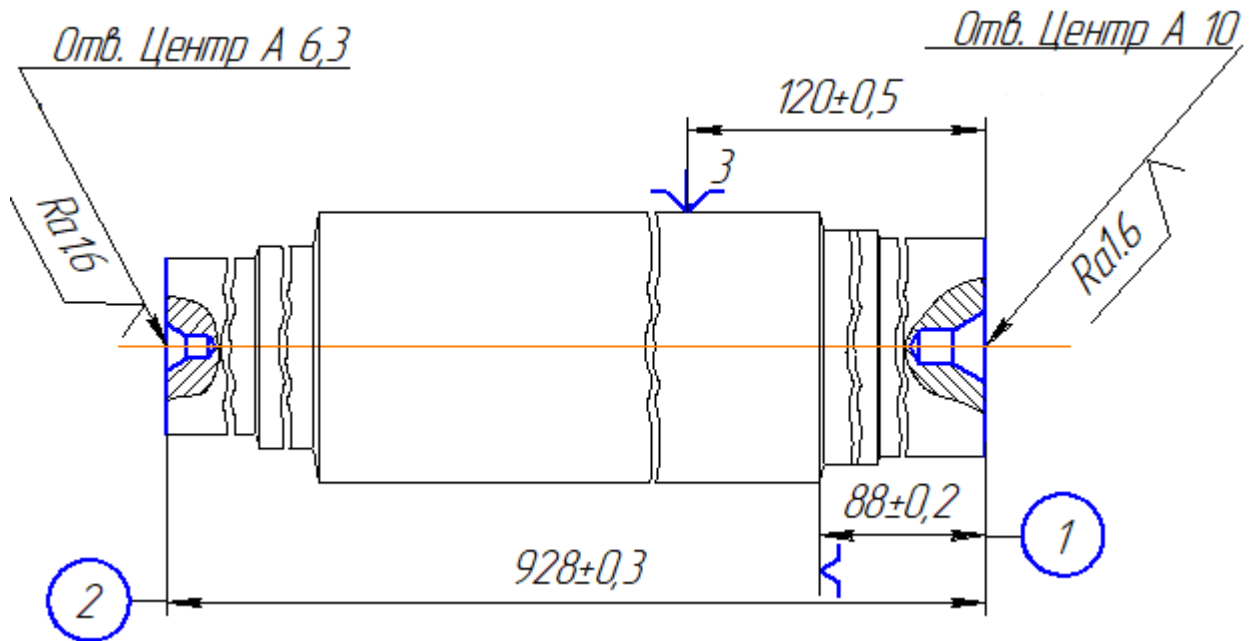


Рисунок 2.1 – Базування вала на операції 015

На рисунку 3.1 показана схема базування деталі на токарно-гвинторізній операції в трьохкулачковому патроні, який забезпечує мінімальну похибку базування. Обробка торців та свердління центрових отворів з обох сторін проводиться за 2 установки деталі в патроні.

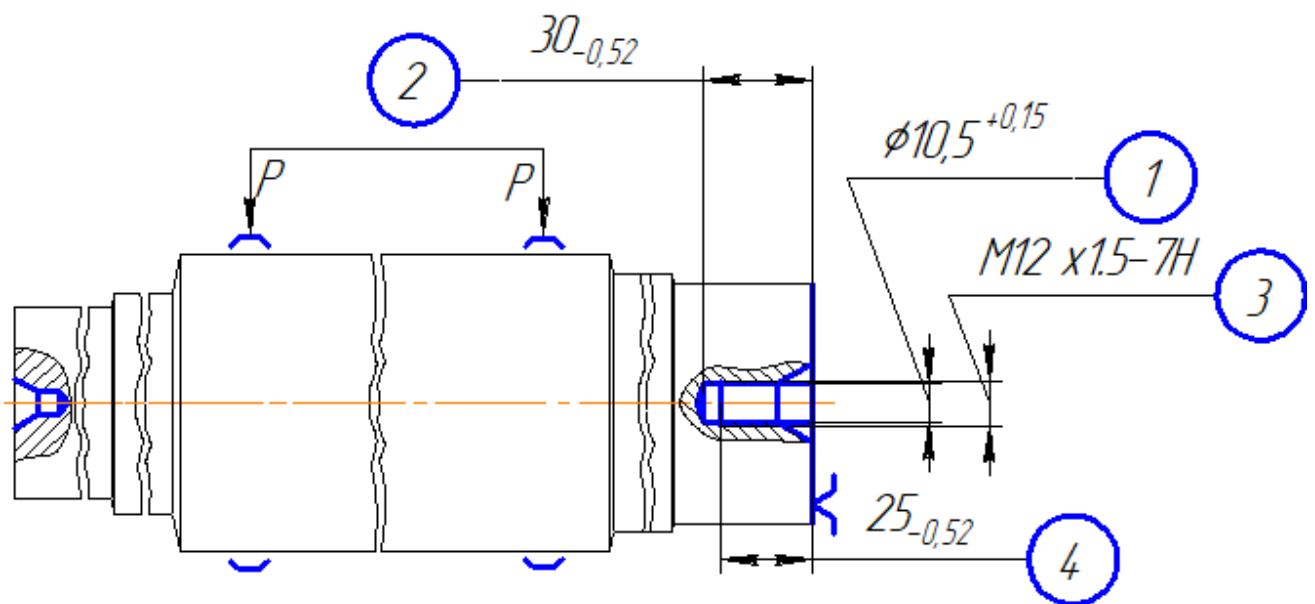


Рисунок 2.2 – Базування вала на операції 020

					КНУ.КМР.131.25.1-16.02.ТЧ		Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата			

На рисунку 2.2 показана схема базування деталі на горизонтально-фрезерної операції. Деталь встановлюється у призми затискного пристосування. Деталь встановлюється, включається зажим пристосування. В процесі встановлення деталь орієнтується з мінімальною похибкою в поперечному та вертикальному напрямках. Збільшення похибки у вертикальному напрямку виникає тільки за рахунок присутності допуску виготовлення діаметра базуючи поверхонь деталі.

Дана схема базування використовується для виконання технологічних операцій на станках з ЧПК. В нашому випадку для виконання чорнового точіння 7 поверхонь вала.. Проводимо встановлення заготовки в центрах, з яких лівий центр жорсткий, а правий – утоплювальний. Для передачі крутного моменту проводимо затискання по зовнішньому діаметру заготовки, з лівої сторони закріплюємо поводковий патрон.

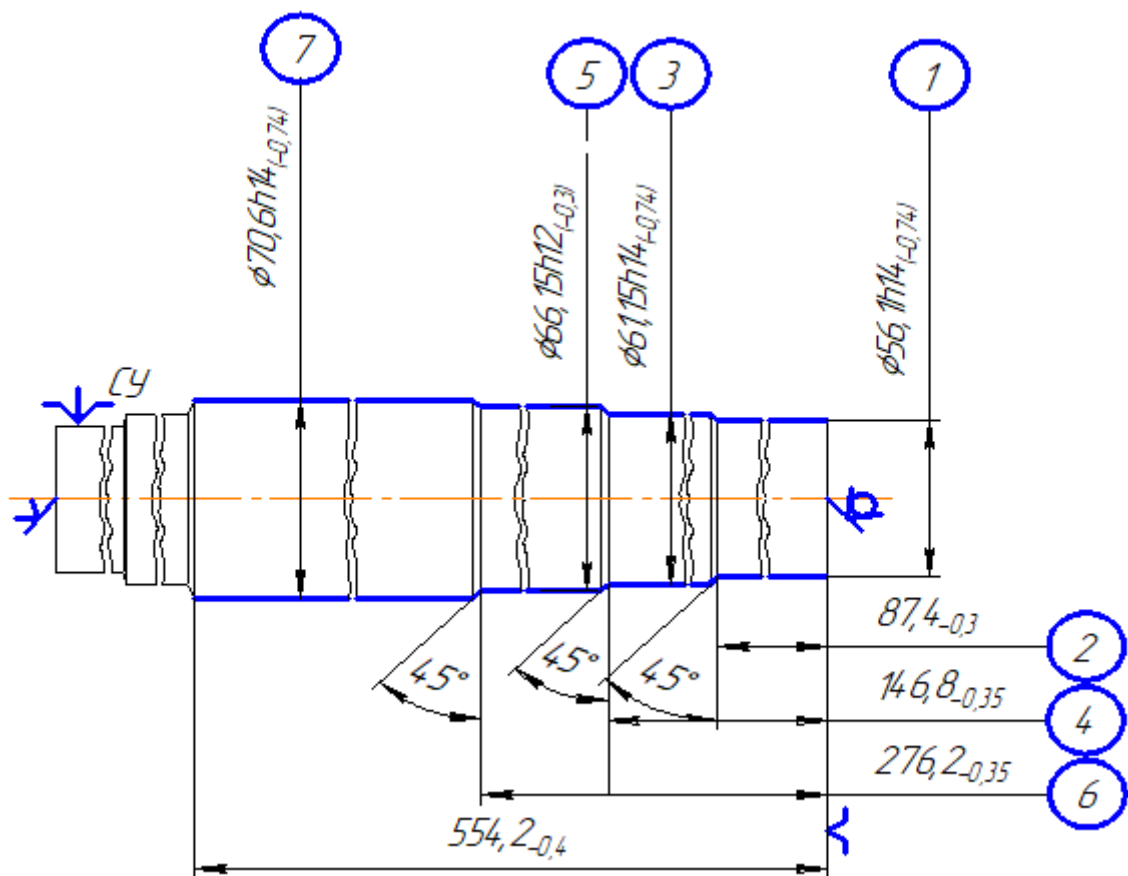


Рисунок 2.3 – Базування вала на операції 025

					КНУ.КМР.131.25.1-16.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Таким чином деталь у даному випадку позбавляється п'яти ступенів вільності, залишаючи можливість їй обертатися навколо своєї повздовжньої вісі. Передній центр позбавляє деталь трьох ступенів вільності і називається опорноцентруючою базою, а задній центр – двох ступенів вільності і називається центруючою базою. Аналогічна схема затискання використовується при обробці іншої сторони вала на операції 030

Цей метод затискання застосовується з метою запобігання зміщення заготовки з осі обертання під дією затискних елементів.

На рисунку 2.4 показана схема базування деталі на шпоночно-фрезерній операції (перехід 1). Деталь встановлюється у призми затискного пристосування. Деталь встановлюється, включається зажим пристосування. В процесі встановлення деталь орієнтується з мінімальною похибкою в поперечному та вертикальному напрямках. Збільшення похибки у вертикальному напрямку виникає тільки за рахунок присутності допуску виготовлення діаметра базуючи поверхонь деталі.

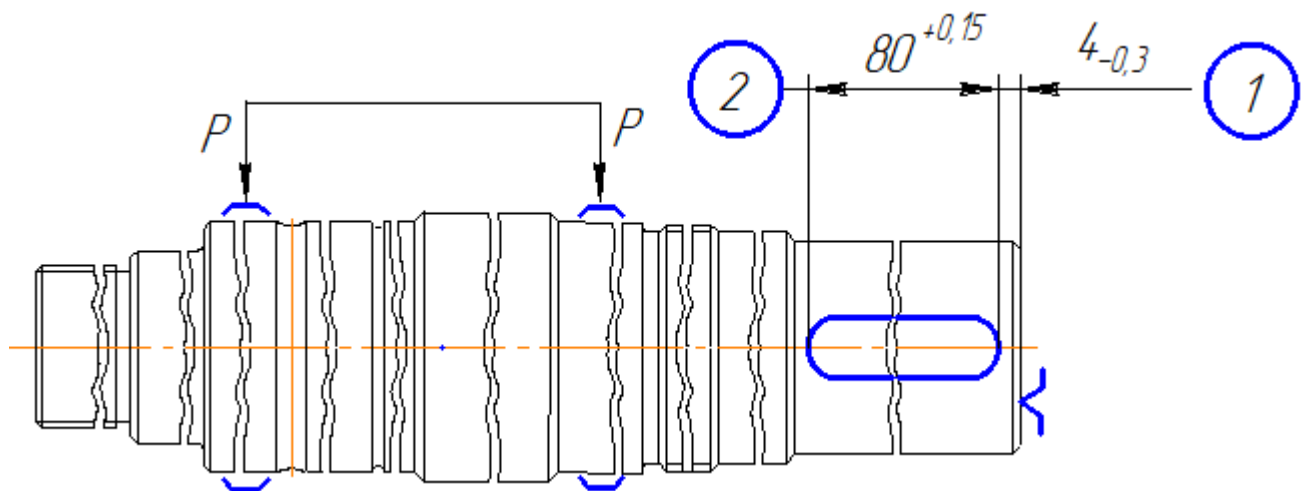


Рисунок 2.4 – Базування вала на операції 035 (перехід 1)

Дана схема базування використовується у наступних переходах данної операції по базуючим циліндричним поверхням також у призмах, а базування в повздовжньому напрямку виконується при виконання правої торцевої поверхні вала.

					КНУ.КМР.131.25.1-16.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

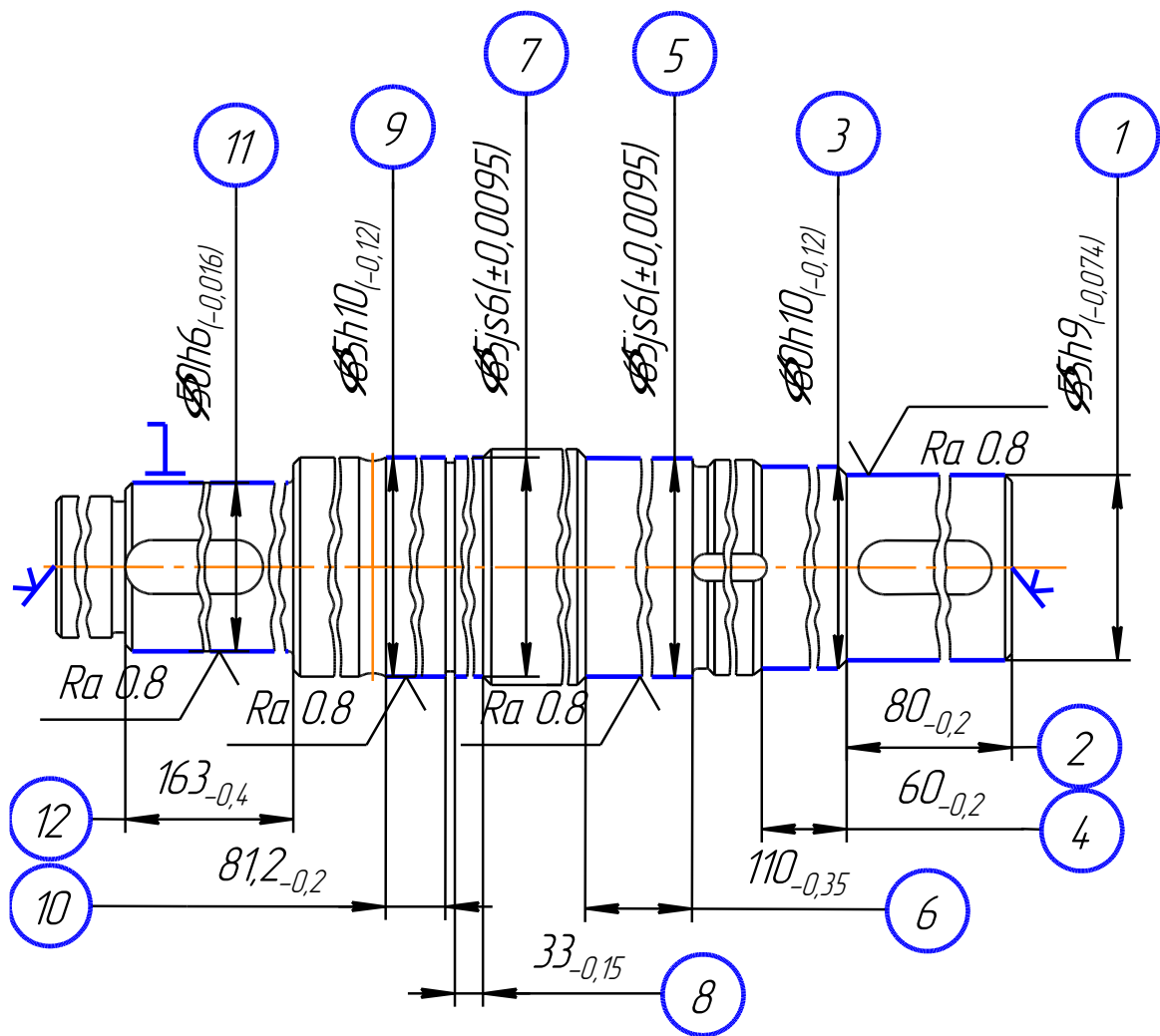


Рисунок 2.5 – Схема базування вала на операціях 055-070

На рисунку 2.5 показана схема базування деталі на шліфувальній операції.. Проводимо встановлення деталі в жорстких Для передачі крутного моменту встановлюємо з лівої сторони заготовки хомутка для шліфувальних робіт. Величина затискання в осьовому напрямку регламентується регулюванням гідравлічної системи верстата з урахуванням повздовжньої жорсткості деталі та запобігання можливості поперечного переміщення деталі в процесі обробки в центрах. Дана схема базування використовується в наступних шліфувальних операціях без перевстановлення деталі.

Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата

КНУ.КМР.131.25.1-16.02.ТЧ

Аркуш

2.7 Розрахунок похибок базування

Похибка базування визначається як відхилення фактичного положення заготовки від заданого після її встановлення в пристосуванні. Необхідність розрахунку цієї похибки виникає у випадках порушення принципу єдності баз, коли вимірювальна база не збігається з технологічною, що призводить до можливих зміщень і втрати точності обробки.

У нашому випадку при обробці вала на шпоночно-фрезерній операції 035 заготовка закріплюється у призматичних лещатах КНУ.КМР.131.25.1-16.ЛП тому похибка базування $\varepsilon_B = 0$.

Похибка координатного розміру складається не тільки з похибки базування ε_B , а ще й з похибки закріплення ε_3 та похибки пристрою (положення заготовки в затискному пристосуванні) $\varepsilon_{Пр}$.

Ця сума похибок складає похибку встановлення, яка розраховується за формулою:

$$\varepsilon_{Вст} = \sqrt{\varepsilon_B^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{Пр}^2}, \quad (2.1)$$

Похибка пристрою визначається за формулою:

$$\varepsilon_{Пр} = \sqrt{\varepsilon_{yc}^2 + \varepsilon_{Cn}^2 + \varepsilon_B^2}, \quad (2.2)$$

де ε_{yc} – неточність виготовлення та складання установочних елементів, визначаємо її з інтервалу $\varepsilon_{yc} = 0 \dots 15$ (мкм). Отже приймаємо $\varepsilon_{yc} = 10$ (мкм). ε_{Cn} – похибка від спрацювання установочних елементів пристосування (залежить від їх міцності, кількості контактів), розраховуємо її за формулою:

$$\varepsilon_{Cn} = K_{Rz} \cdot Rz + \frac{K_{HB}}{HB} + C_1 \cdot \frac{Q}{19,6 \cdot l}^n, \quad (2.3)$$

де HB – твердість матеріалу заготовки, приймаємо HB=197, Q – сила затискання заготовки, кг (Q=54,54 кг), l – довжина контакту, см (l=16 см), Rz – шорсткість поверхні заготовки, мкм (Rz=160 мкм).

Значення поправкових коефіцієнтів визначаємо за [9]: $K_{Rz}=0,005$, $K_{HB}=15$, $C_1=0,086+8,4/D_{Зар}=0,086+8,4/65=0,215$, $n=0,7$, де $D_{Зар}$ – діаметр заготовки, мм $D_{Зар} = 65$ (мм).

					КНУ.КМР.131.25.1-16.02.Т4	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Підставивши значення у формулу (2.3) отримаємо:

$$\varepsilon_{Cn} = \left(\left(0,005 \cdot 160 + \frac{15}{197} \right) + 0,215 \right) \cdot \left(\frac{54,54}{19,6 \cdot 16} \right)^{0,7} = 6,5 \text{ (мкм)},$$

ε_B – похибка, яка залежить від встановлення пристрою на верстаті у зв'язку із зміщенням із зміщенням корпусу пристрою. Отже виходячи з вище викладеного визначаємо похибку встановлення пристрою на верстаті з такого інтервалу $\varepsilon_B = 10 \dots 20$ мкм. Приймаємо, що $\varepsilon_B = 15$ мкм.

Підставивши отримані значення у формулу, отримаємо:

$$\varepsilon_{Ip} = \sqrt{10^2 + 17,2^2 + 15^2} = 19,16 \text{ (мкм)},$$

ε_3 – похибка закріплення, яка виникає внаслідок зміщення заготовки під впливом сили затискання через деформацію системи заготовка – установчі елементи – корпус пристрою. Приймаємо що $\varepsilon_3 = 0$.

Тоді, підставивши значення у формулу, отримаємо:

$$\varepsilon_{Bcm} = \sqrt{0^2 + 0^2 + 19,16^2} = 19,16 \text{ (мкм)}.$$

В загальному випадку отримана похибка встановлення повинна бути рівна або менша від допустимої:

$$\varepsilon_{Bct} \leq [\varepsilon], \quad (2.4)$$

де $[\varepsilon] = (0,7 \dots 0,8) \cdot T$; T – Допуск на оброблюваний розмір, мкм.

В нашому випадку при фрезеруванні паза у розмір $16N9_{(-0.036)}$ мм $[\varepsilon] = 0,7 \cdot 36 = 25,2$ мкм, тобто:

$$\varepsilon_{Bct} = 19,16 \leq [\varepsilon] = 25,2 \text{ (мкм)}.$$

2.8 Розробка структури та змісту технологічних операцій

Технологічний процес виготовлення деталей значною мірою визначається типом виробництва та прийнятою організаційною формою роботи. Кожному типу виробництва відповідає власний набір методів механічної обробки, специфічне технологічне обладнання, оснащення та структура операцій, що безпосередньо відображається у технологічній документації. Із зростанням виробничої програми

					КНУ.КМР.131.25.1-16.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

підвищується рівень деталізації технологічного процесу та глибина його опрацювання. Так, в одиничному та малосерійному виробництві зазвичай визначають лише маршрут обробки, який оформлюються у вигляді маршрутного технологічного процесу без зазначення міжопераційних припусків, точних розмірів та режимів різання; обсяг операцій при цьому максимально укрупнюється. За умов обмежених технологічних можливостей орієнтація може здійснюватися не на середньоекономічну точність, а на досягну — з урахуванням високої кваліфікації виконавця. Виняток становлять процеси для верстатів із ЧПК, де ступінь деталізації документації є максимальною, оскільки всі функції керування обробкою мають бути формалізовані у вигляді керуючої програми.

У серійному виробництві кожна операція розробляється у більш структурованому вигляді з виділенням установів, позицій, переходів, припусків і режимів різання. Технологічний процес оформлюється у вигляді карт, схем та інструкцій, що забезпечують стабільність виготовлення деталей та вузлів. Найбільш високий рівень деталізації технологічних процесів застосовується в масовому виробництві, де опрацьовують усі елементи технології з максимальною точністю та стандартизованістю.

Розроблену структуру та зміст технологічних операцій виготовлення обраних деталей оформлюємо у вигляді таблиць з ескізами на аркушах формату А1, а для порівняння у пояснювальну записку, також у вигляді таблиць заносимо лише базові (заводські) технологічні процеси виготовлення необхідних нам деталей.

Таблиця 2.4 – Структура та зміст технологічних операцій виготовлення вала (базова)

Номер і назва операції	Найменування верстата	Зміст переходів та установів
1	2	3
005 Фрезерно- відрізна	Фрезерний відрізний верстат 8Б66.	Відрізати від прутка заготовку Ø75×940

					КНУ.КМР.131.25.1-16.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 2.4

1	2	3
010 Токарно-гвинторізна	Токарно-гвинторізний 16K20	Встановити заготовку, закріпити і зняти. 1. Підрізати поверхню 1 начисто 2. Центрувати лівий торець А6.3 Перезакріпити деталь, піджати центром 3. Точити поверхню 11 витримуючи розміри $\varnothing 62_{-0,74}$, 168 мм Перевстановити деталь, закріпити і зняти 4. Підрізати поверхню 12 витримуючи у розмір $928_{-0,9}$ 5. Центрувати правий торець А10
015 Токарна	Токарно-гвинторізний верстат моделі 16K25.	Встановити заготовку, закріпити і зняти. 1. Точити поверхню 7 витримуючи розмір $\varnothing 70h12_{(-0,3)}$ до кулачків. 2. Точити поверхню 6 витримуючи розміри $\varnothing 65,7h11_{(-0,19)}$ 375 $_{-0,3}$. 3. Точити поверхню 3 витримуючи розміри $\varnothing 50,7h9_{(-0,074)}$ 205 $_{-0,15}$, витримаючи R1,5. 4. Точити поверхню 2 витримуючи розмір $\varnothing 41,8f8_{(-0,064)}^{(-0,025)}$ у розмір 42 $_{-0,15}$. 5. Точити канавку витримуючи розміри $\varnothing 38,8_{-0,15}$; 4; 45 0 та R2. 6. Точити канавку витримуючи розміри $\varnothing 63; 8$; R8
015 Токарна	Токарно-гвинторізний верстат моделі 16K25.	7. Точити поверхню 17 витримуючи розміри $\varnothing 62_{-0,4}$; 2,8 $^{+0,2}$; R0,3. 8. Точити поверхні 4,5 витримуючи розміри $\varnothing 65h10_{(-0,12)}$; 134,2 $_{-0,3}$ 9. Точити поверхню 6 витримуючи розміри $\varnothing 65,3h9_{(-0,074)}$; 33 $_{-0,15}$ 10. Точити фаску по поверхні 3 витримуючи розмір 2x45 0 11. Точити фаску по поверхні 2 витримуючи розмір 2x45 0 12. Нарізати різьбу на поверхні 2 витримуючи розмір M42x1,5-8g (ліва). Перевстановити деталь, закріпити 13. Точити поверхню 11 витримуючи розміри $\varnothing 55,7h11_{(-0,19)}$; 88 $_{-0,15}$; R1

					КНУ.КМР.131.25.1-16.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 2.4

1	2	3
015 Токарна	Токарно-гвинторізний верстат моделі 16K25.	14.Точити поверхню 9 витримуючи розмір $\varnothing 63,8f9^{(-0,03)}_{(-0,104)}$; $130_{-0,15}$. 15. Точити поверхню 10 $\varnothing 60,7h12_{(-0,3)}$; $60_{-0,15}$ 16. Точити поверхню 8 витримуючи розміри $\varnothing 65,7h9_{(-0,074)}$; $278_{-0,15}$; R1. 17. Точити канавку 18 витримуючи розміри $\varnothing 61_{-0,1}$; $5^{+0,2}$ R1; 45^0 18.Точити фаску на поверхні 11 витримуючи розмір 2×45^0 19. Точити фаску на поверхні 9 витримуючи розмір 2×45^0
015 Токарна	Токарно-гвинторізний верстат моделі 16K25.	20. Нарізати різьбу на поверхні 9 витримуючи розмір M64x2-8g. Перезакріпити деталь (підвести люнет, відвести центр) 21.Свердлити отвір витримуючи розміри $\varnothing 10,5^{+0,2}$; $30_{0,52}$ 22. Нарізати різьбу M12-7H витримуючи розмір $25_{-0,52}$
020 Шпоночно-фрезерна	692М Призми (цехові)	Встановити деталь закріпити і зняти. 1.Фрезерувати шпоночний паз витримуючи розміри розміри $16N9$; $45h11_{(-0,16)}$; $56^{+0,15}$.
025 Шпоночно-фрезерна	692М Призми (цехові)	Встановити деталь закріпити і зняти. 1.Фрезерувати шпоночний паз витримуючи розміри $16N9$; $49h11_{(-0,16)}$; $80^{+0,15}$; $4_{-0,3}$
030 Шпоночно-фрезерна	692М Призми (цехові)	Встановити деталь закріпити і зняти. 1.Фрезерувати шпоночний паз витримуючи розміри $8N9$; $59h11_{(-0,19)}$; $80_{-0,2}$; $22^{+0,15}$
035 Шліфу-вальна		Встановити деталь, закріпити і зняти 1.Шліфувати поверхню 11 витримуючи розмір $\varnothing 55h9_{(-0,074)}$.

Продовження таблиці 2.4

1	2	3
040 Шліфу- вальна	Кругло- шліфувальний верстат моделі 3М163В	Встановити деталь, закріпити і зняти 1.Шліфувати поверхню 10 витримуючи розмір $\varnothing 60h10_{(-0.12)}$.
045 Шліфу- вальна		Встановити деталь, закріпити і зняти 1.Шліфувати поверхню 8 витримуючи розмір $\varnothing 65js6(\pm 0.0095)$.
050 Шліфу- вальна		Встановити деталь, закріпити і зняти 1.Шліфувати поверхню 3 витримуючи розмір $\varnothing 50h6_{(-0.019)}$.
055 Шліфу- вальна		Встановити деталь, закріпити і зняти 1.Шліфувати поверхню 6 витримуючи розмір $\varnothing 65js6(\pm 0.0095)$.
060 Контрольна	-	Технічний огляд ОТК

2.9 Вибір обладнання

Таблиця 2.5 – Металорізальні верстати для обробки вала

Модель верстата	Розміри оброблюваної деталі		К-сть	Частота	Подача, мм/хв. (мм/с)	Кількіст подач	Р, кВт	К-сть	Маса, т	Розміри, мм
	Ø	l								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Токарно- гвинторіз- ний верстат моделі 1М63	630	1500	22	12,5-1600	0,06- 1,4/ 0,024- 0,37	22	18,5	1	4	1590 x 3655 x 1420

					КНУ.КМР.131.25.1-16.02.ТЧ					Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата						

Продовження таблиці 2.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Гори зонтально-кон- сольно фрезерний верстат моделі 6P82Г	420	800	18	31,5-16000	25- 1250/ 25- 1250/ 8,3- 416,6	18	7,5	1	2,9	2305x1950x1680
Токарно- гвинторізний верстат з ЧПК Моделі 16K20Ф3	400	1000	20	12,5-2000	3- 1200/ 1,5- 600	20	10	1	4	3360x1710x1750
Вертикальний фрезерний верстат моделі 6P11	350	630	16	50-1600	35- 1200/ 14- 390	16	5,5	1	2,36	1480x1919x2360
Круглошліфувальний верстат моделі 3M163B	70	1400	БС	35-620	0,1- 4,5	БС	13	1	9,22	5026x2930x2170

Вибір обладнання здійснюється за головним критерієм, який найбільш повно відображає його функціональне призначення та технічні можливості. Основним таким критерієм є характер обробки, для виконання якої конструктивно призначений верстат: токарне обладнання застосовують для операцій точіння, свердлильні верстати — для свердління, зенкерування та суміжних видів обробки тощо. Такий підхід забезпечує раціональне використання устаткування відповідно

					КНУ.КМР.131.25.1-16.02.ТЧ					Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата						

до його технологічної спеціалізації. Отже після аналізу технологічних процесів та типу виробництва обране технологічне устаткування заносимо до таблиці 2.5.

2.10 Вибір верстатних пристосувань

Таблиця 2.6 – Затискні пристрої для вала

№ операції	Найменування пристрою	Код
1	2	3
Операція 015 Токарно-гвинторізна	Патрон трьохкулачковий самоцентруючий	7100-0015
020 Горизонтально- фрезерна	Пристосування затискне КНУ.КМР.131.25.1-16.ЛП	-
025 Токарна з ЧПК	Центр, що обертається	7032-0045
	Патрон поводковий з утоплюючим центром	-
030 Токарна з ЧПК	Центр, що обертається	7032-0045
	Патрон поводковий з утоплюючим центром	-
035 Шпоночно-фрезерна	Пристосування затискне КНУ.КМР.131.25.1-16.ЛП	-
045 Круглошліфувальна	Центра жорсткі Хомутик для шліфувальних робіт	396181 7107-0068
050 Круглошліфувальна	Центра жорсткі Хомутик для шліфувальних робіт	396181 7107-0068
055 Круглошліфувальна	Центра жорсткі Хомутик для шліфувальних робіт	396181 7107-0068
060 Круглошліфувальна	Центра жорсткі Хомутик для шліфувальних робіт	396181 7107-0068
065 Круглошліфувальна	Центра жорсткі Хомутик для шліфувальних робіт	396181 7107-0068
070 Круглошліфувальна	Центра жорсткі Хомутик для шліфувальних робіт	396181 7107-0068

					КНУ.КМР.131.25.1-16.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Під час вибору технологічних пристроїв враховують специфіку типу виробництва та вимоги до операцій. В умовах одиничного та дрібносерійного виробництва перевагу віддають універсальним пристроям — патронам, лещатам, ділильним головкам, поворотним столам та іншим засобам, що дозволяють швидко переналагоджувати обладнання для виготовлення різноманітних деталей. У великосерійному та масовому виробництві, навпаки, застосовують спеціальні пристрої, які забезпечують значніше скорочення основного й допоміжного часу та підвищують точність обробки порівняно з універсальними системами.

Раціональний вибір оснащення повинен базуватися на аналізі витрат на реалізацію технологічного процесу в заданий період часу та при визначеному обсязі продукції. Такий аналіз передбачає порівняння різних варіантів пристроїв, які відповідають однаковим технічним вимогам і забезпечують виконання аналогічних функцій у конкретних виробничих умовах. Під час вибору оптимального варіанта враховують технічні вимоги до деталі, обсяг і строки її виготовлення, а також вимоги техніки безпеки та інші експлуатаційні критерії.

Отже виходячи з вище сказаного добираємо верстатні затискні пристрої для обробки деталі: «Вал» і заносимо відповідно до таблиці 2.6.

2.11 Вибір різального інструменту

При виборі типу та конструкції різального інструменту необхідно враховувати характер виробництва, метод обробки, тип і технологічні можливості верстата, а також розміри, конфігурацію та фізико-механічні властивості оброблюваної заготовки. Крім того, слід враховувати вимоги до точності, шорсткості поверхні, режимів різання та забезпечення стійкості інструменту в конкретних умовах.

Отже заносимо відповідно до таблиці 2.7.

					КНУ.КМР.131.25.1-16.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Таблиця 2.7 – Різальний інструмент для обробки вала

№			Найменування інструменту
Опер.	Поз.	Пер.	
1	2	3	4
015	1	1,3	Різець прохідний
015	2	2	Свердло центрувальне А6,3
	3	4	Свердло центру вальне А10
020	1	1	Свердло спіральне
	2	2	Мітчик
025	1	1	Різець прохідний чорновий
	2	2	Різець прохідний напівчистовий
	3	3	Різець фасонний
			Різець канавочний
	4	4	Різець прохідний чистовий
			Різець різьбовий
030	1	1	Різець прохідний чорновий
030	2	2	Різець прохідний напівчистовий
	3	3	Різець фасонний
			Різець канавочний
	4	4	Різець фасонний
			Різець відрізний (b=2.8мм)
			Різець відрізний (R=8мм)
			Різець прохідний чистовий
	5	5	Різець різьбовий
035	1,3	1,3	Фреза
	2	2	Фреза
045	1	1	Круг шліфувальний ПП 750 80x305 24А 63Н СМ2Б K5 50м/с 2 кл А.
050	1		
055	1		
060	1		
065	1		
070	1		

2.12 Визначення припусків на обробку та операційні розміри деталі

Визначення оптимальних припусків на механічну обробку безпосередньо пов'язане з установленням проміжних та початкових розмірів заготовки. Ці

					КНУ.КМР.131.25.1-16.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

параметри необхідні для проєктування штампів, спеціального різального й вимірювального інструменту, а також для налаштування металорізальних верстатів та іншого технологічного обладнання. На основі встановлених припусків можна обґрунтовано визначити масу вихідних заготовок, режими різання та норми часу на виконання окремих операцій механічної обробки.

У машинобудуванні використовують два основні підходи до встановлення припусків: дослідно-статистичний і розрахунково-аналітичний. Згідно з дослідно-статистичним методом загальні та проміжні припуски визначають за таблицями, у яких узагальнено виробничий досвід передових машинобудівних підприємств. Однак такі припуски нерідко є завищеними, оскільки вони сформовані з орієнтацією на максимально консервативні умови обробки, де для мінімізації ризику отримання браку передбачається підвищений запас матеріалу.

Отже, приклад розрахунку припусків на найбільш точну поверхню розрахунково-аналітичним методом на ведемо для деталі «Вал» такою поверхнею буде $\varnothing 50h6_{(-0.016)}$ мм.

Як відомо, розрахунковий припуск при механічній обробці внутрішньої циліндричної поверхні визначають як різницю між найбільшими граничними розмірами на суміжних технологічних переходах:

$$2z_i^{\min} = D_i^{\max} - D_{i-1}^{\max}, \quad (2.5)$$

де $2z_i^{\min}$ — мінімальний припуск по діаметру, мм;
 $D_i^{\max}$ — максимальний розмір після попереднього переходу, мм;
 $D_{i-1}^{\max}$ — максимальний розмір після переходу, що виконується.

Для поверхонь обертання мінімальний припуск визначають за залежністю:

$$2z_i^{\min} = 2(RZ_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_{yi}), \quad (2.6)$$

де RZ_{i-1} — висота мікронерівностей поверхні після попереднього переходу;
 T_{i-1} — глибина дефектного шару;
 ρ_{i-1} — сумарне значення просторових відхилень;
 ε_{yi} — похибка встановлення на поточному переході. Наприклад для чорнового точіння мінімальний припуск складатиме:

					КНУ.КМР.131.25.1-16.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Технологічний перехід	Елемент припуску, мкм				Розр. припуск $2Z_{\min}$, мкм	Розр. розмір d_p , мм	Допуск δ , мкм	Гран. розмір, мм		Гран. припуск, мкм	
	R_z	T	ρ	ε				$D_{\min}$	$D_{\max}$	$2Z_{\min}$	$2Z_{\max}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Заготовка	150	200	975	-	-	53,6	2200	53,6	55,8	-	-
Точіння чорнове	63	60	55	0	2*1322	50,956	300	50,956	51,256	2644	4544
Точіння н/чист.	32	30	45	0	2*255	50,446	190	50,446	50,636	510	620
Точіння чистове	10	20	36	0	2*145	50,156	120	50,156	50,276	290	360
Шліфування чистове	6,3	12	18	0	2*86	49,984	16	49,984	50	172	276
Усього										3616	5800

Правильність розрахунків перевіряємо за формулою:

$$\Sigma 2z_{\max} - \Sigma 2z_{\min} = \delta_{\text{заг}} - \delta_{\text{лет}}, \quad (2.7)$$

де $\delta_{\text{заг}}$ та $\delta_{\text{дет}}$ - допуски заготовки та деталі відповідно, мкм.

$$5800-3616=2200-16$$

$$2184=2184.$$

За результатами розрахунку накреслимо схему розташування припусків та допусків (рис. 2.5).

На решту поверхонь обох деталей припуски визначаємо за довідниковими таблицями.

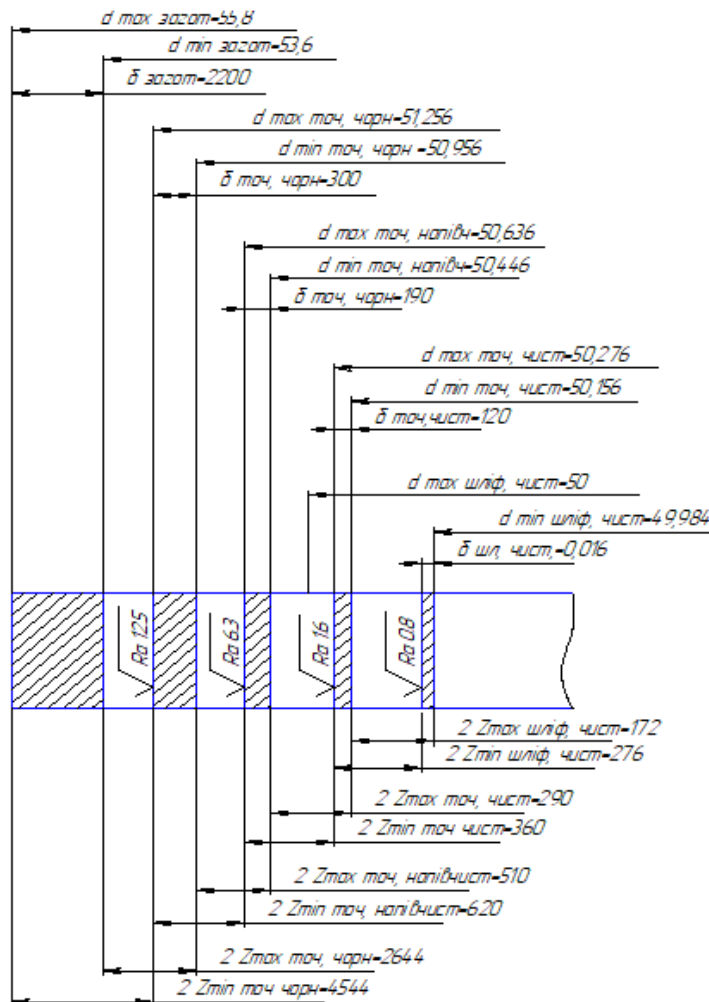


Рисунок 2.5 – Графічне розташування припусків та допусків

Отримані результати по всіх поверхнях заносимо в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 - Припуски і допуски

№ поверхні	Найменування поверхні	Найменування переходу	Припуск, мм	Квалітет	Технологічний допуск, мм
1	2	3	4	5	6
1,12	Торець 928 $\pm IT14/2 \pm 0,3$ мм	Фрезерування одноразове	-	$\pm IT14/2$	0,2

					КНУ.КМР.131.25.1-16.02.ТЧ		Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата			

Продовження таблиці 2.9

1	2	3	4	5	6
2	Різьба метрична M42×1,5-8g	Точіння чорнове	4	11	0,16
		Точіння н/чист.	0,7	9	0,062
		Точіння чистове	0,47	8	0,041
		Нарізання різьби	-	8	0,039
3	Циліндрична Ø50h6 _(-0,016)	Точіння чорнове	2,7	12	0,3
		Точіння напівчистове	0,51	11	0,19
		Точіння чистове	0,29	10	0,12
		Шліфування	0,172	6	0,016
4	Циліндрична Ø65h10 _(-0,12)	Точіння чорнове	3,8	14	0,74
		Точіння напівчистове	0,6	12	0,3
		Точіння чистове	0,6	10	0,12
5	Циліндрична Ø65h10 _(-0,12)	Точіння чорнове	3,8	14	0,74
		Точіння напівчистове	0,6	12	0,3
		Точіння чистове	0,4	11	0,19
		Шліфування	0,2	10	0,12
6	Циліндрична Ø65js6(±0,009 5) мм	Точіння чорнове	3,8	14	0,74
		Точіння напівчистове	0,6	12	0,3
		Точіння чистове	0,4	8	0,046
		Шліфування	0,2	6	0,019
7	Циліндрична Ø70h12 _(-0,3) мм	Точіння чорнове	3,4	14	0,74
		Точіння напівчистове	0,6	12	0,3

Продовження таблиці 2.9

1	2	3	4	5	6
8	Циліндрична Ø65js6(±0,009 5) мм	Точіння чорнове	3,8	14	0,74
		Точіння напівчистове	0,6	12	0,3
		Точіння чистове	0,4	8	0,046
		Шліфування	0,2	6	0,019
9	Різьба метрична M62×2-8g	Точіння чорнове	3,85	12	0,3
		Точіння напівчистове	0,55	11	0,19
		Точіння чистове	2	8	0,046
		Нарізання різьби	-	8g	0,039
10	Циліндрична Ø60h10(-0,12) мм	Точіння чорнове	3,85	14	0,74
		Точіння напівчистове	0,55	12	0,3
		Точіння чистове	0,4	11	0,19
		Шліфування	0,2	10	0,12
11	Циліндрична Ø55h9(-0,074) мм	Точіння чорнове	3,9	14	0,74
		Точіння напівчистове	0,55	12	0,3
		Точіння чистове	0,3	11	0,19
		Шліфування	0,2	9	0,074
13	Шпонковий паз 45h11(-0,16) мм	Фрезерування одноразове	5	11	0,16
14	Шпонковий паз 50h11(-0,16) мм	Фрезерування одноразове	5	11	0,16
15	Шпонковий паз 59h11(-0,19) мм	Фрезерування одноразове	6	11	0,19

Продовження таблиці 2.9

1	2	3	4	5	6
16	Різьба метрична M12x1,5-7H	Свердління	-	12	0,15
		Нарізання різьби	-	7H	0,015
17	Канавка Ø62±IT14/2(. _{0,4})мм	Точіння одноразове	3,6	IT14/2	0,4
18	Канавка Ø61±IT14/2(. _{0,2})мм	Точіння одноразове	4,6	IT14/2	0,2

2.13 Розрахунок режимів, сил та потужності різання

Розрахунок режимів різання проводимо для одного з переходів технологічної операції (розсвердлювання отвору у валі Ø10,5 мм на глибину 30 (мм).

Глибина різання при розсвердлюванні визначається за формулою:

$$t = 0,5 \bullet (D - d), \quad (2.8)$$

де D – діаметр отвору деталі, мм (D=10,5 мм), d – діаметр отвору після свердління, мм (d=10 мм).

Подачу для свердління вибираємо із табл. Отже приймаємо що S=0,26 (мм/об).

Швидкість різання при розсвердлюванні розраховується за формулою:

$$V = \frac{C_v \bullet D^q}{T^m \bullet t^{x,y}} \bullet k_v, \quad (2.9)$$

Значення коефіцієнтів C_v та показників степенів знаходимо у таблиці, період стійкості T – із таблиці. $C_v=16,2$; $q=0,4$; $m=0,2$; $x=0,2$; $y=0,5$; $T=25$ хв.

Коефіцієнт поправки на швидкість різання:

$$K_v = K_{Mv} \cdot K_{Pv} \cdot K_{Iv} \quad (2.10)$$

$$K_v = 1,32 \cdot 0,8 \cdot 0,8 = 0,84$$

Отже, швидкість різання при операції свердління буде:

					КНУ.КМР.131.25.1-16.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

$$V = \frac{16,2 \cdot 10,5^{0,4}}{25^{0,2} \cdot 0,25^{0,2} \cdot 0,26^{0,5}} \cdot 0,84 = 47,58 \text{ (м/хв.)}.$$

Крутний момент при свердлінні розраховується за формулою:

$$M_{KP} = 10 \cdot C_m \cdot D^q \cdot t^x \cdot s^y \cdot k_p, \quad (2.11)$$

де C_m - [11, табл. 32], $C_m=0,09$; q - [11, табл. 32) $q=1$; x - [11, табл. 32], $x=0,9$; y - [11, табл. 32], $y=0,8$, k_p – коефіцієнт, що враховує фактичні умови обробки і залежить від матеріалу заготовки, за [11, табл. 10], $k_p=k_{mp}=0,792$:

$$M_{KP} = 10 \cdot 0,09 \cdot 10,5 \cdot 0,25^{0,9} \cdot 0,26^{0,8} \cdot 0,792 = 0,731 \text{ (Н/м)}.$$

Осьова сила розраховується за формулою:

$$P_o = 10 \cdot C_p \cdot D^q \cdot t^x \cdot s^y \cdot k_p, \quad (2.12)$$

$$P_o = 10 \cdot 67 \cdot 10,5^0 \cdot 0,25^{1,2} \cdot 0,26^{0,65} \cdot 0,792 = 41,78 \text{ (Н)}.$$

Потужність різання розраховується за формулою:

$$N_B = \frac{M_{kp} \cdot n}{9750}, \quad (2.13)$$

де n – частота обертання інструменту, (об/хв.), визначається за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}, \quad (2.14)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 47,58}{3,14 \cdot 10,5} = 1443,1 \text{ (об/хв.)}.$$

Тоді потужність різання буде дорівнювати:

$$N_B = \frac{0,731 \cdot 1443,1}{9750} = 0,1 \text{ (кВт)}.$$

Основний час для виконання свердління:

$$t_o = \frac{L}{S_m} = \frac{l + l_1}{n \cdot S}, \text{ (хв.)} \quad (2.15)$$

Тоді основний час буде дорівнювати:

$$t_o = \frac{30 + 2}{1400 \cdot 0,26} = 0,087 \text{ (хв.)}.$$

На всі інші операції та переходи складові режимів різання для виготовлення вала заносимо відповідно до таблиці 2.10.

					КНУ.КМР.131.25.1-16.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Таблиця 2.10 – Режими різання для ТО виготовлення вала (розроблених)

Номер			Глиби на різанн я t , мм	Подача		Швидкі сть різання V , м/хв./ м/с.	Частота обертан ня n , хв ⁻¹	По- тужніс ть N , кВт	Основн ий час t_0 , хв.
опера ції	по зи ції	пе ре хо ду		S_0 , мм/ об.	S_z , мм/ зуб./ м/ хв				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
015	1	1	5	0,5		83	560	4,28	0,1
	2	2	3,15	0,15		18	900	0,03	0,12
	3	3	5	0,5		83	440	5,28	0,13
	4	4	5	0,15		18	570	0,05	0,19
020	1	1	0,25	0,26		41,78	1443	0,1	0,087
		2	0,75	1,5		2,2	60	0,12	0,57
025	1	1	1,95	0,8		105	451	2,73	0,248
		2	1,92	0,8		105	477	3,41	0,169
		3	1,92	0,8		105	514	3,41	0,32
		4	1,7	0,8		105	557	2,76	0,628
	2	1	0,275	0,5		120	680	0,6	0,28
		2	0,275	0,5		120	630	0,6	0,28
		3	0,275	0,5		120	580	0,6	0,44
		4	0,275	0,5		120	540	0,6	1,02
	3	1	0,05		50	290	0,325	0,011	2
		2	2	0,05		50	290	0,325	0,011
		3	2,3	0,05		80	690	0,35	0,13
	4	1	0,175	0,13		140	800	0,18	0,85
		2	0,3	0,13		140	735	0,22	0,64
		3	0,2	0,13		140	680	0,185	1,48
		4	0,1	2		42	320	0,23	0,43
030	1	1	2	0,8		85	575	2,59	0,09
		2	1,3	0,8		105	623	2,04	0,264
		3	1,9	0,8		85	410	2,53	0,524
	2	1	0,35	0,45		125	925	0,42	0,104
		2	0,25	0,45		125	780	0,48	0,4671
		3	0,3	0,45		125	600	0,45	0,629
	3	1	1,6	0,06		42	316	0,20	0,012
		2	1,75	0,06		90	680	0,49	0,09
		3	2	0,06		42	203	0,273	0,01
	4	1	2	0,06		42	203	0,273	0,08

Продовження таблиці 2.10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
030	4	2	1,3	0,06		90	436	0,35	0,107
		3	1,8	0,06		90	436	0,5	0,126
		4	0,23	0,13		140	1054	0,22	0,289
		5	0,15	0,13		140	883	0,1	1,46
		6	0,3	0,13		140	680	0,2	0,526
		7	0,2	0,13		140	680	0,18	1,01
		8	0,2	0,13		140	680	0,18	0,407
		9	0,085	1,5		42,2	320	0,25	1,47
035	1	1	3	-	0,022	25,1	500	2,94	2,47
	2	2	2,5	-	0,02	24	960	2,8	1,7
	3	3	2,5	-	0,022	25,1	500	2,94	0,71
045	1	1	0,03	/2		/35	35	0,87	2,142
050	1	1	0,03	/2		/35	35	0,87	1,428
055	1	1	0,03	/2		/35	35	0,87	2,14
060	1	1	0,03	/2		/35	35	0,87	0,942
065	1	1	0,03	/2		/35	35	0,87	2,16
070	1	1	0,03	/2		/35	35	0,87	2,857

2.14 Нормування технологічних операцій

Норми часу на виконання операцій визначаються розрахунковим методом.

Норма штучного часу:

$$t_{шт} = t_{оп.} + t_{обсл.} + t_{відн.}, \quad (2.16)$$

де $t_{оп.}$ – оперативний час, (хв.). Визначається за формулою:

$$t_{оп.} = t_o + t_{доп.}, \quad (2.17)$$

де t_o - основний час обробки, хв., $t_{доп.}$ - допоміжний час, хв. Складається з декількох складових і підраховується по різному в залежності від виду операції та устаткування (наприклад: час на встановлення та зняття деталі, час на запуск та остановку верстата, час на зміну різального інструменту або повороту револьверної головки верстатом (якщо він з ЧПК) і т. д.) $t_{обсл.}$ – час на обслуговування верстата, хв. Розраховується за формулою:

$$t_{обсл.} = t_{тех. об.} + t_{орг. об.}, \quad (2.18)$$

де $t_{тех. об.}$ – час на технічне обслуговування (встановлення та заміна різального інструменту, його регулювання і т. д.), хв. Розраховується за формулою:

					КНУ.КМР.131.25.1-16.02.ТЧ				Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата					

$$t_{\text{тех. обсл.}} = 0,06 \cdot (t_o + t_{\text{дон.}}), \quad (2.19)$$

$t_{\text{орг. об.}}$ – час на організаційне обслуговування (ознайомлення з кресленням деталі і т. д.), хв. Розраховується за формулою:

$$t_{\text{орг. обсл.}} = 0,08 \cdot (t_o + t_{\text{дон.}}), \quad (2.20)$$

$t_{\text{пер.}}$ – час на переру в роботі., хв. Визначається за формулою:

$$t_{\text{пер.}} = 0,025 \cdot (t_o + t_{\text{дон.}}), \quad (2.21)$$

Штучно – калькуляційний час для серійного виробництва визначаємо за формулою:

$$t_{\text{шт.к.}} = t_{\text{шт.}} + \frac{t_{\text{п.з.}}}{n}, \quad (2.22)$$

де $t_{\text{п.з.}}$ – підготовчо- заключний час, встановлюється нормативами, хв., n – К-сть деталей партії, шт. ($n=3460$ шт.).

Для прикладу наведемо розрахунок часу на операцію 020 обробки вала при $t_o=0,657$ хв., $t_{\text{п.з.}}=3,8$ хв., а $t_{\text{доп.}}=0,537$ хв.

Оперативний час:

$$t_{\text{он.}}=0,657+0,537=1,194 \text{ (хв.)}.$$

Час на технічне обслуговування:

$$t_{\text{тех. обсл.}} = 0,06 \cdot (0,657+0,537)=0,0716 \text{ (хв.)}.$$

Час на організаційне обслуговування:

$$t_{\text{орг. обсл.}} = 0,08 \cdot (0,657+0,537)=0,095 \text{ (хв.)}$$

Час на перерву в роботі:

$$t_{\text{пер.}} = 0,025 \cdot (0,657+0,537)=0,029 \text{ (хв.)}.$$

Штучний час:

$$t_{\text{шт.}}=0,657+0,537+0,0716+0,095+0,029=1,3902 \text{ (хв.)}.$$

Штучно-калькуляційний час:

$$t_{\text{шт.к.}} = 1,3902 + \frac{3,8}{3460} = 1,3913 \text{ (хв.)}.$$

Результати вибору та розрахунків часу для вала заносимо до таблиць 2.11. Для того щоб порівняти з базовим технологічним процесом на ми також наводимо час як затратувався при виробництві деталей за базовими технологічними процесами у таблицях 2.12.

					КНУ.КМР.131.25.1-16.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Таблиця 2.11 - Норми часу на обробку вала (по розробленому технологічному процесу)

№ опер.	t _о , хв.	t _{доп.} , хв.	t _{тех.об.} , хв.	t _{орг.об.} , хв.	t _{пер.} , хв.	t _{шт.} , хв.	t _{п.з.} , хв.	t _{шт.к.} , хв.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
015	0,54	0,537	0,0646	0,086	0,0268	1,2544	4,1	1,2556
020	0,657	0,537	0,0716	0,095	0,0296	1,3902	3,8	1,3913
025	6,936	0,627	0,4537	0,605	0,189	8,8107	7,5	8,813
030	7,6651	0,627	0,4975	0,6633	0,207	9,659	7,5	9,6613
035	4,88	0,537	0,325	0,433	0,135	6,31	4,5	6,3114
045	2,142	0,537	0,1607	0,2143	0,0669	3,12	6,2	0,0688
050	1,428	0,537	0,1179	0,1572	0,0491	2,289	6,2	2,29
055	2,14	0,537	0,1606	0,214	0,0668	3,118	6,2	3,1199
060	0,942	0,537	0,0887	0,118	0,0368	1,722	6,2	1,7239
065	2,16	0,537	0,1618	0,2157	0,0674	3,1419	6,2	3,1438
070	2,857	0,537	0,2034	0,2715	0,0848	3,953	6,2	3,9549
Σ	32,3471	6,087	2,3018	3,074	0,9608	44,77	64,6	44,78

Таблиця 2.12 - Норми часу на обробку деталі вала (по базовому технологічному процесу)

№ опер.	t _о , хв.	t _{доп.} , хв.	t _{тех.об.} , хв.	t _{орг.об.} , хв.	t _{пер.} , хв.	t _{шт.} , хв.	t _{п.з.} , хв.	t _{шт.к.} , хв.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Σ	38,111	6,787	2,693	3,591	1,122	52,304	59,6	52,321

Отже, після перероблення технологічних процесів з виготовлення деталей агрегата насосного реальна економія часу становить:

$$\Delta T_{шт} = 52,304 - 44,77 = 7,53 \text{ (хв.)}$$

2.15 Програмування токарної операції у САМ-системі

Розроблення технологічних операцій механічної обробки для верстатів із числовим програмним керуванням доцільно виконувати у середовищі САМ-системи FeatureCAM, яка забезпечує автоматизоване створення траєкторій руху інструмента та генерацію керуючих програм у форматі G-коду відповідно до

					КНУ.КМР.131.25.1-16.02.ТЧ				Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата					

параметрів обробки. У процесі розробки токарної операції 030 було побудовано модель технологічного процесу з урахуванням геометрії заготовки, режимів різання та типу інструмента. На основі цих даних сформовано керуючу програму, текст якої наведено у додатку А, а графічна послідовність виконання переходів і результати моделювання процесу обробки представлені на рисунках 2.6 та 2.7. Застосування такого підходу забезпечує високу точність, оптимізацію часу циклу та мінімізацію ризику помилок при підготовці виробництва.

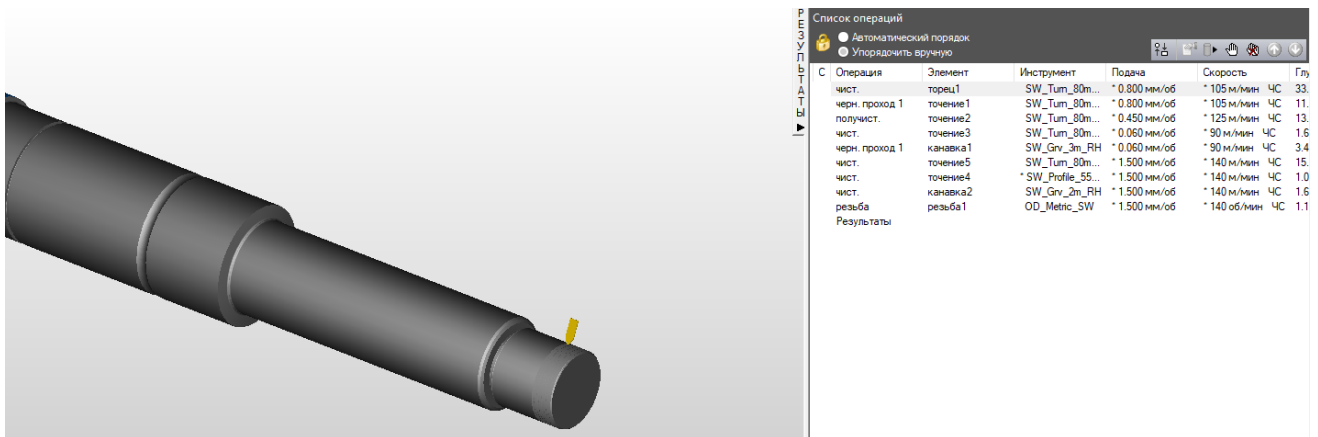


Рисунок 2.6 – Знімок екрану роботи програмного забезпечення САМ-системи FeatureCAM у процесі 3D-симуляції токарної операції 030

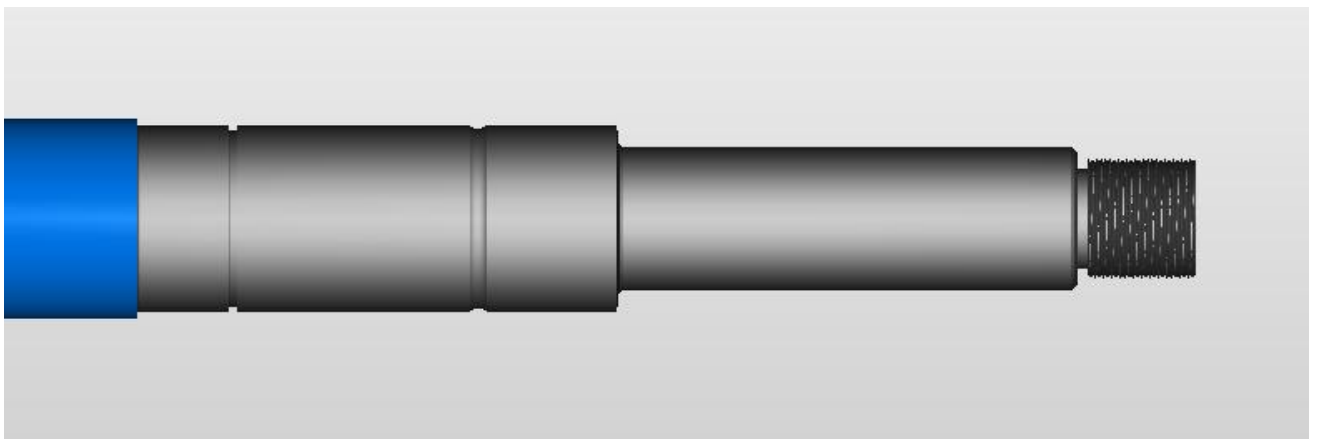


Рисунок 2.7 – Результат обробки вала агрегату насосного токарною операцією 030 у 3D-симуляторі САМ-системи FeatureCAM

3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Проектування пристосування для встановлення та закріплення оброблювальної деталі

Процес проектування та розрахунку технологічного пристосування (оснастки) загалом починається з вибору типу, кількості та розмірів установчих елементів. Це рішення приймається, виходячи зі схеми базування оброблюваної заготовки та встановлених вимог до точності і шорсткості її базових поверхонь. Наступним етапом є визначення оптимального типу пристрою — одно- чи багатопозиційний — з урахуванням заданої продуктивності технологічної операції. Після цього обов'язково складається схема сил, що діють на заготовку, що дозволяє коректно обрати точку прикладення і напрямок сили затиску, а також виконати розрахунок її необхідної величини. Далі здійснюється вибір відповідного типу затискного механізму та розрахунок його ключових конструктивно-розмірних параметрів. На підставі потрібної сили тяги і регламентованого часу, відведеного на операції закріплення/розкріплення деталі, обирається тип силового приводу, його параметри згодом уточнюються відповідно до нормативів та габаритних розмірів. Завершальні кроки включають розробку загального вигляду пристрою з визначенням точності його виконавчих розмірів та обов'язковий розрахунок на міцність і зносостійкість усіх рухомих та найбільш навантажених елементів оснащення.

Після визначення на яку операцію буде розроблений затискний пристрій (а це операція 035 – шпоночно-фрезерна з технологічного процесу виготовлення вала складаємо опис будови та принцип дії пристрою: Отже на опорній плиті розташовані самоцентруючі лещата з приводом у вигляді пневмоциліндра. При подачі стиснутого повітря в пневмоциліндр, яка здійснюється поворотом рукоятки розподільного пневматичного крана 2, відбувається рух штоку поршня

					<i>КНУ.КМР.131.25.1-16.03.КЧ</i>			
<i>Змін.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ Документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Ткаченко</i>						
<i>Перевір.</i>		<i>Бондар</i>						
<i>Н. Контр.</i>		<i>Нечаєв</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Рязанцев</i>						

<i>Конструкторська частина</i>			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
			<i>Кафедра ТМ гр. ПМ-24м</i>		

у який вгвинчена зубчата рейка 20. Вона входить у зачеплення з зубчатим колесом 6. Колесо закріплено на валу - ходовому гвинті 8, який здійснює оберти. Відбувається переміщення призматичних губок 12 по правій та лівій різьбах крізь дві гайки 9. За рахунок проміжних шестерень 17,18 обертання передається на ходовий гвинт, який приводить в рух 2 інші призми. Тому при подачі повітря у пневмоциліндр 1 обоє пар призм одночасно затискають вал по циліндричній поверхні Ф65.

Такі самоцентруючі лещата є універсальним пристроєм в даному виробництві. На них можна закріпити та вести обробку заготовок, маючих циліндричний профіль поверхні в широкому діапазоні діаметрів в призмах з кутом 90° та їх перевстановленням. Маючи додаткові комплекти призм можна вести обробку заготовок з різними профілями поверхні. Призми легко перевстановлюються, що знижує витрати часу на підготовку пристрою для використання.

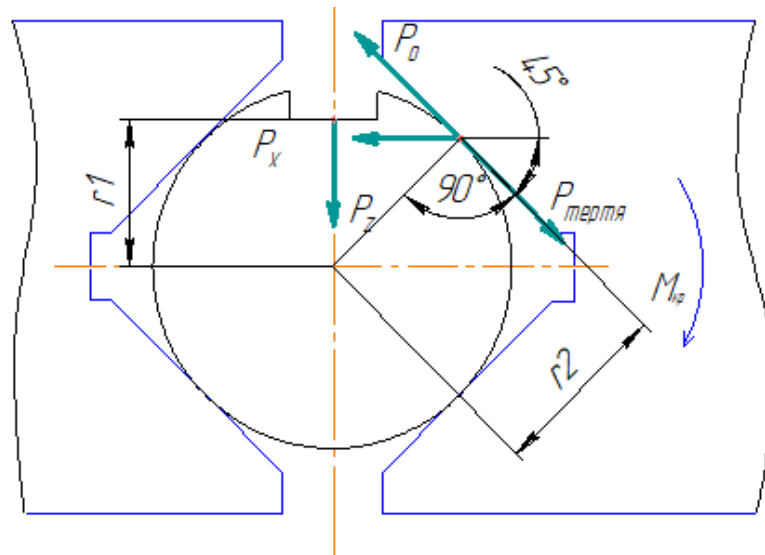


Рисунок 4.1 – Схема затискання деталі

3.2 Обчислення сили затиску

Розрахуємо силу різання P_z , кН при фрезеруванні шпонокового пазу за формулою:

					КНУ.КМР.131.25.1-16.03.КЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot B^u \cdot z}{D^q \cdot n^w} \cdot k_{mp}; \quad (3.1)$$

де $C_p, x, y, u, q, w, k_{mp}$ коефіцієнти, які ми вибираємо за довідником [11, табл. 41]. Отже $C_p=68,2$; $q=0,86$; $x=0,8$; $y=0,72$; $w=0$; $u=1$

$$P_z = \frac{10 \cdot 68,2 \cdot 2,5^{0,8} \cdot 0,1^{0,72} \cdot 8 \cdot 8}{64^{0,86} \cdot 960^0} \cdot 1,4 = 1675,83 \text{ (Н)}$$

За відомими співвідношеннями знаходимо:

$$\frac{P_z}{r_1} = \frac{P_z}{r_2} \rightarrow P_0 = \frac{P_z \cdot r_2}{r_1}$$

де r_1 та r_2 - радіуси прикладання сил

$$P_0 = \frac{1675,83 \cdot 64}{61,5} = 1731,31 \text{ (Н)}$$

Силу тертя визначаємо за формулою:

$$P_{\text{тертя}} = \frac{P_0}{f} \quad (3.2)$$

f – коефіцієнт тертя між заготовкою та затискними елементами, $f = 0,23$

$$P_{\text{тертя}} = \frac{1731,31}{0,23} = 7527,43 \text{ (Н)}.$$

Силу затиску заготовки визначаємо за формулою:

$$P_x = P_{\text{тертя}} \cdot \cos \alpha \quad (3.3)$$

де α - кут призми, $\alpha=45^\circ$, $P_x = 7527,43 \cdot \cos 45^\circ = 5312,2 \text{ (Н)}$.

Отже сила затискання заготовки в призмах лещат дорівнює

$$Q = 2 \cdot P_x = 2 \cdot 5312,2 = 10624,4 \text{ (Н)}.$$

Крутний момент на гвинті розраховується за формулою:

$$M_{кр.} = Q \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \tan(\beta + \rho), \quad (3.4)$$

де Q – зусилля на губках, Н. $Q= 10624,4 \text{ Н}$, d_2 – діаметр гвинта, мм. Приймаємо $d_2=0,035 \text{ м}$, β – кут підйому гвинтової лінії, який розраховується за формулою:

$$\beta = \arctg \frac{P}{\pi \cdot d_2}, \quad (3.5)$$

де P – крок гвинтової лінії, мм. Приймаємо $P=10 \text{ мм}$.

					КНУ.КМР.131.25.1-16.03.КЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

$$\beta = \arctg \frac{10}{3,14 \cdot 35} = 5,2^\circ$$

ρ – кут тертя. Приймаємо $\rho=7^\circ$.

Тоді:

$$M_{кр.} = 4324,48 \cdot \frac{0,035}{2} \cdot \lg(5,2 + 7) = 16,36 \text{ (Н·м)}.$$

При діаметрі зубчастого колеса $d=60$ мм, необхідне зусилля, що повинен передавати шток пневмоциліндра розраховується за формулою:

$$F = \frac{2 \cdot M_{кр.}}{d}, \quad (3.6)$$

Підставивши значення у формулу 3.6, отримаємо:

$$F = \frac{2 \cdot 16,36}{0,06} = 545,4 \text{ (Н)}.$$

Далі розрахуємо діаметр пневмоциліндра, який створює силу затискання заготовки призмами за формулою:

$$F = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot P \cdot \eta}{4}, \quad (3.7)$$

де P – тиск повітря в пневмосистемі, МПа. Із стандартного ряду значень приймаємо $P=2,5$ Мпа, η – ККД пневмоприводу, приймаємо $\eta=0,9$.

Після перетворення формула має такий вигляд:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi \cdot P \cdot \eta}}, \quad (3.8)$$

Отже:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 545,4}{3,14 \cdot 2,5 \cdot 0,9}} = 17,57 \text{ (мм)}.$$

Із стандартного ряду значень діаметрів пневмоциліндрів вибираємо найближчий більший діаметр – 20 мм.

Визначаємо уточнену силу затискання:

$$F = \frac{3,14 \cdot 20^2 \cdot 2,5 \cdot 0,9}{4} = 706,5 \text{ (МПа)}.$$

Крутний момент на зубчастому колесі визначаємо за формулою:

					КНУ.КМР.131.25.1-16.03.КЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

$$M_{кр.} = \frac{F \cdot d}{2} \quad (3.9)$$

$$M_{кр.} = \frac{706,5 \cdot 0,02}{2} = 7,06 \text{ (Н·м)}.$$

Силу затискання на губках лещат визначаємо за формулою:

$$Q = \frac{M_{кр.}}{\frac{d_2}{2} \cdot \operatorname{tg}(\beta + \rho)}, \quad (3.10)$$

$$Q = \frac{0,88}{\frac{0,035}{2} \cdot \operatorname{tg}(5,2 + 7)} = 232,58 \text{ (Н·м)}.$$

На наш погляд розрахунок слабкої ланки необхідно провести для шпонки, що з'єднує вал ходового гвинта з зубчастим колесом.

Перевірку виконаємо по міцності шпонкового з'єднання на зминання та зріз:

Міцності шпонкового з'єднання на зминання

$$\sigma_{зм} = \frac{2 \cdot T}{d \cdot l_0 \cdot (h - t_1)} \leq [\sigma_{зм}] \quad (3.11)$$

де $\sigma_{зм}$ – діюче напруження зминання, (МПа); T - номінальний обертовий момент, (Н·м); d – діаметр вала, (мм); l_0 – робоча довжина шпонки, мм, для призматичної шпонки з округленими кінцями $l_0 = l - b$; h – висота шпонки, (мм); t_1 – глибина паза на валу, (мм); $[\sigma_{зм}]$ – допустиме напруження, (МПа): $[\sigma_{зм}] = 26$ (МПа).

$$\sigma_{зм} = \frac{2 \cdot 7,06 \cdot 10^3}{[18 \cdot 14 \cdot (6 - 3,5)]} = 22,41 \text{ (МПа)}.$$

Міцність з'єднання достатня, бо розрахункове напруження (22,41 МПа) практично дорівнює допустимому (26 МПа) для вибраної шпонки 8×8×14.

Міцності шпонкового з'єднання на зріз

$$\tau_{зр} = \frac{F}{S} = \frac{2 \cdot T}{d \cdot b \cdot l_0} \leq [\tau_{зр}] \quad (3.12)$$

де $\tau_{зр}$ – діюче напруження зрізання, МПа; $[\tau_{зр}]$ – допустиме напруження зрізання, $[\tau_{зр}] = 0,6 [\sigma_{зм}]$.

					КНУ.КМР.131.25.1-16.03.КЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

$$\tau_{zp} = \frac{2 \cdot 7,06 \cdot 10^3}{18 \cdot 14 \cdot (14 - 6)} = 7 \text{ (МПа);} \quad [\tau_{zp}] = 0,6 \cdot 25 = 15,6 \text{ (МПа);}$$

$$\tau_{zp} = 7 \text{ МПа} < [\tau_{zp}] = 15,6 \text{ (МПа)}$$

Коли умова міцності шпонкового з'єднання не виконується, треба збільшити робочу довжину шпонки l_0 або передбачити в з'єднанні дві шпонки, взаємно зміщені під кутом 180° .

					КНУ.КМР.131.25.1-16.03.КЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

4 ДОСЛІДНА ЧАСТИНА. АНАЛІЗ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ ЧЕРЕЗ ВИПРОБУВАННЯ ВАЛУ НА КРУЧЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ CAD/CAE-ТЕХНОЛОГІЙ

4.1 Проектування і налаштування обчислювального випробовування

Випробування вала на кручення за допомогою статичного аналізу є доцільним, оскільки дозволяє оцінити напружено-деформований стан деталі під дією реального крутного моменту. Такий аналіз показує, чи витримує матеріал вала допустимі напруження без перевищення межі текучості. Це важливо для забезпечення надійної роботи насоса та запобігання руйнуванню при передачі потужності від електродвигуна. Статичне моделювання дає змогу врахувати

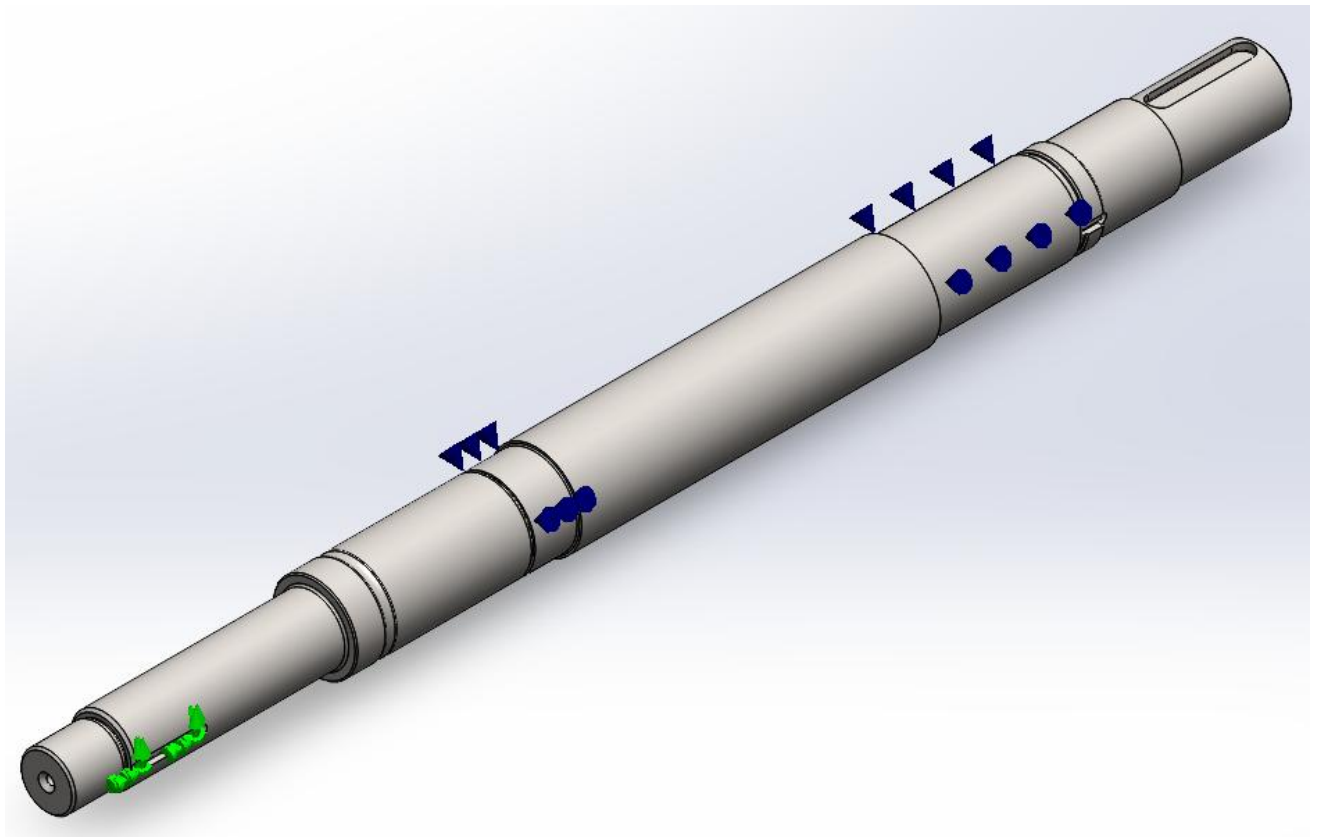


Рисунок 4.1 – Кріплення (знімок екрана)

					КНУ.КМР.131.25.1-16.04.ДЧ			
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата				
Разроб.		Ткаченко						
Перевір.		Бондар						
Н. Контр.		Нечаєв						
Затверд.		Рязанцев						
					Літ.			Арк.
								Аркушів
					Дослідна частина			
					Кафедра ТМ гр. ПМ-24м			

геометрію, матеріал і умови закріплення вала. Отримані результати дозволяють визначити запас міцності та підтвердити правильність конструктивного рішення.

Кріплення вала у вузлі відбувається вальниками (підшипниками), тому доцільно у якості кріплень застосувати кріплення «Опора підшипника» на ті циліндричні поверхні вала, де планується посадка на підшипник. На рис. 4.1 умовні позначення цього кріплення відображені синіми стрілками.

Щоб імітувати заклинювання, адже дослідження статичне і тому руху вала бути не повинно, треба зафіксувати ту частину/елемент вала, який буде зафіксований у просторі. На поверхні вала, де конструкторами передбачена посадка крильчатки є шпонковий паз, що фіксує крильчатку на валу і передаватиме обертовий рух. Застосуємо на бічну грань шпонкового паза «Зафіксовану геометрію» – зелені стрілки на рис. 4.1.

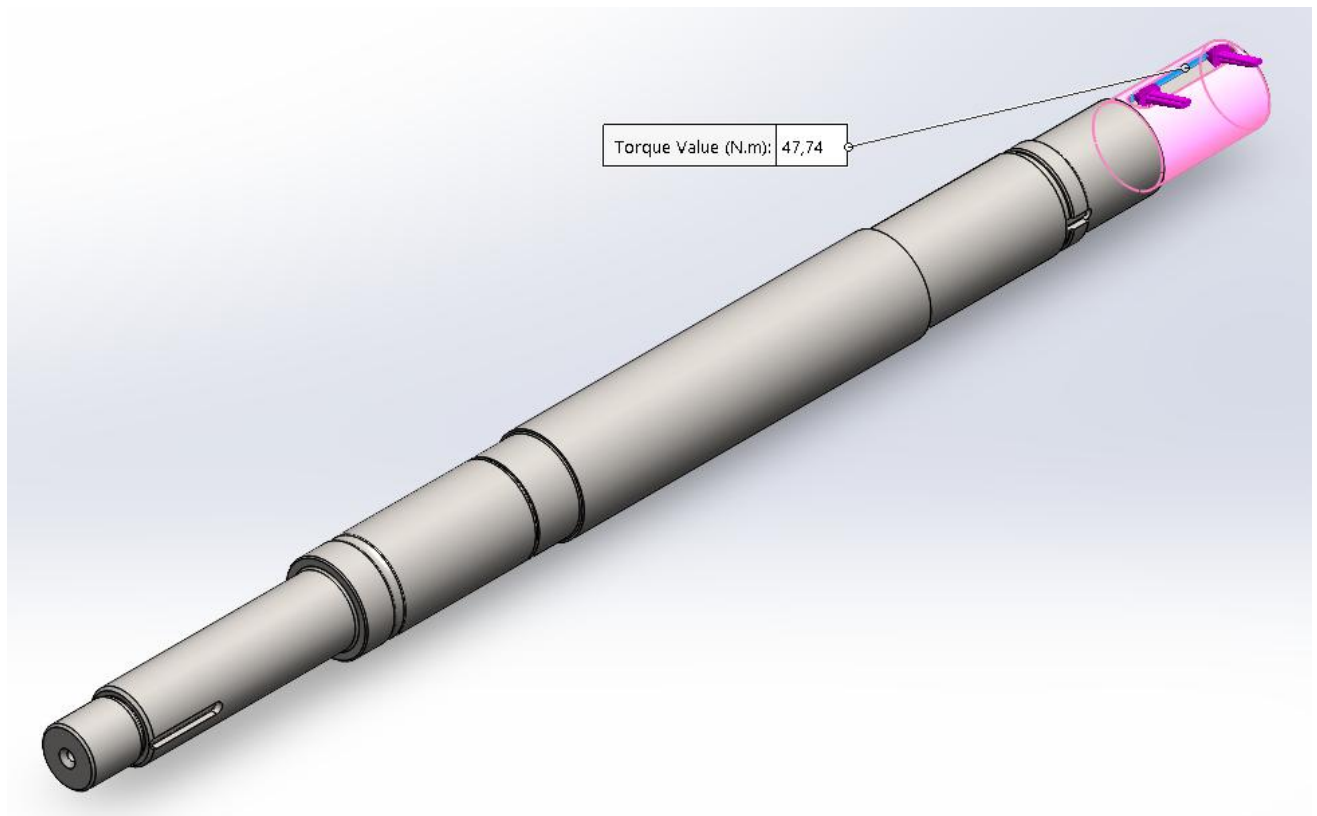


Рисунок 4.2 – Навантаження (знімок екрана)

Навантаження на вал чинить електродвигун. Щоб визначити крутний момент треба обчислити:

					КНУ.КМР.131.25.1-16.04.ДЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

$$T = \frac{68}{2\pi n} \cdot 60P$$

де $P=11\text{ кВт}$, $n=2200\text{ об/хв}$ згідно номінальних технічних характеристик агрегату насосного. Отже, крутний момент $T=47,74\text{ Н}\cdot\text{м}$.

На рис. 4.2 показано напрям дії крутного моменту на бічну стінку шпонкового пазу, яка з'єднує вал електроприводом.

Вибір налаштувань сітки кінцевих елементів важливий крок у адекватному дослідженні у SolidWorks Simulation. Під час статичного аналізу на кручення у SolidWorks Simulation для вала доцільно використовувати твердотільну сітку з тетраедричних елементів, оскільки саме вона забезпечує точне відображення розподілу напружень у поперечному перерізі. Розмір елемента бажано приймати у межах 0,1–0,2 від діаметра вала, а допуск — близько 0,1–0,15 від цього розміру. Для підвищення точності слід локально ущільнити сітку в зонах концентрації напружень, таких як переходи діаметрів, шпоночні пази, місця прикладання моменту та фіксації. Після побудови сітки необхідно перевірити її якість — співвідношення сторін елементів має бути меншим за 10, показник якості (Jacobian) не повинен перевищувати 10, а більшість елементів мають мати оцінку “Good” або “Very Good”. Остаточна перевірка виконується за допомогою дослідження збіжності: якщо при зменшенні розміру елемента результати напружень змінюються менш ніж на 5 %, така сітка вважається оптимальною для подальших розрахунків.

Враховуючи вище перелічені рекомендації було створено сітку кінцевих елементів із параметрами, що зображені на рис. 4.3. На рис. 4.4 показано візуально сітку кінцевих елементів на поверхні моделі вала.

					КНУ.КМР.131.25.1-16.04.ДЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Mesh Details		
Study name	Static 1* (-Default-)	
DetailsMesh type	Solid Mesh	
Mesher Used	Blended curvature-based mesh	
Jacobian points for High quality mesh	16 points	
Max Element Size	20,28 mm	
Min Element Size	1,014 mm	
Mesh quality	High	
Total nodes	389210	
Total elements	267022	
Maximum Aspect Ratio	10 266	
Percentage of elements with Aspect Ratio < 3	98,7	
Percentage of elements with Aspect Ratio > 10	0,0801	
Percentage of distorted elements	0	
Number of distorted elements	0	
Reuse mesh for identical bodies	Off	
Number of bodies that have reused mesh	0	
Time to complete mesh(hh:mm:ss)	00:00:22	

Рисунок 4.3 – Параметри сітки (знімок екрана)

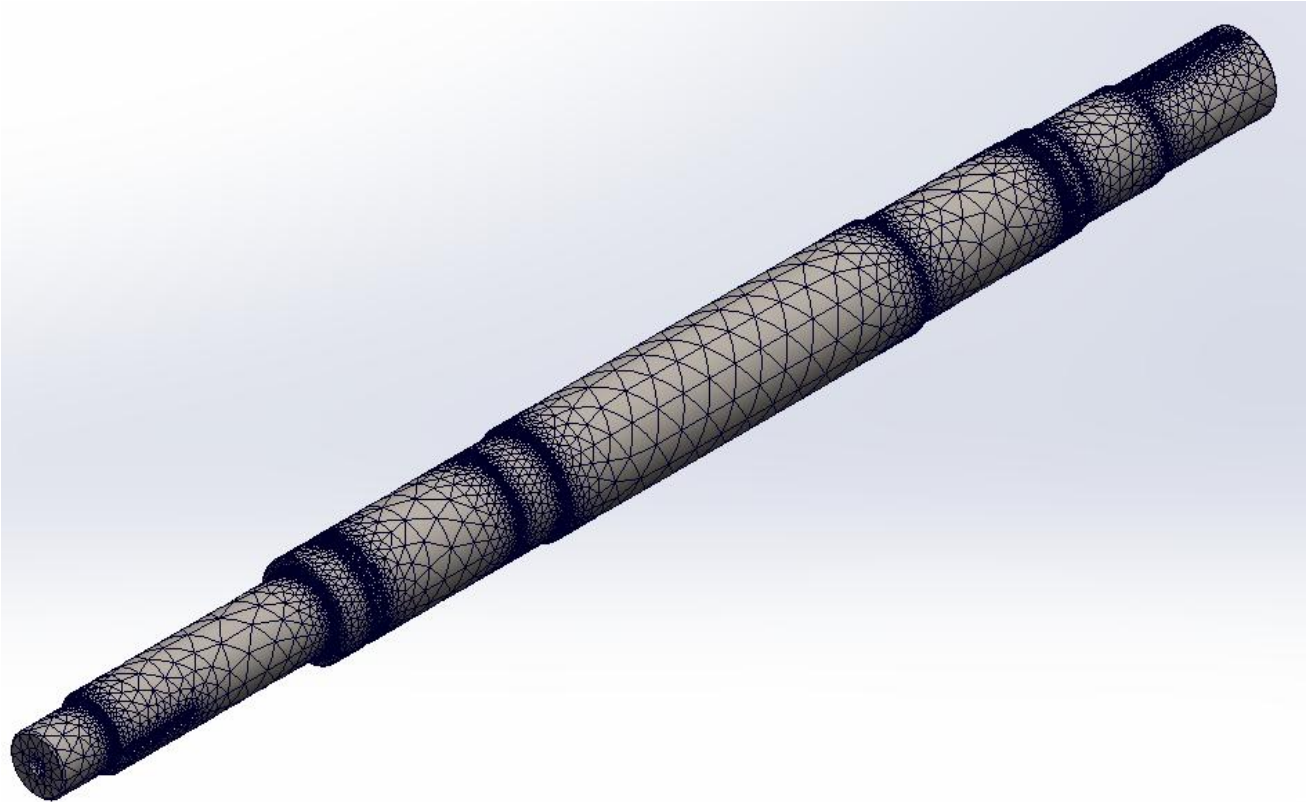


Рисунок 4.4 – Сітка кінцевих елементів (знімок екрана)

					КНУ.КМР.131.25.1-16.04.ДЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

4.2 Результати випробовування та інтерпретація епюр

На епюрі напружень за Вон Мізесом у дослідженні кручення вала буде видно характерний розподіл еквівалентних напружень по його перерізу. Максимальні значення зосереджуються на поверхні вала, де діє найбільше зсувне напруження, тоді як у центральній зоні напруження прямує до нуля. У місцях переходів діаметрів, шпоночних пазів або різьбових частин спостерігатимуться локальні зони підвищених напружень, що свідчить про наявність концентрацій. Колірна шкала епюри дозволяє візуально оцінити ці області та визначити, чи не перевищують еквівалентні напруження допустимі значення для матеріалу. Такий розподіл дає змогу оцінити рівномірність роботи вала під крутним моментом і виявити потенційно небезпечні ділянки конструкції.

Із рис. 4.5 видно, що межа текучості сталі не подолана, отже вал витримує навантаження у разі заклинювання крильчатки. Однак, максимальні значення на поверхні проявилися слабо, тому на рис. 4.6 зображено епюру максимальних еквівалентних напружень Design Insight.

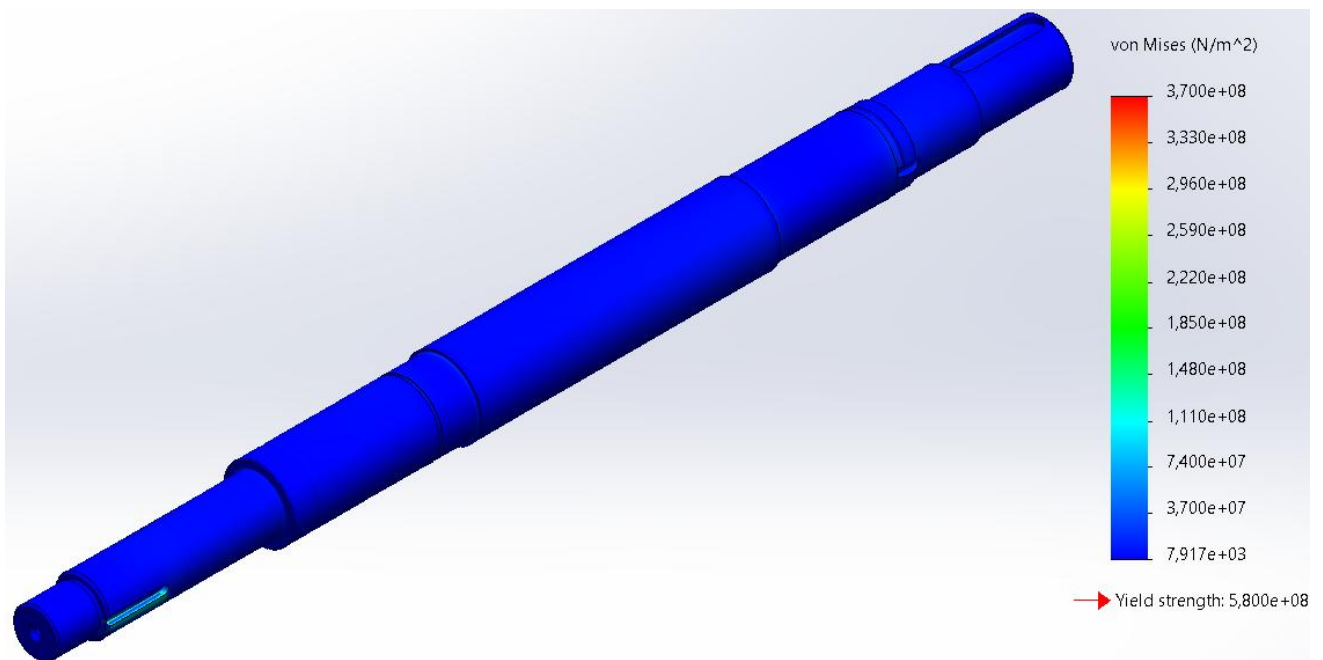


Рисунок 4.5 – Епюра напружень за Вон Мізесом (знімок екрана)

					КНУ.КМР.131.25.1-16.04.ДЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

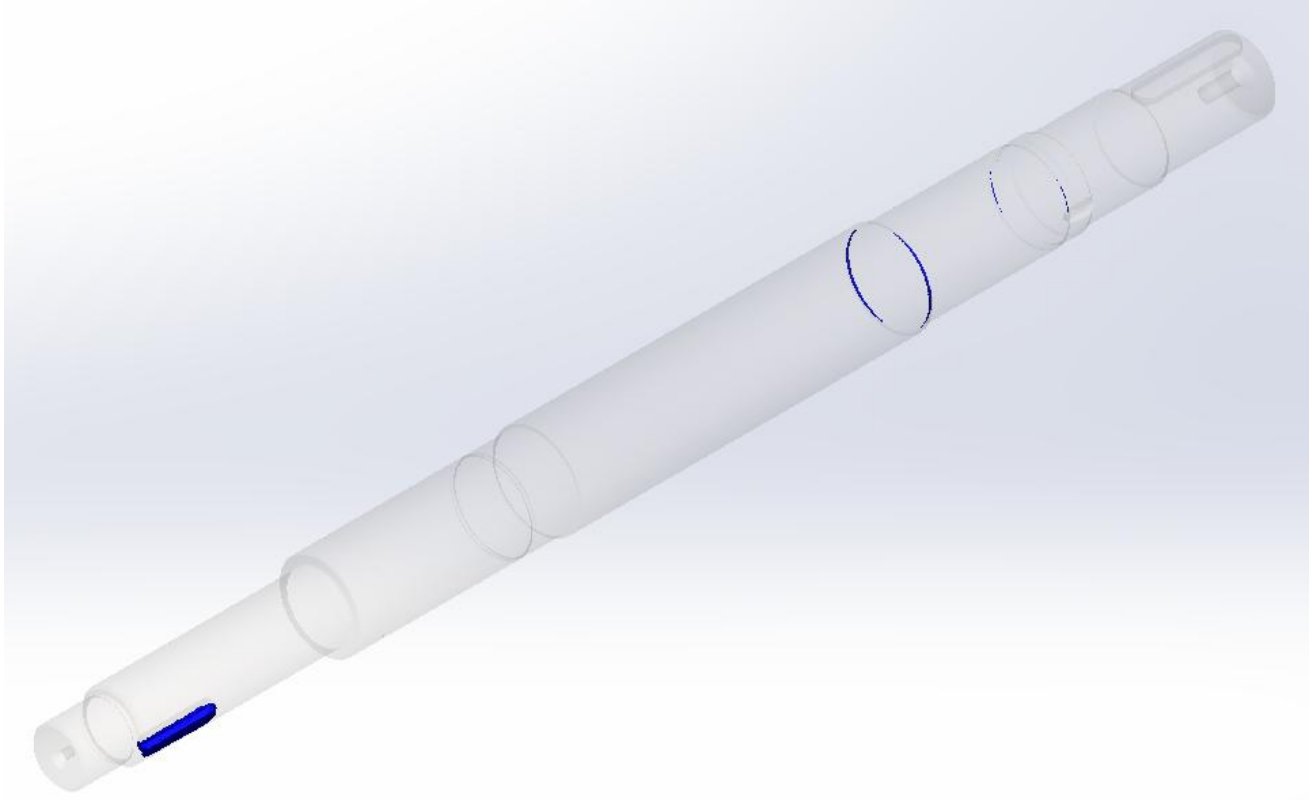


Рисунок 4.6 – Епюра Design Insight (знімок екрана)

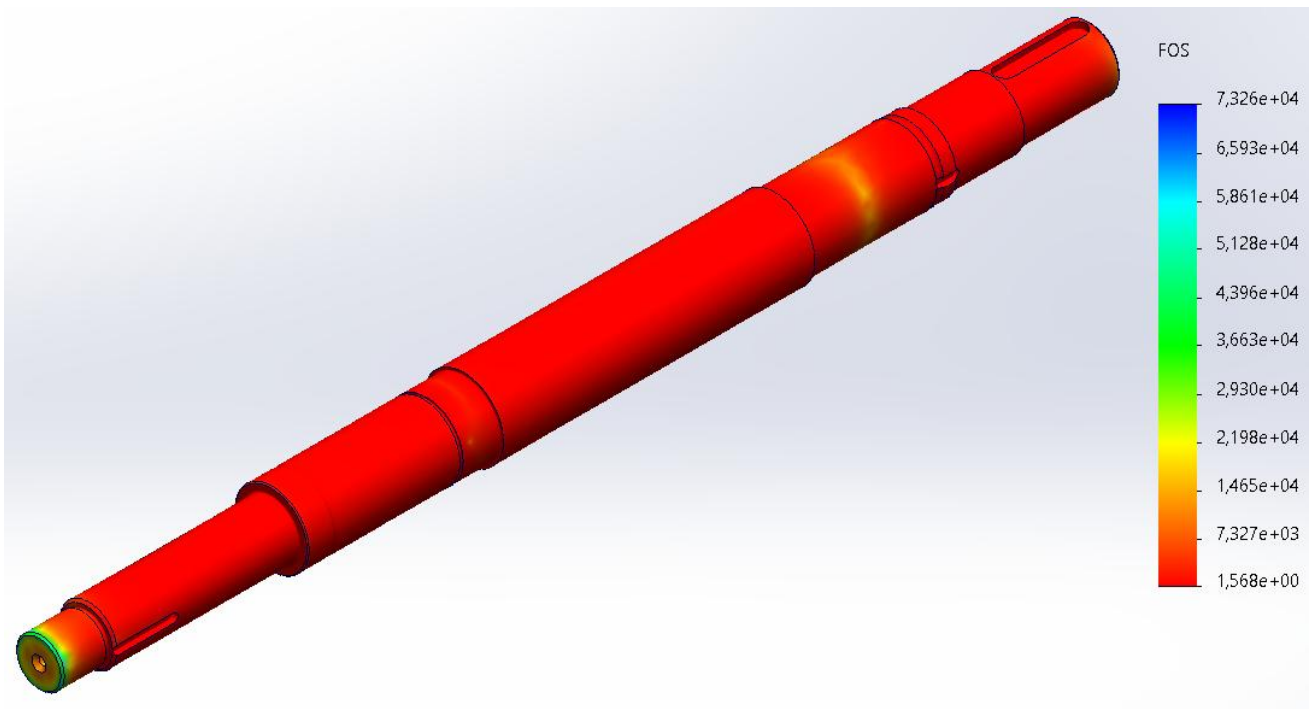


Рисунок 4.7 – Розподіл запасу міцності (знімок екрана)

На рис. 4.7 видно, що мінімальний запас міцності вала становить 1,57. Запас 1,5 — нормальний як мінімум для статичного розрахунку, але для вала насосного

					КНУ.КМР.131.25.1-16.04.ДЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

агрегату, що працює в умовах вологості/корозії та під змінними навантаженнями, я б рекомендував запас 2.0 або вище, що можна реалізувати за рахунок заміни матеріалу сталі 45 на більш міцну сталь, або вживати заходів по зменшенню концентрацій напруг (втулки, фінішна обробка) і по захисту від корозії.

Запас міцності потрібен для того, щоб забезпечити надійну і безпечну роботу деталі у реальних умовах експлуатації, коли фактичні навантаження можуть відрізнятися від розрахункових. Він враховує можливі коливання сил, удари, концентрації напружень, недосконалості матеріалу та похибки виготовлення. Завдяки запасу міцності деталь може витримувати короточасні перевантаження без пластичної деформації або руйнування. Крім того, він компенсує зниження властивостей матеріалу в умовах корозії, високої вологості чи змінної температури. Таким чином, запас міцності є гарантією довговічності та безпечної роботи конструкції в реальних експлуатаційних умовах.

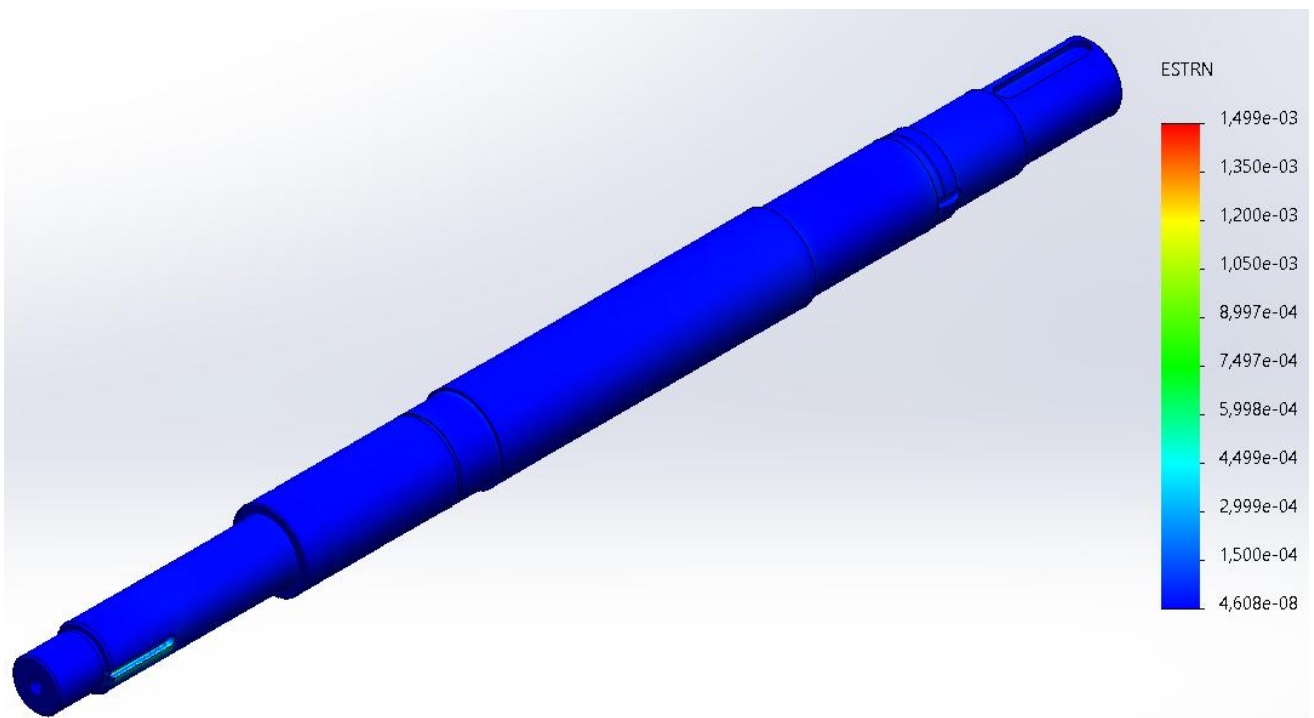


Рисунок 4.8 – Епюра деформацій матеріалу під дією навантаження (знімок екрана)

Також у статичному аналізі генерується епюри деформацій матеріалу під дією навантаження та епюра переміщень матеріалу під дією навантаження.

					КНУ.КМР.131.25.1-16.04.ДЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

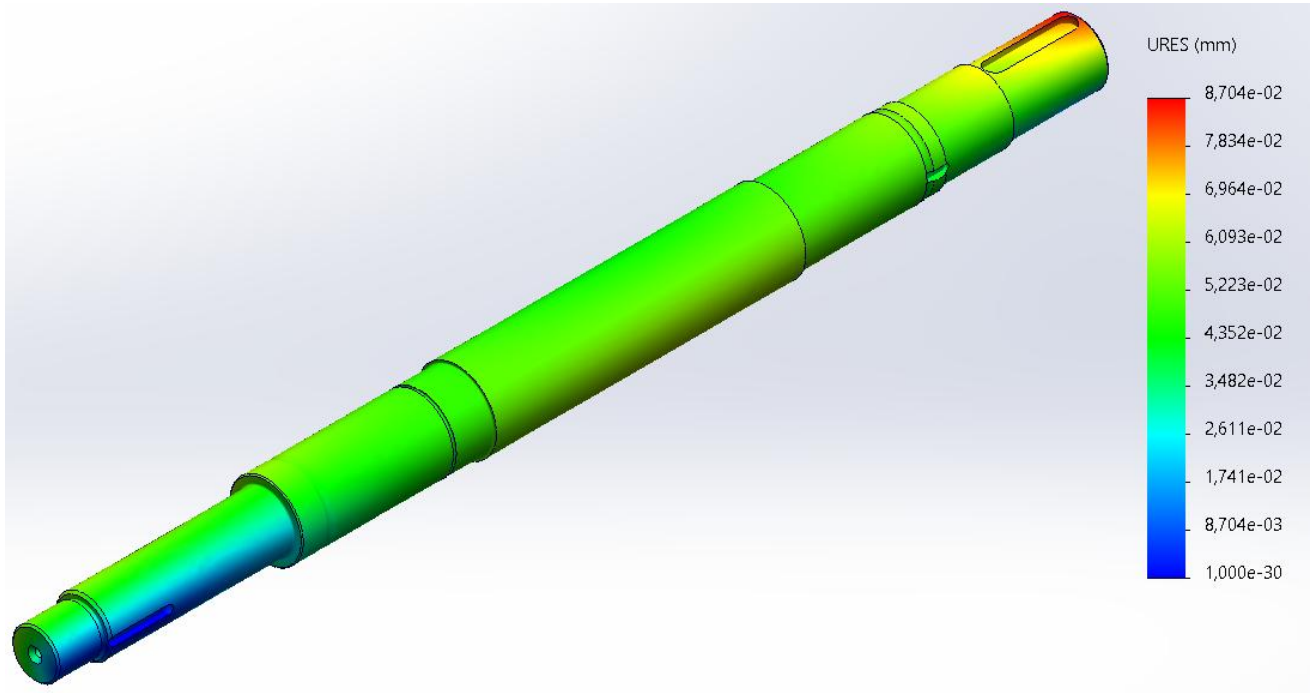


Рисунок 4.9 – Епюра переміщень матеріалу під дією навантаження (знімок екрана)

Аналіз епюр деформацій матеріалу під дією навантаження дозволяє визначити, у яких зонах деталі виникають найбільші відносні зміни форми та розмірів. Це дає змогу оцінити ступінь пружних і пластичних деформацій, визначити можливі ділянки перевищення допустимих деформацій і потенційні місця появи залишкових напружень. Епюра переміщень, у свою чергу, показує просторовий характер зміщення вузлів моделі від початкового положення під дією зовнішніх сил. За її допомогою можна оцінити загальну жорсткість конструкції, перевірити симетрію деформацій і виявити області надмірних прогинів або перекосів. Порівнюючи ці епюри між собою, можна зробити висновки про взаємозв'язок між жорсткістю, напруженим станом і геометрією деталі, що є основою для вдосконалення її конструкції або вибору раціонального матеріалу.

					КНУ.КМР.131.25.1-16.04.ДЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

5 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА

5.1 Визначення кількості виробничого обладнання

У випадку застосування групового розташування виробничого обладнання в цеху, чисельність верстатів, необхідних для формування кожної такої групи, встановлюється за допомогою ділення загальної фактичної трудомісткості річної виробничої програми (вираженої у хвилинах) на річний ефективний фонд часу роботи одного верстата. При цьому в обов'язковому порядку враховується коефіцієнт змінності роботи устаткування, згідно з прийнятою розрахунковою формулою.

Формула для розрахунку кількості верстатів:

$$C = \frac{\sum_i^n t_{шт} \cdot N_{зп}}{F_d \cdot 60}, \quad (5.1)$$

де $t_{шт}$ – к-сть верстато-годин, затрачених на обробку однієї вала; $N_{зп}$ – програма запуску, шт. $N_{зп} = 3460$ шт. F_d – дійсний річний фонд часу роботи верстата, год. $F_d = 3802$ год.

К-сть верстатів для кожної технологічної операції визначаємо за формулою:

$$C_p = \frac{t_{шт}}{r}, \quad (5.2)$$

де r – такт поточної лінії.

Потім визначаємо коефіцієнт завантаження верстата за формулою:

$$K_3 = \frac{C_p}{C_{пр}}, \quad (5.3)$$

де C_p - розрахункова к-сть верстатів; $C_{пр}$ - прийнята к-сть верстатів.

					КНУ.КМР.131.25.1-16.05.ОЕПВ									
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата										
Розроб.		Ткаченко			Організаційно-економічна підготовка виробництва				Літ.		Арк.	Аркуші		
Перевір.		Бондар												
Н. Контр.		Нечаєв												
Затверд.		Рязанцев			Кафедра ТМ гр. ПМ-24м									

Якщо устаткування для виробництва вала недовантажене, слід об'єднати, де можливо, кілька схожих операцій на одному верстаті. Результати розрахунків у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 - К-сть устаткування та його завантаження

Деталь	№ операції	Верстат	C _р	C _{ГР}	K _з
1	2	3	4	5	6
Вал	015	1М63	0,0182	1	0,0182
	020	6Р82Г	0,02	1	0,02
	025	16К20Ф3	0,128	1	0,128
	030	16К20Ф3	0,14	1	0,14
	035	6Р11	0,091	1	0,091
	045	3М163В	0,0456	1	0,0456
	050	3М163В	0,033	1	0,033
	055	3М163В	0,045	1	0,045
	060	3М163В	0,025	1	0,025
	065	3М163В	0,0457	1	0,0457
	070	3М163В	0,0575	1	0,0575

Таблиця 5.2 - Найменування та к-сть верстатів та їх завантаження які необхідні для виробництва всього виробу

№ п/п.	Найменування верстата	C _р	C _{ГР}	K _з
1	2	3	4	5
1	Токарно-гвинторізні верстати з моделі 1М63	1,6	2	0,81
2	Горизонтально-консольно-фрезерні верстати моделі 6Р82Г	1,4	2	0,72
3	Токарно-гвинторізні верстати з ЧПК моделі 16К20Ф3	3,6	5	0,72
4	Вертикально-фрезерні верстати моделі 6Р11	1,6	2	0,81
5	Круглошліфувальні верстати моделі 3М163В	1,8	3	0,6
	Всього	10	14	0,73

Після аналізу таблиці 5.1 та підрахунку кількості верстатів які потрібні для виробництва інших деталей агрегату насосного заповнюємо таблицю 5.2.

На основі даних таблиці 5.2 будуємо графік завантаження виробничого

					КНУ.КМР.131.25.1-16.05.0ЕПВ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

устаткування.

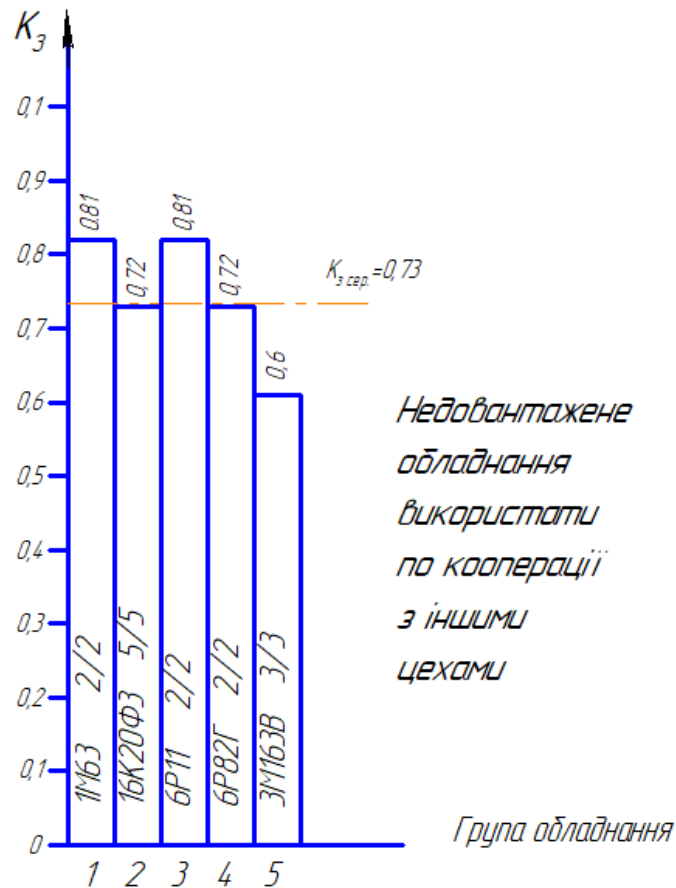


Рис. 5.1 – Графік завантаження устаткування цеху:

1 - Токарно-гвинторізні верстати; 2 - Токарно-гвинторізні верстати з ЧПК; 3 - Вертикально-фрезерні верстати; 4 - Горизонтально-консольно-фрезерні верстати; 5 - Круглошліфувальні верстати

5.2 Визначення чисельності персоналу

Загальна кількість персоналу, залученого до роботи в механічному цеху, формується з кількох ключових категорій співробітників. До них належать виробничий персонал (безпосередньо верстатники та оператори обладнання), допоміжний персонал, молодший обслуговуючий персонал (МОП), а також службовці, інженерно-технічні працівники (ІТП) та співробітники, які виконують облікові й конторські функції.

Кількість основного виробничого персоналу, зокрема верстатників, визначається шляхом розрахунку, виходячи з запланованої кількості одиниць обладнання (верстатів) та застосуванням коефіцієнта багатостаночності, який

					КНУ.КМР.131.25.1-16.05.0ЕПВ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

враховує можливість обслуговування одним працівником кількох верстатів одночасно:

$$R_{CT} = \frac{F_d \cdot S_{PP}}{F_{DP} \cdot S_P}, \quad (5.4)$$

де $F_{d.p}$ - дійсний річний фонд часу роботи працівника, $F_{d.p.} = 1801$ (год); S_p - коефіцієнт багатостанковості, який враховує можливість за характером операції, що виконуються одночасно обслуговувати одним працівником декілька верстатів. Коефіцієнт багатостанковості вибираємо згідно з [15].

Тоді для токарно-гвинторізних верстатів з (поз. 1) маємо:

$$R_{CT} = \frac{3802 \cdot 2}{1801 \cdot 1} = 4,22 \text{ (осіб)}$$

Приймаємо 4 (осіб)

Аналогічно обчислюємо к-сть працівників для всіх груп верстатів і отримані дані заносимо до таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 - К-сть працівників-верстатників

№ п/п	Перелік обладнання, що обслуговується	Коефіцієнт багатостанковості	К-сть працівників верстатників
1	2	3	4
1	Токарно-гвинторізні	1	4
2	Токарно-гвинторізні з ЧПК	1,5	7
4	Вертикально-фрезерні	1	4
5	Горизонтально-консольно-фрезерні	1	4
6	Круглошліфувальні	1	6
	Всього		29

Загальну к-сть працівників-слюсарів визначаємо за формулою:

$$R_{cl} = \frac{\sum T_{cl}}{F_{d.p.}}, \quad (5.5)$$

де $\sum T_{cl}$ - сумарна трудомісткість слюсарних робіт, яка визначається за формулою:

					КНУ.КМР.131.25.1-16.05.0ЕПВ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

$$\sum T_{сл} = \frac{78 \cdot a \cdot \sum T_{сл} \cdot N_{зан}}{100}, \quad (5.6)$$

де α - трудомісткість слюсарних робіт від верстатних, %, $\alpha = 30 \dots 35\%$.

Отже після підстановки значень отримаємо:

$$\sum T_{сл} = \frac{32 \cdot 7,53 \cdot 3460}{100} = 8337,22 \text{ (люд.-годин)}$$

$$R_{сл} = \frac{8337,22}{1801} = 4,63 \text{ (осіб)}$$

Приймаємо $R_{сл} = 4$ (осіб).

К-сть слюсарів-складальників обчислюємо:

$$R_{сл.ск} = \frac{\beta \cdot R_{сл}}{100}, \quad (5.7)$$

де β - процент слюсарів-складальників від заг. к-сті слюсарів (складає: $\beta = 75\%$)

$$R_{сл.ск} = \frac{75 \cdot 4}{100} = 3 \text{ (осіб)}$$

К-сть слюсарів механобробного цеху обчислюємо:

$$R_{сл.мц} = R_{сл} - R_{сл.ск}, \quad (5.8)$$

$$R_{сл.мц} = 4 - 3 = 1 \text{ (осіб)}.$$

К-сть працівників в механічного цеху розраховується:

$$R_{вир} = R_{см} + R_{сл}, \quad (5.9)$$

$$R_{вир} = 29 + 1 = 30 \text{ (осіб)}$$

К-сть допоміжних працівників обчислюємо укрупнено (грубо), від к-сті виробничників:

$$R_{дон} = \frac{\gamma \cdot R_{ПП}}{100}, \quad (5.10)$$

де γ - к-сть допоміжних працівників у загальній кількості (для серійного виробництва $\gamma = 18 \dots 25\%$). Тоді:

$$R_{дон} = \frac{20 \cdot 30}{100} = 6 \text{ (осіб)}$$

Приймаємо $R_{дон} = 6$ (осіб).

					КНУ.КМР.131.25.1-16.05.0ЕПВ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Службовці цеху складають 15 ... 18 %:

$$R_{imp} = 0,12 \cdot R_{np}$$

$$R_{imp} = 0,12 \cdot 30 = 3,6 \text{ (осіб)}$$

Приймаємо $R_{imp} = 3$ (осіб).

$$R_{pkn} = 0,04 \cdot R_{np}$$

$$R_{pkn} = 0,04 \cdot 30 = 1,2 \text{ (осіб)}$$

Отримали $R_{pkn} = 1$ (осіб).

Молодший обслуг. персонал становить 2 - 3% від к-сті робочих:

$$R_{mon} = 0,025 \cdot R_{np}$$

$$R_{mon} = 0,025 \cdot 30 = 0,75 \text{ (осіб)}$$

Приймаємо $R_{mon} = 1$ (осіб)

К-сть контролерів та вибраковників становить приблизно 5 - 7% від кількості верстатників:

$$R_{vtk} = 0,06 \cdot R_{np}$$

$$R_{vtk} = 0,07 \cdot 30 = 2,1 \text{ (осіб)}$$

Приймаємо $R_{vtk} = 2$ (осіб)

Тоді загальна к-сть працюючих у цеху:

$$R_{zag} = R_{vup} + R_{dod} + R_{imp} + R_{pkn} + R_{mon} + R_{vtk} , \quad (5.11)$$

$$R_{zag} = 30 + 6 + 3 + 1 + 1 + 2 = 43 \text{ (осіб)}$$

5.3 Розрахунок капітальних вкладень

Загальний обсяг капітальних вкладень, потрібних для започаткування чи реалізації виробничого процесу, формується двома основними складовими. Перша частина — це інвестиції в основні виробничі фонди підприємства, а друга — інвестиції в обігові кошти.

Цю залежність можна виразити формулою:

$$K = K_{of} + K_{ok} , \quad (5.12)$$

					КНУ.КМР.131.25.1-16.05.0ЕПВ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

При цьому, інвестиції у основні виробничі фонди являють собою суму, необхідну для покриття вартості виробничих споруд цеху та загальної вартості придбання устаткування (верстатів, машин тощо).

5.3.1 Розрахунок вартості споруд цеху

Орієнтовну вартість виробничих, допоміжних та службово-побутових споруд розраховують, виходячи з вартості 1 м³ їх об'єму. Для одноповерхових виробничих будівель вона становить 75–100 грн/м³, для службово-побутових приміщень — 110–140 грн/м³. У розрахунок включено витрати на санітарно-технічні пристрої, промислові мережі, проектування та підготовку майданчика. Об'єм споруди визначають за зовнішньою площею та висотою. Загальні площі механічного цеху наведено в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 - Площі механічного цеху

Найменування площі	Величина площі, м ²
1	2
Загальна площа цеху, усього	1512
у тому числі:	
Виробнича	800,5
Допоміжна	281
Службово – побутова	430,5

Висоту виробничих приміщень цеху дорівнює: $H_{\text{вир.}} = 12,8$ (м), а службово-побутових приміщень: $H_{\text{доп.}} = 11,2$ (м).

Нехай вартість 1м³ споруд: виробн. приміщень: $C_{\text{вир}} = 90$ (грн.); службово-побутових приміщень: $C_{\text{сл.поб}} = 130$ (грн.).

Об'єм споруди обчислимо:

$$V = V_{\text{вир}} + V_{\text{сл.поб}}, \quad (5.13)$$

де $V_{\text{вир}}$ - об'єм виробн. приміщень, (м³):

$$V_{\text{вир}} = S_{\text{зовн}}^{\text{вир}} \cdot H_{\text{вир}}, \quad (5.14)$$

					КНУ.КМР.131.25.1-16.05.0ЕПВ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

де $V_{сл.поб}$ - об'єм службово-побут. приміщень, (м³):

$$V_{сл.поб} = S_{зовн}^{сл.поб} \cdot H_{сл.поб}, \quad (5.15)$$

Зовн. S виробн. приміщень:

$$S_{зовн}^{вир} = 1,1 \cdot (S_{вир} + S_{доп}), \quad (5.16)$$

$$S_{зовн}^{вир} = 1,1 \cdot (800,5 + 281) = 1189,65 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Зовн. S службово-побутових приміщень:

$$S_{зовн}^{сл.поб} = 1,1 \cdot S_{сл.поб}, \quad (5.17)$$

$$S_{зовн}^{сл.поб} = 1,1 \cdot 430,5 = 473,55 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Підрахуємо загальний об'єм споруд (окремо по видам):

$$V_{вир} = 1189,65 \cdot 12,8 = 15227,52 \text{ (м}^3\text{)},$$

$$V_{сл.поб} = 473,55 \cdot 11,2 = 5303,76 \text{ (м}^3\text{)}.$$

Підрахуємо загальну вартість споруд за формулою:

$$C_{заг} = V_{вир} \cdot C_{вир} + V_{сл.поб} \cdot C_{сл.поб}, \quad (5.18)$$

$$C_{заг} = 15227,52 \cdot 90 + 5303,76 \cdot 130 = 1370476,8 + 689488,8 = 2059965,6 \text{ (грн.)}$$

5.3.2 Розрахунок вартості обладнання

Вартість устаткування обчислюється прямим розрахунком на основі обраних верстатів. Результати підбору устаткування заносимо у таблицю 5.5.

Тоді:

$$C_{енерг} = 0,08 \cdot 2510000 = 200800 \text{ (грн.)}$$

$$C_{нто} = 0,15 \cdot 2510000 = 376500 \text{ (грн.)}$$

$$C_{зкк} = 0,2 \cdot 2510000 = 502000 \text{ (грн.)}$$

$$C_{інстр.} = 0,15 \cdot 2510000 = 376500 \text{ (грн.)}$$

$$C_{інв.} = 0,05 \cdot 2510000 = 125500 \text{ (грн.)}$$

					КНУ.КМР.131.25.1-16.05.0ЕПВ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Таблиця 5.5 - Обладнання цеху та його вартість

Найменування верстату	Модель	Р, кВт	Балансова вартість, грн.	Габарити, м	К-сть одиниць, шт.	Працівників на 1 верстат	Зайнято працівників
1	2	3	4	5	6	7	8
Токарно-гвинторізний	1М63	18,5	105000	2,5х1,4	2	1	2
Токарно-гвинторізний з ЧПК	16K20 Ф3	10	310000	3,3х1,7	5	0,6	3
Вертикально-фрезерний	6Р11	5,5	110000	1,4х2,3	2	1	2
Горизонтально-консольно-фрезерний	6Р82Г	7,5	70000	2,3х1,6	2	2	2
Круглошліфувальний	3М163 В	13	130000	5х2,1	3	1	3
Всього			725000		14	5,6	11

Для подальших розрахунків у цьому розділі доцільно визначити розміри річних амортизаційних відрахувань для кожного виду основних фондів.

$$AB = H_{AB} \cdot 3B; \quad (5.19)$$

де AB – амортизаційні відрахування; H_{AB} – норма амортизаційних відрахувань; $3B$ – залишкова вартість.

$$H_{AB} = \left(1 - \sqrt[n]{\frac{LB}{PB}}\right) \cdot 100\%; \quad (5.20)$$

де LB – ліквідаційна вартість; PB – первісна вартість; n - к-сть років.

Таблиця 5.6 - Основні фонди та їх амортизація

Найменування груп основних фондів	Вартість основних фондів, грн.	Норма амортизації, %	Річні амортизаційні відрахування, грн.
1	2	3	4
1. Будівлі, всього	2059965,6	7	95788,40

					КНУ.КМР.131.25.1-16.05.0ЕПВ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 5.6

1	2	3	4
2. Обладнання цеху, усього	3172300	43	1165644
3. Підйомно-тр.обладнання	376500	41,52	116322,8
4. Засоби контролю та керування	502000	65,36	328107,2
5. Інструменти та прилади	376500	52,71	198453,15
6. Виробничо-господарський інвентар	125500	39,3	49321,5
Усього	6236266	-	1953637,1

5.3.3 Розрахунок капітальних вкладень в обігові кошти

Капітальні вкладення в обігові кошти визначаються:

$$K_{ок} = \frac{K_{0ф}}{4}, \quad (5.21)$$

де Коф – сума коштів, що витрачаються на випуск продукції:

$$\text{Коф} = C * N_{\text{вип}}; \text{Коф} = 4768,38 \cdot 3200 = 15258816 \text{ (грн.)}$$

$$K_{ок} \frac{15258816}{4} = 3814704 \text{ (грн.)}$$

Отже капітальні вкладення необхідні для здійснення виробництва визначаємо за формулою:

$$K = 6236266 + 3814704 = 10050970 \text{ (грн.)}$$

5.3.4 Планування фондів заробітної плати працівників

Фонд заробітної плати (ФЗП) являє собою сукупний обсяг коштів, призначених для виплат усім працівникам організації (цеху) протягом визначеного проміжку часу. При плануванні ФЗП промислово-виробничого персоналу (ПВП) цехового підрозділу, розрахунки проводяться диференційовано. Це означає, що окремо обліковуються працівники, оплата праці яких здійснюється за відрядними розцінками, і ті, чия праця оплачується за погодинними тарифами. Крім того, нарахування розподіляються за різними категоріями персоналу.

					КНУ.КМР.131.25.1-16.05.0ЕПВ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Структурно, ФЗП прийнято поділяти на основну заробітну плату та додаткову заробітну плату.

Для оплати праці верстатників застосовується така схема: 20 % працівників (6 осіб із 29) працюють за погодинно-преміальною системою. Їх кваліфікація приймається на рівні IV розряду, відповідно використовується годинна тарифна ставка (грн/год). Для розрахунку заробітної плати погодинників умовно приймаємо: 22 робочі дні на місяць, тривалість зміни — 8 годин, к-сть місяців — 12 (з урахуванням оплачуваної відпустки). Отже на рік зарплата складає:

$$З_{погод.}^{вер.} = N_{чол.} \cdot S_{час.погод.}^{вер.} \cdot 8 \cdot 22 \cdot 12, \quad (5.22)$$

$$З_{погод.}^{вер.} = 6 \cdot 11,84 \cdot 8 \cdot 22 \cdot 12 = 150036,48 \text{ (грн.)}$$

Зарплата працівників із відрядно-преміальною системою оплати (80 % від загальної кількості верстатників — 23 особи) залежить від кількості виготовлених деталей, а не від відпрацьованого часу. Для розрахунку необхідно визначити вартість обробки однієї вала та нормативний час її виробництва. При цьому зарбіток відрядників не повинен бути нижчим за оплату погодинників за умови однакової продуктивності. Для них приймається V розряд, відповідно застосовується годинна тарифна ставка: $S_{відр.}^{вер.} = 13,60$ (грн./год) Тому відрядник повинен отримувати не менш ніж:

$$З_{відр.}^{вер.} = S_{час.погод.}^{вер.} \cdot 8 \cdot 22, \quad (5.23)$$

$$З_{відр.}^{вер.} = 13,60 \cdot 8 \cdot 22 = 2393,60 \text{ (грн.)}$$

Фонд прямої заробітної плати для працівників відрядників складатиме:

$$З_{відр.}^{вер.} = N_{дет.} \cdot S_{дет.}, \quad (5.24)$$

$$З_{відр.}^{вер.} = 2768 \cdot 222,66 = 616324,17 \text{ (грн.)}$$

Загальний річний фонд прямої заробітної плати верстатників складає:

$$З_{заг.}^{вер.} = З_{погод.}^{вер.} + З_{відр.}^{вер.}, \quad (5.25)$$

$$З_{заг.}^{вер.} = 150036,48 + 616324,17 = 766360,65 \text{ (грн.)}$$

					КНУ.КМР.131.25.1-16.05.0ЕПВ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Для слюсарів приймаємо погодинно – преміальну форму оплати праці при умові що слюсаря IV розряду, тому:

$$З_{\text{погод.}}^{\text{слюс.}} = N_{\text{чол.}} \cdot S_{\text{час.погод.}}^{\text{слюс.}} \cdot 8 \cdot 22 \cdot 12, \quad (5.26)$$

$$З_{\text{погод.}}^{\text{слюс.}} = 1 \cdot 10,63 \cdot 8 \cdot 22 \cdot 12 = 22450,56 \text{ (грн.)}.$$

Отже загальний річний фонд прямої заробітної плати усіх основних працівників які зайняті в цеху складає:

$$З_{\text{заг.}}^{\text{осн.}} = З_{\text{заг.}}^{\text{вер.}} + З_{\text{погод.}}^{\text{слюс.}}, \quad (5.27)$$

$$З_{\text{заг.}}^{\text{осн.}} = 766360,65 + 22450,56 = 788811,21 \text{ (грн.)}.$$

Премії із фонду заробітної плати складають 14% від прямої заробітної платні:

$$З_{\text{прем.}} = 0,14 \cdot З_{\text{заг.}}^{\text{осн.}}, \quad (5.28)$$

$$З_{\text{прем.}} = 0,14 \cdot 788811,21 = 110433,57 \text{ (грн.)}.$$

Інші доплати можна прийняти у розмірі 1% від прямої заробітної платні:

$$З_{\text{допл.}} = 0,01 \cdot З_{\text{заг.}}^{\text{осн.}}, \quad (5.29)$$

$$З_{\text{допл.}} = 0,01 \cdot 788811,21 = 7888,11 \text{ (грн.)}.$$

Фонд годинної заробітної плати основних працівників складає:

$$\Phi_{\text{зн.дн.ор.}} = З_{\text{заг.}}^{\text{осн.}} + З_{\text{прем.}} + З_{\text{допл.}}, \quad (5.30)$$

$$\Phi_{\text{зн.дн.ор.}} = 788811,21 + 110433,57 + 7888,11 = 907132,89 \text{ (грн.)}.$$

Визначаємо додаткову заробітну платню. Приймаємо розмір додаткової заробітної платні 4-5% від фонду годинної заробітної платні основних працівників.

$$З_{\text{дод.}} = 0,05 \cdot \Phi_{\text{зн.дн.ор.}}, \quad (5.31)$$

$$З_{\text{дод.}} = 0,05 \cdot 907132,89 = 45356,64 \text{ (грн.)}.$$

Фонд заробітної платні основних працівників виробництва об'єднує у собі фонди основної та додаткової заробітної платні:

$$\Phi_{\text{зн.ор.}} = \Phi_{\text{зн.дн.ор.}} + З_{\text{дод.}}, \quad (5.32)$$

					КНУ.КМР.131.25.1-16.05.0ЕПВ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

$$\Phi_{зп.ор.} = 907132,89 + 45356,64 = 952489,53 \text{ (грн.)}$$

Для розрахунку прямої заробітної плати допоміжних працівників (6 осіб) приймається тривалість планового періоду 11,2 місяця, оскільки оплачувана відпустка включається до фонду їх прямої заробітної плати. Тоді:

$$З_{пр.вр.} = S_{вр.} \cdot 11,2 \cdot Ч_{вр.сп.}, \quad (5.33)$$

$$З_{пр.вр.} = (0,65 \cdot 13,60 \cdot 8 \cdot 22) \cdot 11,2 \cdot 6 = 104552,45 \text{ (грн.)}$$

Для розрахунку основної заробітної плати допоміжних працівників $З_{о.вр.}$ розмір доплат приймається у розмірі 22 - 25% . Тоді:

$$З_{о.вр.} = (1,22 \dots 1,25) \cdot З_{пр.вр.}, \quad (5.34)$$

$$З_{о.вр.} = 1,22 \cdot 104552,45 = 127554 \text{ (грн.)}$$

Додаткова зарплата допоміжних працівників $З_{д.вр.}$ визначається аналогічно розрахунку за основними працівниками.

$$З_{прем} = 0,14 \cdot 127554 = 17857,56 \text{ (грн.)};$$

$$З_{допл} = 0,01 \cdot 127554 = 1275,54 \text{ (грн.)};$$

Тоді:

$$З_{д.вр.} = 17857,56 + 1275,54 = 19133,1 \text{ (грн.)}$$

Розраховуємо фонд заробітної плати допоміжних працівників:

$$\Phi_{зп.вр.} = З_{о.вр.} + З_{д.вр.}, \quad (5.35)$$

$$\Phi_{зп.вр.} = 127554 + 19133,1 = 146687,1 \text{ (грн.)}$$

Фонд заробітної плати усіх працівників цеху складає :

$$\Phi_{зп.р.} = \Phi_{зп.ор.} + \Phi_{зп.вр.}, \quad (5.36)$$

$$\Phi_{зп.р.} = 952489,53 + 146687,1 = 1099176,63 \text{ (грн.)}$$

					КНУ.КМР.131.25.1-16.05.0ЕПВ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

5.3.5 Планування фондів заробітної плати ІТР, службовців та МОП

Фонд заробітної платні промислово-виробничого персоналу механічного цеху складає :

$$\Phi_{\text{зн.плн}} = \Phi_{\text{зн.р.}} + \Phi_{\text{зн.сл.}} + \Phi_{\text{зн.ІТР}} + \Phi_{\text{зн.МОП}}, \quad (5.37)$$

$$\Phi_{\text{зн.плн}} = 1099176,63 + 203705,7 = 1302882,33 \text{ (грн.)}$$

Підсумки заносимо до таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 - Фонд заробітної плати ІТР, службовців і МОП

Посада	К-сть, осіб	Місячний оклад, грн.	Місячний фонд заробітної платні, грн.	Річний фонд заробітної платні, грн.
1	2	3	4	5
<u>ІТР:</u>				
Начальник цеху	1	4102,56	4102,56	45948,68
Майстер цеху	1	2735,04	2735,04	30632,46
Інженер-технолог	1	3418,8	3418,8	38290,57
Контролер ОТК	2	2324,78	4649,56	52075,18
Всього ІТР	5	12581,19	14905,97	166946,9
<u>СЛУЖБОВЦІ:</u>				
Бухгалтер цеху	1	2188,03	2188,03	24505,97
Всього службовців	1	2188,03	2188,03	24505,97
<u>МОП:</u>				
Прибиральник	1	1094	1094	12252,8
Всього МОП	1	1094	1094	12252,8
Всього		15863,22	18188,01	203705,7

5.3.6 Визначення середньої заробітної платні

Середня заробітна плата є важливим індикатором, що характеризує виробничо-господарську діяльність як окремого цеху, так і підприємства загалом. Цей показник прямо демонструє рівень та динаміку фінансового забезпечення співробітників. Крім того, він слугує інструментом для оцінки балансу між продуктивністю праці та її грошовою винагородою. Обчислення середньої

					КНУ.КМР.131.25.1-16.05.0ЕПВ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

зарплати виконується на базі загального фонду заробітної плати промислово-виробничого персоналу (ПВП); розрахунки проводяться як для кожної окремої категорії працівників, так і для всього персоналу в цілому.

Таблиця 5.8 - Середньомісячна заробітна платня персоналу цеху

Категорія працівників	Фонд заробітної платні, грн.	Фонд заробітної платні з преміями, грн.	Чисельність працюючих осіб	Середньомісячна заробітна платня, грн.
Промислово-виробничий персонал, Усього :	1302882,33	1393405,4	43	2512,13
- основні працівники	952489,53	1000114,01	30	2976,53
- допоміжні працівники	146687,1	154021,46	6	2291,99
-ІТР	166946,9	196997,34	5	3517,81
- службовці	24505,97	28181,87	1	2516,24
-МОП	12252,8	14090,72	1	1258,1

$$\Phi_{пр.вс.р} = 0,05 \cdot \Phi_{зн.р.}, \quad (5.38)$$

$$\Phi_{пр.вс.р} = 0,05 \cdot 952489,53 = 47624,48 \text{ (грн.)};$$

$$\Phi_{пр.р} = 0,05 \cdot \Phi_{зн.вр.}, \quad (5.39)$$

$$\Phi_{пр.р} = 0,05 \cdot 146687,1 = 7334,36 \text{ (грн.)};$$

$$\Phi_{имр.} = 0,18 \cdot \Phi_{зн.имр.}, \quad (5.40)$$

$$\Phi_{имр.} = 0,18 \cdot 166946,9 = 30050,44 \text{ (грн.)};$$

$$\Phi_{сл.} = 0,15 \cdot \Phi_{зн.сл.}, \quad (5.41)$$

$$\Phi_{сл.} = 0,15 \cdot 24505,97 = 3675,90 \text{ (грн.)};$$

$$\Phi_{мон.} = 0,15 \cdot \Phi_{зн.мон.}, \quad (5.42)$$

$$\Phi_{мон.} = 0,15 \cdot 12252,8 = 1837,92 \text{ (грн.)}$$

Підсумки розрахунків заносимо до таблиці 5.8.

					КНУ.КМР.131.25.1-16.05.0ЕПВ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

5.4 Розрахунок собівартості продукції

До статті “Сировина та основні матеріали” відносять вартість матеріалів, що входять до складу виробу. Витрати за цією статтею визначаються укрупнено на основі норм витрат матеріалів (чорнова маса виробу α_m , (т)), укрупнено для частини деталей, які виготовлені зі сталі: $\alpha_m = 0,1$ (т), середньої вартості матеріалу Ц_m , грн., ($\text{Ц}_m = 8896$ (грн.) за 1 (т), з урахуванням коефіцієнта транспортно-заготівельних витрат k_{mp} , який приймається від 1,05-1,1 та коефіцієнту $k_{бр}$, який враховує брак ($k_{бр} = 3460 / 3200 = 1,08$). Вартість повернених відходів не враховується.

З урахуванням коефіцієнтів одержуємо:

$$З_{ом.} = (0,13 \cdot 8896) \cdot 1,1 \cdot 1,08 = 1373,90 \text{ (грн./шт.)}.$$

До статті “Допоміжні матеріали” відносять витрати на технологічні матеріали, що використовуються у виробництві, але суттєво не входять до складу виробу. Потреба визначається за встановленими нормами і приймається на рівні 5–7 % від вартості основних матеріалів:

$$З_{вм} = 0,07 \cdot 1373,90 = 96,17 \text{ (грн.)}.$$

До статті “Паливо та енергія для технологічних цілей” відносять витрати на паливо та енергію, що споживаються у значних обсягах і потребують окремого обліку.

Витрати електроенергії визначаємо за формулою :

$$Q_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n Q_{\Sigma i}, \quad (5.44)$$

де $Q_{\Sigma i}$ - енергія, яку споживає i -та група устаткування:

$$Q_{\Sigma i} = F_{doi} \cdot k_{ci} \cdot k_{zi} \cdot P_{yi}, \quad (5.45)$$

де F_{doi} - дійсний річний фонд часу роботи i -тої групи устаткування. Приймаємо

$F_{doi} = 3802$ (год); k_{ci} - витрати силової енергії.

					КНУ.КМР.131.25.1-16.05.0ЕПВ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

При виборі значень k_{pi} приймаємо коефіцієнт завантаження за потужністю $k_{pi} = 0,4$ для верстатів з потужністю головного електродвигуна до 10 (кВт) і для верстатів з потужністю головного електродвигуна до 20 (кВт) - $k_{pi} = 0,45$. k_{zi} - коефіцієнт завантаження групи однотипного устаткування за часом;

Витрати електроенергії для верстатного устаткування підраховуємо і заносимо у таблицю 5.9.

Таблиця 5.9 – Витрати електроенергії на виробниче обладнання

№ групи верстатів	Установча потужність P_{yi} , кВт	К-сть верстатів і-ї групи	Витрати електроенергії, кВт/год.	Енергія, яку споживає і-та група обладнання за рік, кВт/год.
1	18,5	2	7,2	37981,98
2	10	5	2,78	45624
3	5,5	2	3,16	1824,96
4	7,5	2	2,78	13687,2
5	13	3	5,4	40035,06
Всього:		14		139153,2

Витрати електроенергії на освітлення розраховуємо за формулою:

$$Q_{осв.} = Q_{осв. вир.} + Q_{осв. сл. под.}, \quad (5.46)$$

де $Q_{осв. вир.}$ – витрати на освітлення виробничих приміщень, кВт/год. Визначаємо їх за формулою:

$$Q_{осв. вир.} = q_{вир.} \cdot k_{од} \cdot F_{гор} \cdot S_{вир.}, \quad (5.47)$$

де $q_{вир.}$ – витрати на 1 (м².) виробничих приміщень, кВт/м². Приймаємо за нормативами $q_{вир.} = 0,015$ (кВт/м²). $k_{од}$ – коефіцієнт одночасного горіння електроламп. Приймаємо за нормативами $k_{од} = 0,8$. $F_{гор}$ – тривалість горіння електроламп у рік. Приймаємо за нормативами при 2-ох змінах роботи $F_{гор} = 2500$ (год.). $S_{вир.}$ – площа виробничих (в яке входить і допоміжні) приміщень, (м²). За табл. 6.1:

$$S_{вир.} = 800,5 + 281 = 1081,5 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Тоді:

					КНУ.КМР.131.25.1-16.05.0ЕПВ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

$$Q_{осв.вир} = 0,015 \cdot 0,8 \cdot 2500 \cdot 1081,5 = 32445 \text{ (кВт/год.)}$$

Qосв. сл. поб. – витрати на освітлення службово - побутових приміщень, кВт/год.

Визначаємо їх за формулою:

$$Q_{осв.сл.поб.} = q_{сл.поб.} \cdot k_{од} \cdot F_{гор} \cdot S_{сл.поб.}, \quad (5.48)$$

де $q_{сл. поб.}$ – витрати на 1 (м2) службово-побутових приміщень, (кВт/м2).

Приймаємо за нормативами $q_{вир} = 0,010$ (кВт/м2). $k_{од}$ – коефіцієнт одночасного горіння електроламп. Приймаємо за нормативами $k_{од} = 0,7$. $F_{гор}$ – тривалість горіння електроламп у рік. Приймаємо за нормативами при 2-ох змінах роботи $F_{гор} = 2500$ (год.). $S_{сл. поб.}$ – площа службово – побутових приміщень приміщення, м2. За табл. 6.1: $S_{сл. поб.} = 430,5$ (м2).

Тоді:

$$Q_{осв.сл.поб.} = 0,010 \cdot 0,7 \cdot 2500 \cdot 430,5 = 7533,75 \text{ (кВт/год.)}$$

Підставивши значення у формулу (5.33), отримаємо:

$$Q_{осв.} = 32445 + 7533,75 = 39978,75 \text{ (кВт/год.)}$$

Тоді витрати на статтю «Паливо та енергія» на одиницю виробу складають:

$$З_{т.э.} = \frac{Ц_{э.с} \cdot Q_{осв}}{N_{зан}} + \frac{Ц_{э.л} \cdot Q_{верст}}{N_{зан}}, \quad (5.49)$$

де $Ц_{э.с}$ - вартість 1 (кВт/год.) електроенергії для службово – побутових приміщень, за діючими тарифами приймаємо: $Ц_{э.с} = 1,12$ (грн.) за 1 (кВт/год.). $Ц_{э.л.}$ - вартість 1 (кВт/год.) електроенергії для підприємств за діючими тарифами приймаємо: $Ц_{э.л.} = 1,2$ (грн.).

$$З_{т.э.} = \frac{1,12 \cdot 39978,75}{3460} + \frac{1,12 \cdot 139153,2}{3460} = 57,98 \text{ (грн./од.)}$$

До статті “Основна зарплата виробничих працівників” відносять пряму заробітну плату, розраховану в розділі 5.2.

$$З_o = \frac{З_{пр}^м}{N_{зан}}, \quad (5.50)$$

					КНУ.КМР.131.25.1-16.05.0ЕПВ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

$$3_o = \frac{788811,21}{3460} = 227,98 \text{ (грн./од.).}$$

До статті “Додаткова зарплата виробничих працівників” відносять доплати до денного та річного фондів заробітної плати. Розрахунок виконано в розділі 5.2:

$$3_o = \frac{3_{\text{прем}} + 3_{\text{допл}} + 3_{\text{дод}}}{N_{\text{вип}}}, \quad (5.51)$$

$$3_o = \frac{110433,57 + 7888,11 + 45356,64}{3200} = 51,15 \text{ (грн.).}$$

На статтю «Відрахування до пенсійного фонду» відносять суму, яка дорівнює 38,35% від фонду оплати праці:

$$3_{cc} = (3_o + 3_o) \cdot 0,3835, \quad (5.52)$$

$$3_{cc} = (227,98 + 51,15) \cdot 0,3835 = 107,05 \text{ (грн.).}$$

Таким чином, зарплата працівників виробництва з нарахуваннями складає :

$$3_{o.p.} = 3_o + 3_o + 3_{cc}, \quad (5.53)$$

$$3_{o.p.} = 227,98 + 51,15 + 107,05 = 386,18 \text{ (грн.).}$$

Категорія "Витрати на підтримку та експлуатацію обладнання" охоплює комплекс різнорідних фінансових витрат. Ця стаття витрат включає в себе кошти, необхідні для утримання в належному стані устаткування та виробничих робочих місць. Сюди ж відносять витрати, пов'язані з ремонтом виробничих машин і транспортних засобів, а також амортизаційні відрахування на оновлення (реновацію) основних фондів. Додатково ця комплексна стаття покриває відшкодування зносу (або списання вартості) малоцінних та швидкозношуваних інструментів та приладів, а також низку інших супутніх витрат.

Що стосується розрахунку витрат на поточний ремонт устаткування, то він здійснюється виходячи з встановлених нормативів. Зокрема, передбачається фіксована сума 120 грн./рік на кожну одиницю металооброблювального верстата. Окремо враховуються витрати на ремонт електричних двигунів: вони становлять

					КНУ.КМР.131.25.1-16.05.0ЕПВ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

125 грн./рік для шліфувальних верстатів та 70 грн./рік для всіх інших типів верстатів. Тоді:

$$Z_{\text{рем}} = 11 \cdot 120 + 3 \cdot 125 + 8 \cdot 70 = 2255 \text{ (грн.)}.$$

Розмір амортизаційних відрахувань:

$$Z_{\text{а.обор}} = 1953637,1 \text{ (грн.)}.$$

$$Z_{\text{сво}} = \frac{Z_{\text{рем.}} + Z_{\text{а.обор.}}}{N_{\text{вип}}}, \quad (5.54)$$

$$Z_{\text{сво}} = \frac{2255 + 1953637,1}{3200} = 611,22 \text{ (грн.)}.$$

Категорія "Цехові витрати" являє собою комплексний набір фінансових витрат, призначених для забезпечення управління та обслуговування виробничого процесу на рівні цеху. До цієї статті відносяться кошти, спрямовані на утримання адміністративного апарату цеху (управлінського персоналу).

Також вона включає амортизаційні відрахування, пов'язані з об'єктами загальноцехового призначення, а також витрати на ремонт і підтримання цих споруд та інвентарю. Додатково фінансуються дослідно-конструкторські роботи, заходи з раціоналізації та винахідництва. Обов'язковою складовою є забезпечення заходів із охорони праці. Усі ці численні витрати у своїй сукупності забезпечують безперебійне функціонування виробничого підрозділу.

Зарплата адміністративно-управлінського персоналу з нарахуваннями (38,35%) $Z_{\text{АУП}}$:

$$Z_{\text{АУП}} = (196997,34 + 28181,87 + 14090,72) \cdot 1,3835 = 331029,95 \text{ (грн.)}.$$

Зарплата допоміжних працівників з нарахуваннями $Z_{\text{доп}}$ (38,35%) складає:

$$Z_{\text{доп}} = 154021,46 \cdot 1,3835 = 213088,69 \text{ (грн.)}.$$

Амортизаційні відрахування на реновацію споруд $Z_{\text{а.зд.}}$ та інвентарю $Z_{\text{а.інв.}}$:

$$Z_{\text{а.зд.}} = 95788,4 \text{ (грн.)}.$$

$$Z_{\text{а.інв.}} = 49321,5 \text{ (грн.)}.$$

У підсумку на статтю «Цехові витрати» віднесена сума :

					КНУ.КМР.131.25.1-16.05.0ЕПВ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

$$Z_{\text{цех}} = \frac{Z_{\text{АУП}} + Z_{\text{доп.}} + Z_{\text{а.зд.}} + Z_{\text{а.інв.}} + Z_{\text{душ}} + Z_{\text{нар}}}{N_{\text{вип}}}, \quad (5.55)$$

$$Z_{\text{цех}} = \frac{331029,95 + 213088,69 + 95788,4 + 49321,5 + 7095 + 172819,92}{3200} = 271,61 \text{ (грн.)}.$$

До статті “Загальнозаводські витрати” відносять витрати на загальне управління підприємством та організацію виробництва (зарплата з відрахуваннями персоналу заводууправління, відрядні витрати, утримання пожежної та воєнізованої охорони, конторські витрати, амортизація споруд та інші витрати). При калькуляції собівартості ці витрати розподіляють пропорційно основній заробітній платі виробничих працівників. Для їх визначення складається кошторис загальнозаводських витрат.

$$Z_{\text{оз}} = Z_o \cdot K_{\text{оз}}, \quad (5.56)$$

$$Z_{\text{оз}} = 227,98 \cdot 0,7 = 159,59 \text{ (грн.)}$$

Таким чином, виробнича собівартість буде складати:

$$C_{\text{пр}} = Z_{\text{ом}} + Z_{\text{нф}} + Z_{\text{вм}} + Z_{\text{тэ}} + Z_{\text{о.р.}} + Z_{\text{сзо}} + Z_{\text{цех}} + Z_{\text{оз}}, \quad (5.57)$$

$$\begin{aligned} \text{Спр} &= 1373,90 + 100 + 96,17 + 57,98 + 386,18 + 611,22 + 271,61 + 159,59 \\ &= 3056,65 \text{ (грн.)} \end{aligned}$$

До статті “Позавиробничі витрати” відносять витрати, пов’язані зі збутом продукції, тарою, транспортуванням виробів до станції відправлення та іншими витратами.

Ці витрати належать до комплексних статей, для визначення яких складається кошторис позавиробничих витрат.

$$Z_{\text{вп}} = C_{\text{пр}} \cdot 0,04, \quad (5.58)$$

$$Z_{\text{вп}} = 3056,65 \cdot 0,04 = 122,27 \text{ (грн.)}$$

Повна собівартість виробу:

$$C_n = C_{\text{пр}} + Z_{\text{вп}}, \quad (5.59)$$

$$C_n = 3056,65 + 122,27 = 3178,92 \text{ (грн.)}$$

					КНУ.КМР.131.25.1-16.05.0ЕПВ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Для визначення прибутку та оптової ціни одиниці продукції встановлюємо рівень рентабельності 30 %. Запланований прибуток розраховується за формулою:

$$P_{nl} = \frac{C_n \cdot P}{100}, \quad (5.60)$$

$$P_{nl} = \frac{3178,92 \cdot 25}{100} = 794,73 \text{ (грн.)}$$

Оптова вартість одиниці продукції буде складати:

$$C_o = (C_n + P_{nl}) \cdot ПДВ, \quad (5.61)$$

де ПДВ - податок на додану вартість (20%).

Тоді:

$$C_o = (3178,92 + 794,73) \cdot 1,2 = 4768,38 \text{ (грн./од.)}$$

Комунальний податок (з групи місцевих податків) становить 10 % від неоподаткованого фонду оплати праці.

Неоподатковуваний мінімум приймається 17 грн на одну особу (усього 43 особи).

Розрахунок виконується за формулою: Сума податку :

$$Z_{KH} = \frac{0,1 \cdot 17 \cdot Q_{min}}{N_{min}}, \quad (5.62)$$

$$Z_{KH} = \frac{0,1 \cdot 17 \cdot 43}{3200} = 0,023 \text{ (грн.)}$$

Визначаємо собівартість:

$$C = C_n + Z_{KH}, \quad (5.63)$$

$$C = 3178,92 + 0,023 = 3178,94 \text{ (грн.)}$$

Запланований прибуток було отримано раніше, тоді реальна рентабельність буде складати:

$$P' = \frac{P_{nl} - Z_{KH}}{C} \cdot 100, \quad (5.64)$$

$$P' = \frac{794,73 - 0,023}{3178,94} \cdot 100 = 25,00\%$$

					КНУ.КМР.131.25.1-16.05.0ЕПВ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

5.5 Техніко-економічні показники роботи механічного цеху

Розрахунок техніко-економічних показників механічного цеху наводимо в таблиці 5.10.

Таблиця 5.10 - Калькуляція собівартості виробу

№	Найменування статей калькуляції	Сума затрат на виріб, грн.	Питома вага витрат	
			на річну програму випуску, тис. грн.	у повній собівартості , %
1	2	3	4	5
1	Сировина й основні матеріали	1373,90	4396480	39,73
2	Покупні вироби і напівфабрикати	100	320000	2,89
3	Допоміжні матеріали	96,17	307520	2,78
4	Паливо й енергія на технологічні потреби	57,98	185536	1,68
	Прямі матеріальні витрати	1628,05	5209760	47,08
5	Основна зарплата виробничих працівників	227,98	729536	6,59
6	Додаткова зарплата виробничих працівників	51,15	163680	1,15
7	Відрахування на соціальне страхування виробничих працівників	386,18	1235776	11,17
	Зарплата основних виробничих працівників	665,31	2128992	19,24
8	Витрати на утримання та експлуатацію устаткування	611,22	1955904	17,68
	Технологічна собівартість виробу	2904,58	9294656	83,99
9	Цехові витрати	271,61	869152	7,85
	Цехова собівартість виробу	3176,19	10163808	91,85
10	Загальнозаводські витрати	159,59	510688	4,62
	Виробнича собівартість виробу	3335,78	10674496	96,46
11	Позавиробничі витрати	122,27	391264	3,54
	Повна собівартість виробу	3458,05	11065760	99,99
12	Комунальний податок	0,023	73,6	0,0007
	Госпрозрахункова собівартість виробу	3458,07	11065824	100

Таблиця 5.11 - Техніко-економічні показники роботи механічного цеху

№	Найменування показників	Одиниця виміру	Величина
1	2	3	4
1	Річна програма випуску виробів, $N_{\text{вип}}$	шт.	3200
2	Обсяг товарної продукції, $Q_M = N_{\text{вип}} \cdot C_o$	грн.	15258816
3	Капітальні вкладення, необхідні для створення виробництва, K	грн.	10050970
4	Прибуток від реалізації товарної продукції, $\Pi_p = (C_o - 3)N_{\text{вип}}$	грн.	5088128
5	Собівартість товарної продукції, $C_M = C \cdot N_{\text{вип}}$	грн.	10170688
6	Вироблення на одного працівника, $\Pi_M = Q_M / \text{Ч}_{\text{ппп}}$	грн./осіб	354856,19
7	Витрати на 1 грн. товарної продукції, $C_{\text{мп}} = C_M / (N_{\text{вип}} \cdot C_o)$	грн./грн.	0,67
8	Фондовіддача, $\Phi_o = Q_M / \Phi_{\text{пр}}$	грн./грн.	2,45
9	Фондомісткість, $\Phi_c = \Phi_{\text{пр}} / Q_M$	грн./грн.	0,41
10	Фондоозброєність, $\Phi_v = \Phi_{\text{пр}} / \text{Ч}_{\text{ппп}}$	грн./чол	145029,44
11	Строк окупності капітальних вкладень, $T = K / \Pi_p$	років	1,9

5.6 Охорона праці та екологія на підприємстві

В Україні, як у соціально орієнтованій державі, питання безпеки, гігієни праці та збереження здоров'я працівників є одним із пріоритетних напрямів державної політики. Правові, організаційні та соціально-економічні засади охорони праці визначені Законом України «Про охорону праці» (в редакції від 23.06.2017 р. із змінами), який встановлює єдині вимоги до створення безпечних і здорових умов праці на всіх підприємствах, незалежно від форми власності та виду діяльності.

Закон передбачає комплексну систему державного управління охороною праці, що включає розроблення нормативно-правових актів, організацію державного нагляду, підготовку та навчання працівників, а також економічне

					КНУ.КМР.131.25.1-16.05.0ЕПВ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

стимулювання роботодавців, які забезпечують високий рівень безпеки виробничого середовища. Згідно зі статтями 13–14 зазначеного Закону, роботодавець зобов'язаний створити на кожному робочому місці умови праці, що відповідають вимогам державних стандартів безпеки праці (ДСТУ ISO 45001:2019), системи управління охороною здоров'я та безпекою праці, а також забезпечити функціонування служби охорони праці на підприємстві.

Крім Закону України «Про охорону праці», ключові положення щодо прав працівників містяться в Конституції України. У статті 43 проголошується право кожного громадянина на працю, що включає можливість заробляти собі на життя працюю, яку він вільно обирає, а також право на безпечні та здорові умови праці. Стаття 45 гарантує право на відпочинок, зокрема встановлює щотижневі дні відпочинку, скорочений робочий день для окремих категорій працівників і оплачувану щорічну відпустку. Стаття 49 гарантує право громадян на охорону здоров'я та медичне забезпечення, що є важливим складником системи охорони праці.

На механообробному виробництві, де здійснюються операції точіння, фрезерування, свердління, шліфування тощо, працівники піддаються впливу низки небезпечних та шкідливих виробничих факторів: рухомих частин верстатів, уламків ріжучого інструменту, металевої стружки, шуму, вібрації, підвищеної температури, пилу та аерозолів мастильно-охолоджувальних рідин. Згідно з вимогами ДСТУ ISO 45001:2019, ДСТУ EN ISO 12100:2016 «Безпечність машин. Загальні принципи конструювання. Оцінювання ризиків та зниження ризику» та НПАОП 0.00-1.28-10, роботодавець повинен здійснювати ідентифікацію небезпек, оцінювання ризиків і впроваджувати заходи їх усунення або мінімізації.

Для зниження рівня виробничого ризику на ділянці механічної обробки передбачаються такі організаційні та технічні заходи:

- обладнання верстатів справними огорожувальними пристроями, аварійними вимикачами та системами блокування;

					КНУ.КМР.131.25.1-16.05.0ЕПВ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

- забезпечення працівників засобами індивідуального захисту (ЗІЗ) відповідно до НПАОП 0.00-4.01-08 (захисні окуляри, рукавиці, спецодяг, протишумові навушники);

- підтримання нормативного рівня освітлення згідно з ДСТУ EN 12464-1:2014;

- дотримання вимог щодо мікроклімату робочої зони відповідно до ДСП 9.9.5-080-2002;

- застосування систем вентиляції та пиловловлення для видалення шкідливих аерозолів і стружки;

- організація навчання, інструктажів і перевірки знань працівників з питань охорони праці відповідно до Типового положення про навчання з питань охорони праці (НПАОП 0.00-4.12-05).

Особливу увагу приділяють ергономічним аспектам організації робочого місця, що відповідають вимогам ДСТУ ISO 6385:2005, де визначено принципи проектування систем «людина–машина–виробниче середовище». Дотримання ергономічних вимог дає змогу зменшити статичні навантаження, запобігти професійним захворюванням та підвищити продуктивність праці.

Метою даного розділу є розроблення комплексу заходів з охорони праці, спрямованих на усунення або зниження до безпечних рівнів негативного впливу небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища у процесі механічної обробки деталей. Реалізація цих заходів забезпечує відповідність умов праці вимогам чинних нормативно-правових актів України з охорони праці та сприяє створенню безпечного, ергономічного і технічно раціонального виробничого середовища.

5.7 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які впливають на процес виробництва деталі

У процесі механічної обробки деталей, зокрема при виготовленні вала насосного агрегату, працівники перебувають під впливом комплексу небезпечних

					КНУ.КМР.131.25.1-16.05.0ЕПВ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

і шкідливих виробничих факторів, які можуть негативно впливати на стан їхнього здоров'я, працездатність і безпеку праці. Виявлення, аналіз і оцінювання таких факторів є необхідною умовою для розроблення ефективних профілактичних та інженерно-технічних заходів, що забезпечують безпечне ведення технологічного процесу.

Згідно з вимогами ДСТУ ISO 45001:2019 «Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці», усі небезпечні фактори на робочому місці повинні бути ідентифіковані, оцінені за ступенем ризику та знижені до допустимого рівня. У механообробному виробництві основні небезпеки класифікують за фізичною, хімічною, біологічною, психофізіологічною та організаційною природою їхнього впливу.

До фізичних небезпечних факторів, що впливають на токарні, фрезерні та шліфувальні операції, належать:

- рухомі частини верстатів і ріжучого інструменту, які можуть спричинити травмування при потраплянні рук або одягу в зону обробки;
- розліт стружки, металевих уламків і абразивних частинок, що створюють ризик ушкодження очей і шкіри;
- підвищений рівень шуму та вібрацій (до 85–95 дБА), що виникають під час різання, свердління та шліфування і при тривалому впливі можуть викликати професійну приглухуватість чи вібраційну хворобу;
- іонізуюче та електромагнітне випромінювання від електрообладнання та зварювальних апаратів (у суміжних зонах);
- підвищена температура поверхонь обладнання та заготовок, що може спричинити опіки при дотику без захисних засобів.

До шкідливих виробничих факторів хімічної природи належать аерозолі, випари мастильно-охолоджувальних рідин (МОР), пил металів і абразивів, які утворюються при обробці сталі. Згідно з ДСП 9.9.5-080-2002 «Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень», концентрація шкідливих речовин у повітрі робочої зони не повинна перевищувати гранично допустимих концентрацій (ГДК). Підвищена концентрація парів МОР може викликати

					КНУ.КМР.131.25.1-16.05.0ЕПВ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

подразнення слизових оболонок, алергічні реакції та захворювання дихальних шляхів. Для зниження концентрації шкідливих речовин застосовуються місцеві витяжні вентиляції та системи аспірації.

До психофізіологічних факторів належать нервово-емоційне напруження, монотонність праці, статичні навантаження, тривале перебування в одній позі, що можуть призводити до перевтоми, зниження концентрації уваги та підвищення ризику нещасних випадків. Особливу небезпеку становить зниження реакції оператора під час роботи на верстатах з ЧПК у нічні зміни або за відсутності належного відпочинку.

До організаційних факторів ризику належать: недостатня освітленість робочої зони (нижче 300 лк згідно з ДСТУ EN 12464-1:2014), неправильне розміщення обладнання, відсутність огорожень і захисних пристроїв, невідповідність режимів праці та відпочинку, а також відсутність своєчасного інструктажу чи перевірки знань з охорони праці.

Окрему групу становлять ергономічні фактори, які пов'язані з невідповідністю конструкції робочого місця антропометричним параметрам працівника.

Порушення вимог ДСТУ ISO 6385:2005 «Ергономічні принципи проектування робочих систем» може призвести до розвитку захворювань опорно-рухового апарату та загального зниження працездатності.

У сукупності перелічені фактори формують професійні ризики механообробного виробництва, ступінь яких визначається видом виконуваних операцій, характеристиками обладнання та умовами виробничого середовища. Для їх зниження необхідно впроваджувати систему управління ризиками, що передбачає планування профілактичних заходів, використання інженерних рішень, проведення медичних оглядів і постійний моніторинг безпеки праці.

Ретельний аналіз небезпечних і шкідливих факторів дає змогу не лише визначити пріоритетні напрями удосконалення виробничих умов, але й забезпечити відповідність робочого процесу вимогам чинних нормативно-

					КНУ.КМР.131.25.1-16.05.0ЕПВ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

правових актів України з охорони праці, підвищити ефективність праці та гарантувати безпечне виробництва деталей на всіх етапах технологічного процесу.

5.8 Інженерні рішення та пропозиції по забезпеченню безпеки технологічного процесу

Забезпечення безпеки технологічного процесу виготовлення деталей у механообробному виробництві ґрунтується на комплексі інженерно-технічних, організаційних і санітарно-гігієнічних рішень, спрямованих на усунення або мінімізацію дії небезпечних і шкідливих факторів. Основним принципом є попередження небезпеки на джерелі її виникнення, що відповідає вимогам ДСТУ EN ISO 12100:2016 «Безпечність машин. Загальні принципи конструювання. Оцінювання ризиків і зменшення ризику».

Одним із ключових технічних рішень є оснащення верстатів системами блокування, огорожувальними екранами та автоматичними аварійними вимикачами, що запобігають доступу працівника до зони різання під час роботи обладнання. Для зменшення рівня шуму і вібрацій застосовуються вібропоглинаючі прокладки, балансування шпинделів та інструментів, а також періодичне технічне обслуговування приводів і підшипників.

З метою зниження концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони передбачено встановлення місцевої витяжної вентиляції над верстатами, обладнання повітроочисними фільтрами та використання закритих систем подачі мастильно-охолоджувальних рідин (МОР). Підлога виробничої ділянки виконується з антиковзних матеріалів, а проходи — позначаються сигнальним кольором відповідно до ДСТУ ISO 3864-1:2015.

Для підвищення ергономічності робочих місць здійснюється раціональне розміщення обладнання, дотримання нормативних відстаней між верстатами, встановлення оптимальної висоти робочих поверхонь і сидінь. Освітлення повинно відповідати ДСТУ EN 12464-1:2014, із застосуванням світлодіодних джерел світла нейтрального спектру.

					КНУ.КМР.131.25.1-16.05.0ЕПВ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Організаційно-технічні заходи включають регулярне навчання та інструктаж персоналу, перевірку знань правил безпечної експлуатації верстатів з ЧПК, періодичні огляди технічного стану обладнання, а також контроль за дотриманням норм мікроклімату, шуму та освітленості. Важливим елементом є впровадження системи управління безпекою праці на основі стандарту ДСТУ ISO 45001:2019, що дозволяє проводити систематичний моніторинг ризиків, документування інцидентів і вдосконалення виробничої культури.

Запропоновані інженерні рішення забезпечують комплексний підхід до формування безпечного виробничого середовища та сприяють підвищенню рівня надійності технологічного процесу виготовлення вала насосного агрегату.

					КНУ.КМР.131.25.1-16.05.0ЕПВ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У процесі виконання магістерської роботи було проведено комплексне техніко-економічне обґрунтування проєкту організації механообробного виробництва. У результаті розрахунків визначено програму випуску виробів у кількості 3460 одиниць на рік, сплановано чисельність промислово-виробничого персоналу, що становить 43 працівники.

Розраховані капітальні вкладення, необхідні для створення проєктованого цеху, становлять 10 050 970 грн, що забезпечує реалізацію виробничої програми в заданих обсягах. Визначена собівартість одиниці продукції становить 3178,9 грн, а оптова відпускна ціна — 4768,38 грн. На основі цих показників отримано рентабельність виробництва 25,0% та очікуваний річний прибуток у розмірі 3814704 грн, який залишається у розпорядженні підприємства.

З урахуванням наведених техніко-економічних параметрів термін окупності капітальних вкладень становить близько 1,9 року, що свідчить про високу ефективність проєкту.

Таким чином, розроблене виробництво є економічно доцільним, технічно обґрунтованим та інвестиційно привабливим. Реалізація проєкту забезпечить стабільне функціонування підприємства, підвищення рівня механізації виробничих процесів та створення безпечних умов праці для персоналу.

Робота повністю відповідає технічному завданню й реалізована в повному обсязі.

					КНУ.КМР.131.25.1-16.В									
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата										
Розроб.		Ткаченко			Висновки				Літ.		Арк.	Аркушів		
Перевір.		Бондар												
Н. Контр.		Нечаєв												
Затверд.		Рязанцев												
					Кафедра ТМ гр. ПМ-24м									

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Каталог та технічний посібник Seco 2020: "Токарна обробка"
2. ДСТУ 18217:2008 "Протяжки шпонкові. Конструкція"
3. ДСТУ 2675:2008 "Патрони самоцентруючі трикулачкові. Основні розміри"
4. Кіяновський М.В., Цивінда Н.І., Цівко Ф.В. Довідник нормувальника машинобудівного виробництва. Кривий Ріг: Видавничий центр КТУ, 2008.
5. Технологія обробки типових деталей (курсове проектування) Григурко О.І, Брендюля МФ., Доценко С.М, Навчальний посібник. Львів., Новий світ, 2008, 576 с.
6. Горбатюк Е.О., Мазур М.П., Зенкін А.С., Каразей В.Д. Технологія машинобудування Навчальний посібник. Львів., Новий світ, 2008, 360 с.
7. Пальчевський Б.О. Дослідження технологічних систем (моделювання, проектування, оптимізація): Навчальний посібник. Львів: Світ, 2001. 232 с.
8. Економіка підприємства: Підручник / За ред. С. Ф. Покропивного. К.: КНЕУ, 2001.
9. 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.
10. ДБН В.2.5-28-2006 Природне і штучне освітлення.
11. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
12. Закон України Про охорону навколишнього природного середовища, 1991 року зі змінами № 554-IX від 13.04.2020
13. Закон України Про охорону праці, нова редакція, м. Київ, 21 листопада 2002 року, № 341-IX від 05.12.2019, ВВР, 2020, № 13, ст.68
14. Охорона праці: Навчальний посібник / За ред. В. Кучерявого. Львів: Оріана-Нова, 2007. 368 с.
15. ДСТУ 3.1128:2014. Єдина система технологічної документації. Загальні правила виконання графічних технологічних документів.
16. ДСТУ ISO 2768-1-2001. Основні допуски. Частина 1. Допуски на лінійні та кутові розміри без спеціального позначення допусків (ISO 2768–1:1989, IDT). [Чинний від 2003-01-01] – К. :Держстандарт України, 2002. 10 с.
17. ДСТУ ISO 2768-2-2001. Основні допуски. Частина 2. Допуски геометричні для елементів без спеціального позначення допусків (ISO 2768–2:1989, IDT). [Чинний від 2003-01-01] – К. :Держстандарт України, 2001. 15 с.
18. ДСТУ ISO 286-1-2002. Допуски і посадки за системою ISO. Частина 1. Основи допусків, відхилень та посадок (ISO 286–1:1988, IDT). [Чинний від 2003-10-01] – К. :Держспоживстандарт України, 2003. – 37 с.

					<i>КНУ.КМР.131.25.1-16.СВД</i>			
<i>Змін.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ Документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Список використаних джерел</i>			
<i>Разроб.</i>	<i>Ткаченко</i>							
<i>Перевір.</i>	<i>Бондар</i>							
<i>Н. Контр.</i>	<i>Нечаєв</i>							
<i>Затверд.</i>	<i>Рязанцев</i>							
						<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
						<i>Кафедра ТМ гр. ПМ-24м</i>		

19. ДСТУ ISO 286-2-2002 Допуски і посадки за системою ISO. Частина 2. Таблиці квалітетів стандартних допусків і граничних відхилень отворів і валів. [Чинний від 2003-10-01] – К. :Держспоживстандарт України, 2004. 47 с.
20. ДСТУ 2974-95. Технологічне підготування виробництва. Основні терміни та визначення.
21. ДСТУ 2925-94. Якість продукції. Оцінювання якості. Терміни та визначення.
22. ДСТУ 2500-94 Основні норми взаємозамінності. Єдина система допусків та посадок. Терміни та визначення. Позначення та загальні норми.
23. ДСТУ 2413-94 Основні норми взаємозамінності. Шорсткість поверхні.
24. ДСТУ 2498-94 Основні норми взаємозамінності. Допуски форми та розташування поверхонь. Терміни та визначення
25. ДСТУ ISO 286-1-2002 Допуски і посадки за системою ISO. Частина 1. Основи допусків, відхилів та посадок.
26. ДСТУ ISO 1101:2009 Технічні вимоги до геометрії виробів (GPS) Геометричні допуски. Допуски форми, орієнтації, розташування та биття.
27. ДСТУ ISO 5459:2009 Кресленики технічні. Геометричні допуски. Бази та системи баз геометричних допусків.
28. ДСТУ ISO 129.1: 2007 Кресленики технічні. Проставлення розмірів і допусків. Частина 1. Загальні принципи
29. ДСТУ 2.308:2013 ЄСКД. Зазначення допусків форми та розміщення поверхонь.
30. ДСТУ 3.1107-81. Базування та бази в машинобудуванні.
31. ДСТУ 2.307:2013 Єдина система конструкторської документації. Нанесення розмірів і граничних відхилів (ГОСТ 2.307-2011, IDT)
32. ДСТУ 2860-94 Надійність у техніці. Терміни та визначення
33. ДСТУ 3004-95 Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними
34. ДСТУ 3433-96 Надійність техніки. Моделі відмов. Основні положення
35. ДСТУ 2.601:2006 ЄСКД. Експлуатаційні документи .
36. ДСТУ 3321-96 Система конструкторської документації. Терміни та визначення основних понять.
37. ДСТУ 2.604:2005 ЄСКД. Єдина система конструкторської документації. Кресленики ремонтні. Загальні вимоги.
38. ДСТУ 2.610:2006 ЄСКД. Правила виконання експлуатаційних документів
39. Боженко, Л.І. Технологія виробництва заготовок у машинобудуванні [Текст] / Л.І. Боженко. – К.: НМК ВО, 1990. – 264 с.
40. Взаємозамінність, стандартизація і технічні вимірювання. Підручник / Базієвський С.Д. – К.: Слово, 2012.–504 с.
41. Основи взаємозамінності, стандартизації і технічні вимірювання. Навчальний посібник/ Железна А.М.–К.: Кондор, 2011.–796 с.
42. Стандартизація, метрологія та кваліметрія у машинобудуванні. Навчальний посібник / Боженко Л.І.-Львів.:Світ, 2013,–328с.

					КНУ.КМР.131.25.1-16.СВД	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

					КНУ.КМР.131.25.1-16.Д							
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата								
Розроб.		Ткаченко			Додатки				Літ.		Арк.	Аркушів
Перевір.		Бондар										
Н. Контр.		Нечаєв							Кафедра ТМ гр. ПМ-24м			
Затверд.		Рязанцев										

%

```

OFM1 ( FILENAME = FM1)
N20 G20 G40
N25 G28 U0
N30 G28 W0
( OPERATION: FINISH FACE ТОРЕЦ1 )
N40 T101
N45 G50 S3000
N50 G96 S344 M4
N55 G0 X2.874 Z0. M8
N60 G1 X-0.0787 F0.03
N65 X0.144 Z0.1114
( OPERATION: ROUGH TURN ТОЧЕНИЕ1 )
N75 G0 X2.9528
N80 G50 S3000
N85 G96 S344
N90 G0 X2.9528 Z0.1114 M8
N95 X3.0315 Z0.1575
N100 X2.7244
N105 G1 Z-14.6474 F0.03
N110 X2.7953 Z-14.6828
N115 X2.8231 Z-14.6689
N120 G0 Z0.1575
N125 G1 X2.4213
N130 Z-8.0405
N135 X2.6575 Z-8.0681
N140 G3 X2.7244 Z-8.1102 R0.0433
N145 G1 X2.7522 Z-8.0963
N150 G0 Z0.1575
N155 G1 X2.1181
N160 Z-8.005
N165 X2.4213 Z-8.0405
N170 X2.4491 Z-8.0265
N175 G0 Z0.1575
N180 G1 X1.9016
N185 Z-1.6315
N190 X2.0824 Z-1.6973
N195 G3 X2.1181 Z-1.7323 R0.0433
N200 G1 X2.1459 Z-1.7184
N205 G0 X3.0315
( OPERATION: SEMI-FINISH TURN ТОЧЕНИЕ2 )
N215 G0 Z0.1575
N220 G50 S3000
N225 G96 S410
N230 G0 X3.0315 Z0.1575 M8
N235 X1.7441
N240 G1 Z-1.6496 F0.02
N245 X1.9711 Z-1.7163
N250 G3 X2.0118 Z-1.752 R0.0413
N255 G1 Z-8.0346
N260 X2.5383 Z-8.0693
N265 G3 X2.6102 Z-8.1102 R0.0413
N270 G1 Z-14.7328
N275 X2.7397 Z-14.7517

```

N280 X2.9624 Z-14.6403
 N285 G0 X3.0315
 (OPERATION: FINISH TURN ТОЧЕНИЕ3)
 N295 G0 Z0.0998
 N300 G50 S3000
 N305 G96 S295
 N310 G0 X3.0315 Z0.0998 M8
 N315 X1.3684
 N320 G1 X1.7171 Z-0.0745 F0.
 N325 X1.9398 Z0.0368
 N330 G0 X3.0315
 N335 G28 U0
 N340 G28 W4.9213
 (OPERATION: ROUGH GROOVE: OUTER КАНАЛКА1)
 N350 T202
 N355 G50 S3000
 N360 G96 S295 M4
 N365 G0 X1.9016 Z-1.6181 M8
 N370 G1 X1.3976 F0.
 N375 G0 X1.9016
 N380 Z-1.6496
 N385 G1 X1.3976
 N390 G0 X3.0157
 N395 G28 U0
 N400 G28 W4.9213
 (OPERATION: FINISH TURN ТОЧЕНИЕ5)
 N410 T101
 N415 G50 S3000
 N420 G96 S459 M4
 N425 G0 X1.6654 Z0.1181 M8
 N430 G1 Z-1.5233 F0.06
 N435 X1.9722 Z-1.7496
 N440 G3 X1.9858 Z-1.7717 R0.0394 F0.02
 N445 G1 Z-8.0118 F0.06
 N450 X2.5039
 N455 G3 X2.5827 Z-8.0512 R0.0394 F0.02
 N460 G1 Z-14.7441 F0.06
 N465 X2.8346 F0.02
 N470 X3.0574 Z-14.6327 F0.06
 N475 G28 U0
 N480 G28 W4.9213
 (OPERATION: FINISH TURN ТОЧЕНИЕ4)
 N490 T303
 N495 G50 S3000
 N500 G96 S459 M4
 N505 G0 X2.7494 Z-9.7812 M8
 N510 G1 X2.5702 Z-9.9006 F0.06
 N515 G2 Z-10.0994 R0.1656
 N520 G1 X2.7814 Z-9.9937
 N525 G0 X3.0315
 N530 G28 U0
 N535 G28 W4.9213
 (OPERATION: FINISH GROOVE: OUTER КАНАЛКА2)
 N545 T404
 N550 G50 S3000
 N555 G96 S459 M4
 N560 G0 X2.8031 Z-13.4646 M8

N565 G1 X2.4409 F0.06
N570 G0 X2.8031
N575 Z-13.4331
N580 G1 X2.4409
N585 Z-13.4646
N590 G0 X3.0157
N595 G28 U0
N600 G28 W4.9213
(OPERATION: THREAD: OUTER PE3bBA1)
N610 T505
N615 G97 S140 M4
N620 G0 X1.8898 Z0.2623 M8
N625 X1.5666 Z0.1728
N630 G32 X1.5666 Z-1.5354 F0.059055
N635 G0 X1.8898
N640 Z0.2623
N645 X1.5666 Z0.1728
N650 G32 X1.5666 Z-1.5354 F0.059055
N655 G0 X1.8898
N660 Z0.2623
N665 G28 U0
N670 G28 W0
N675 M30
%

Додл.			
Замість			
Ориг.			

					1	1
			КНУ	КНУ.КМР.131.25.1-16.АТК	Кафедра ТМ ПМ-24м	
			Вал			Н

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Кафедра технології машинобудування

Технологічний процес виготовлення деталі Вал

Розробник Ткаченко О.В. _____ (підпис)

Перевірив Бондар О.В. _____ (підпис)

Н. контроль Нечасів В.П. _____ (підпис)

Затвердив Рязанцев А.О. _____ (підпис)

[illegible]

[illegible]

[illegible]

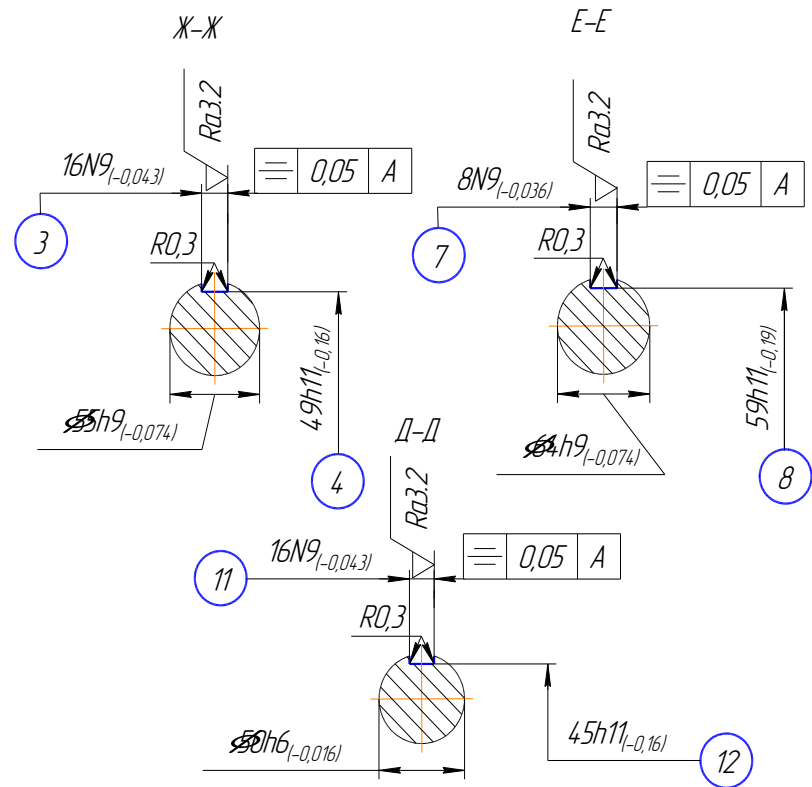
[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

$\sqrt{Ra\ 6.3}$

 KE

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

**АЛЬБОМ КРЕСЛЕНЬ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-ЗАСВІДЧУЮЧИХ
АРКУШІВ**

КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка

на тему: Технологічна підготовка виробництва вала насосного агрегату
зі застосуванням CAD/CAE/CAM систем і верстатів з ЧПК

Виконав здобувач гр. ПМ-24м

(підпис)

Ткаченко О.В.

Керівник КМР

(підпис)

Бондар О.В.

Нормоконтроль

(підпис)

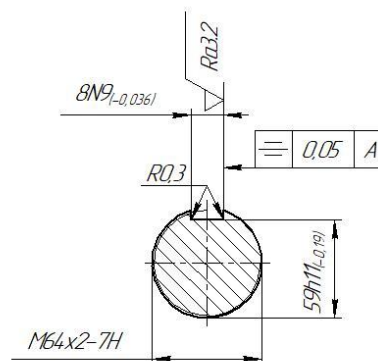
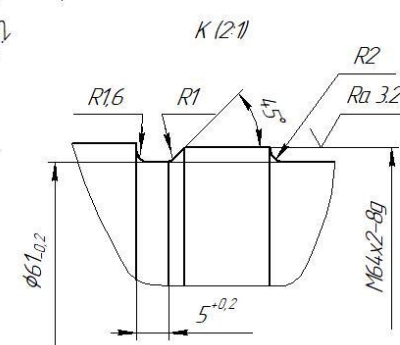
Нечаєв В.П.

Завідувач кафедри

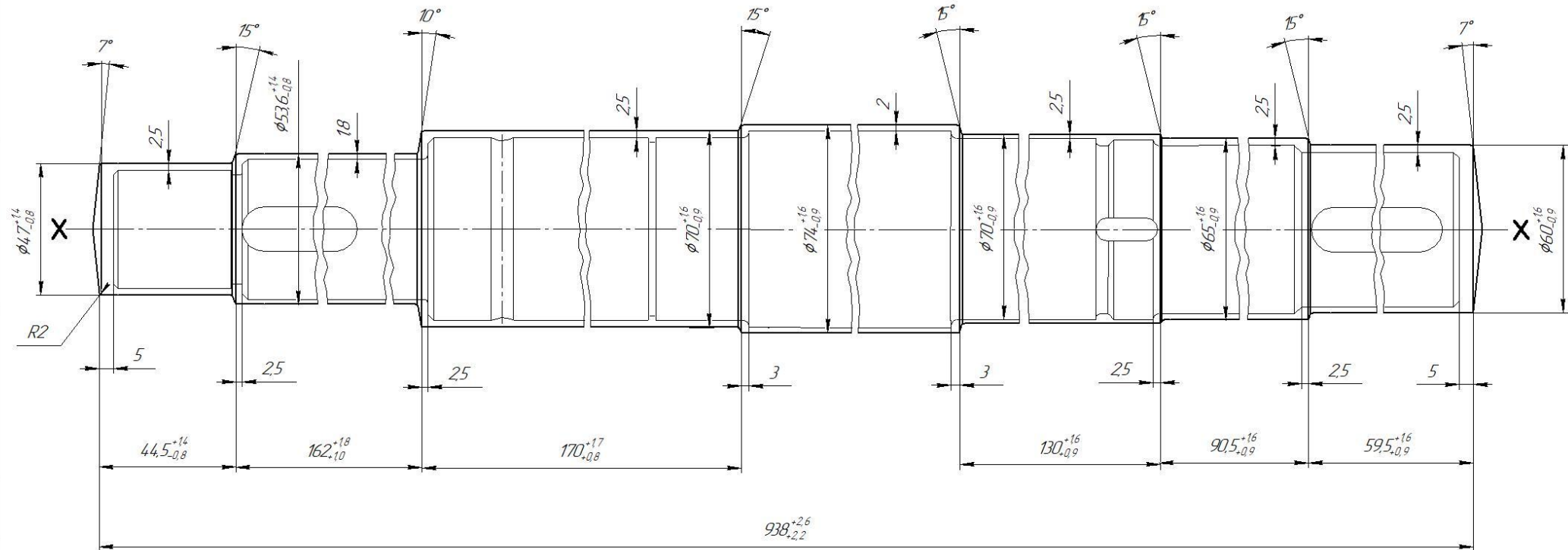
(підпис)

Рязанцев А.О.

Кривий Ріг
2025 р.



- | | | | | | | | | | | | |
|----------|----------|----------|-------|------|---|----------------------|--|---|------|---------|---|
| | | | | | | КНУ.КМР.13125.1-16.В | | | | | |
| | | | | | | Вал | | Лит. | Маса | Масштаб | |
| Эм. | Арх. | № док-м. | Підп. | Дата | Н | | | | 21 | 12 | |
| Розроб. | Ткаченко | | | | | | | Аркш | 1 | Аркш | 1 |
| Перев. | Бондар | | | | | | | Кафедра ТМ
гр. ПМ-24ч | | | |
| Текст. | | | | | | | | Формат А2 | | | |
| Корінь | | | | | | | | | | | |
| Н.контр. | Нечасов | | | | | | | | | | |
| Затв. | Рязанцев | | | | | | | | | | |
| | | | | | | Круж | | 875 ДСТУ 4738:2007
45 ДСТУ 7809:2015 | | | |
| | | | | | | Капітал | | | | | |



1. Невказані штампувальні радіуси R16.
2. Допустимий заусенець – до 7,5 мм.
3. Допустимий заусенець після обрізки до 1 мм на сторону.
4. Допустиме зміщення по площині роз'єму штампів не більш 1,2 мм.
5. Клас точності виготовлення – Т4, група сталі – М2, ступінь складності – С3.

					КНУ.КМР.131.25-16.В3							
					Вал (поковка)				Лит	Маса	Масштаб	
									Н		25,56	1:1
Зм.	Арк.	№ док.ум.	Підп.	Дата					Аркш.	1	Аркш.	1
Розроб.		Ткаченко							Кафедра ТМ			
Перев.		Бондар							гр. ПМ-24м			
Т.контр.									Формат А2			
Керівник												
Н.контр.		Нечасов			Круж 875 ДСТУ 4:738:2007 45 ДСТУ 7809:2015							
Затв.		Рязанцев			Копіював							

$$\Delta T_{\text{шм}} = 7,53 \times \theta$$

					КНУ.КМР.13125-16.С3ТО				
					Структура та зміст технологічних операцій				
Зм	Док	№ докум	Підп	Дата	Дом	Маса	Максимум		
Розроб	Голов	Складов			Н				
Голов					Архив	1	Архив	2	
Голов					Кордони ТМ зр. ПМ-24м				
Зам	Розроб				Формат А1				

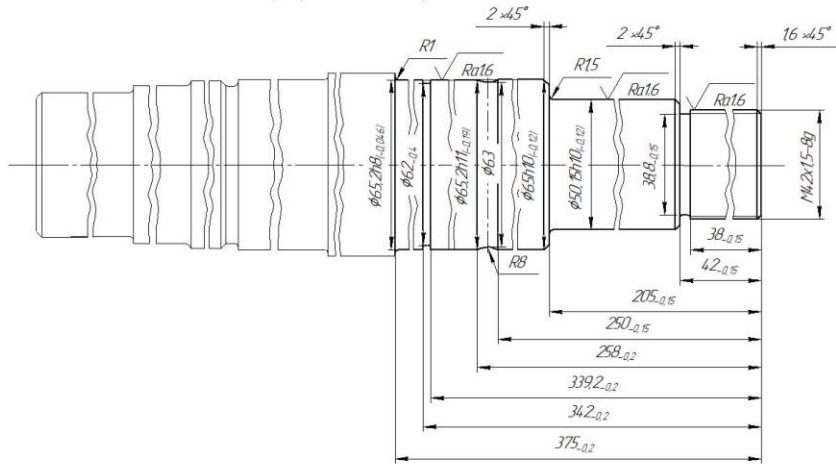
Продовження таблиці – Структура та зміст технологічних операцій виготовлення деталі "Вал" (розроблена)

КНУКМР.13.125-16.С3.ТО

Номер і назва операції	Найменування і модель верстата, пристосування	Операційний ескіз	Номери та зміст переходів та установок	Різальний інструмент	Вимірювальний інструмент і контрольне оснащення
030 Токарна з ЧПК	Токарно-гвинтований верстат з ЧПК моделі 16K20Ф3 Центр, що обертається згідно стандарту Патрон поводковий з утоплючим центром		3. Точити 2 фаски і канавку витримуючи розміри 7-11 та радіус згідно ескизу. Шорсткість згідно ескизу. 4. Точити фаску та 2 канавки витримуючи розміри 12-17 та радіус згідно ескизу. Шорсткість згідно ескизу. 5. Точити 6 поверхонь написто та точити різьбу витримуючи розміри 18-27 та радіус згідно ескизу. Шорсткість згідно ескизу.	3. Різець фасонний (спеціальний). Різець канавочний (спеціальний). 4. Різець відрізний 25x16 з переточною у 28) Т5K10 2180-0265 ДСТУ ISO 513:2015 Різець відрізний 25x16 з переточною у R8) Т5K10 2180-0275 ДСТУ ISO 513:2015 Різець фасонний спеціальний	Шаблон фасонний 0000-0154 Шаблон канавочний 0000-0325 Шаблон канавочний 0000-0318 (b=28) Шаблон канавочний 0000-0375 (b=8) згідно стандарту
035 Шліфувальна	Вертикальний фрезерний верстат моделі 6P11 Пристосування затискне (спец.) КН-УКМР.13.125-16/17		Встановити деталь, закріпити і зняти. 1. Фрезерувати шліфувальний поз витримуючи розміри 1-4. 2. Фрезерувати шліфувальний поз витримуючи розміри 5-8. 3. Фрезерувати шліфувальний поз витримуючи розміри 9-12.	13. Фреза 2235-0001 Р6М5 ДСТУ 854:2015 2. Фреза 2234-0375 Р6М5 ДСТУ 854:2015	Калібр 854-0226-5 згідно стандарту (16 N9) Штангенциркуль ШЦ-III 0-250 0.05 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018 Зразки шорсткості Ra3.2 згідно стандарту Калібр 854/815 згідно стандарту
040 Термічна	Установка високочастотна /13-13 Індуктор		Гартувати поверхні $\phi 60h11k9$ та $\phi 65h11k9$ до твердості HRC 42.45, $h=0.8, 1.2$ мм		Твердомір Т5 500H-03 згідно стандарту
045 Круглошліфувальна	Круглошліфувальний верстат моделі 3П16.38. Центра жорсткі згідно стандарту Хочулик для шліфувальних робіт згідно стандарту		Встановити деталь, закріпити і зняти. 1. Шліфувати шліку витримуючи розміри 1 і 2. Встановити деталь, закріпити і зняти. 2. Шліфувати шліку витримуючи розміри 3 і 4. Встановити деталь, закріпити і зняти. 3. Шліфувати шліку витримуючи розміри 5 і 6. Встановити деталь, закріпити і зняти. 4. Шліфувати поверхні витримуючи розміри 7 і 8. Встановити деталь, закріпити і зняти. 5. Шліфувати шліку витримуючи розміри 9 і 10. Встановити деталь, закріпити і зняти. 6. Шліфувати шліку витримуючи розміри 11 і 12.	1-6. Круглошліфувальний ЛП 750x80x305 24A 63H 0M25 K5 50м/с 2 кл А згідно стандарту	Калібр-скоба 8118-0009-1 згідно стандарту Мікрометр МК 50-75 0.01 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018 Калібр скоба 15301/811 згідно стандарту Калібр скоба 15301/811 згідно стандарту Мікрометр МК 50-75 0.01 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018
050 Круглошліфувальна					
055 Круглошліфувальна					
060 Круглошліфувальна					
065 Круглошліфувальна					
070 Круглошліфувальна					
075 Мийна	Мийна машина ММ-100		Промити деталь у воді з розчином каустичної соди, $t_{\text{води}}=80^\circ\text{C}$	-	-
080 Контрольна	-		Технічний огляд ОТК	-	Індикатор годинникового типу ИИ-10 0.01 згідно стандарту

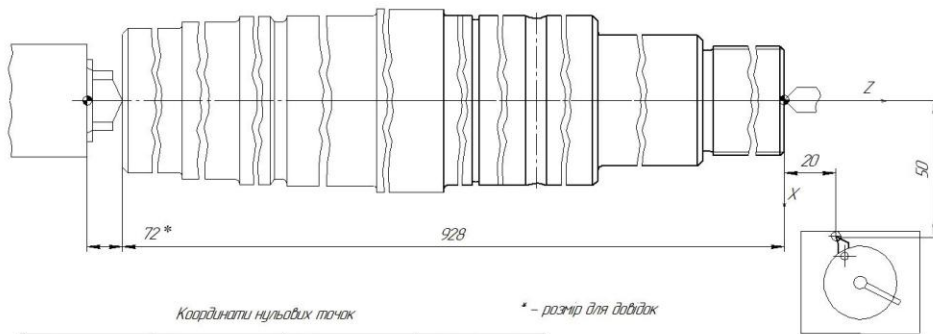
Розрахунково-технологічна карта для верстата з ЧПК моделі 16K20ФЗ

Перероблене креслення деталі

 $\sqrt{Ra6,3 \text{ (N/1)}}$ 

Таблиця координат опорних точок

Номери переходів														
Оп. 30 Пер. 1			Оп. 30 Пер. 2			Оп. 30 Пер. 3			Оп. 30 Пер. 5					
Номер точок	Координати мм		Номер точок	Координати мм		Номер точок	Координати мм		Номер точок	Координати мм		Номер точок	Координати мм	
	Z	X		Z	X		Z	X		Z	X		Z	X
0	20	50	0	20	50	0	-40	48.75	0	15	45	9	-34.15	32.8
1	2	24.05	1	2	22.1	1	-40	21.75	1	0	21.5	10	-37.4	32.8
2	-4.1	24.05	2	-4.15	22.1	2	-40	48.75	2	-38	21.5	11	-37.4.5	35
3	-4.3	26.8	3	-4.35	25.5	3	-16	48.75	3	-44	25.22	12	-37.4.5	37
4	-203.2	26.8	4	-204	25.5	4	-16	23.35	4	-203.5	25.22	13	15	45
5	-205	34.5	5	-205	33.1	5	-16	48.75	5	-203.5	32.8	14	0	20.16
6	-371.5	34.5	6	-374	33.1	-	-	-	6	-251	32.8	15	-38	20.16
7	-373	36	7	-374.7	35.5	-	-	-	7	-257	32.8	16	-38	25
8	20	50	8	20	50	-	-	-	8	-340	32.8	17	15	45



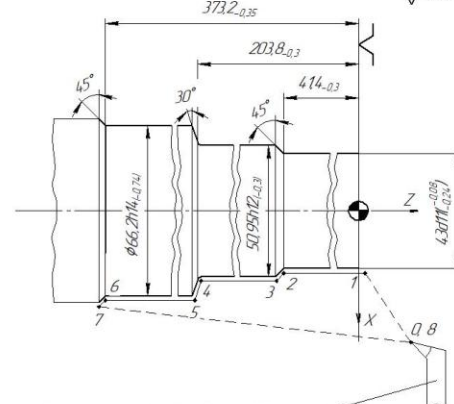
Координати нульових точок

* - розмір для довідки

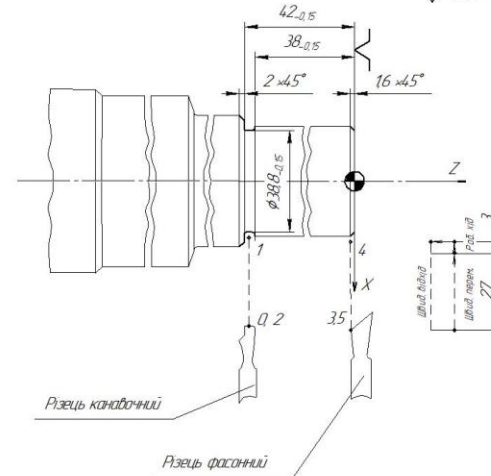
Координати	Нуль програми	Нуль верстата	Нуль деталі
Xo	50	0	0
Zo	20	-1000	0
Xw	0	50	50
Zw	0	-1020	20
Xm	50	0	0
Zm	-1020	0	-1000

Маршрут руху інструментів

Різець прохідний чорновий - 0-8
Різець прохідний напівчистовий - 0-8
Різець канавочний - 0-2
Різець фасонний - 3-5
Різець прохідний чистовий - 0-13
Різець різьбовий - 14-17

Операція 30. Токарна з ЧПК
Перехід № 1 $\sqrt{Ra125}$ Різець токарний прохідний чорновий
2101-0963 згідно стандарту ISO 513:2015

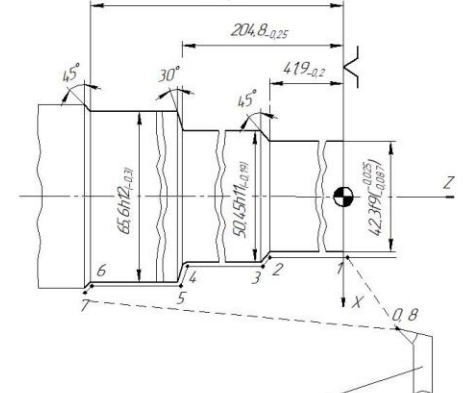
Вид інструмента	N інструмента	Кільк. поверх.	Глиб. різання	Режими		Зміст переходів
				S xB	V m/xB	
Прохідний відгнутий	1	6	2	0.8	105	Точність

Операція 30. Токарна з ЧПК
Перехід № 3 $\sqrt{Ra6,3}$ 

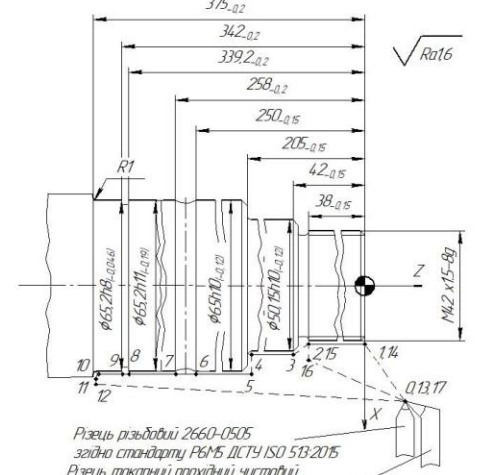
Різець канавочний

Різець фасонний

Вид інструмента	N інструмента	Кільк. поверх.	Глиб. різання	Режими		Зміст переходів
				S xB	V m/xB	
Прохідний відгнутий	34	2	2	0.06	90	Точність

Операція 30. Токарна з ЧПК
Перехід № 2 $\sqrt{Ra6,3}$ Різець токарний прохідний напівчистовий
2101-0961 згідно стандарту ISO 513:2015

Вид інструмента	N інструмента	Кільк. поверх.	Глиб. різання	Режими		Зміст переходів
				S xB	V m/xB	
Прохідний відгнутий	2	6	0.35	0.45	125	Точність

Операція 30. Токарна з ЧПК
Перехід № 4 $\sqrt{Ra16}$ 

Різець різьбовий 2660-0505

згідно стандарту ISO 513:2015

Різець токарний прохідний чистовий

2101-0951 згідно стандарту ISO 513:2015

Вид інструмента	N інструмента	Кільк. поверх.	Глиб. різання	Режими		Зміст переходів
				S xB	V m/xB	
Прохідний відгнутий	8,9	7	0.3	15	140	Точність Нарізання різьби

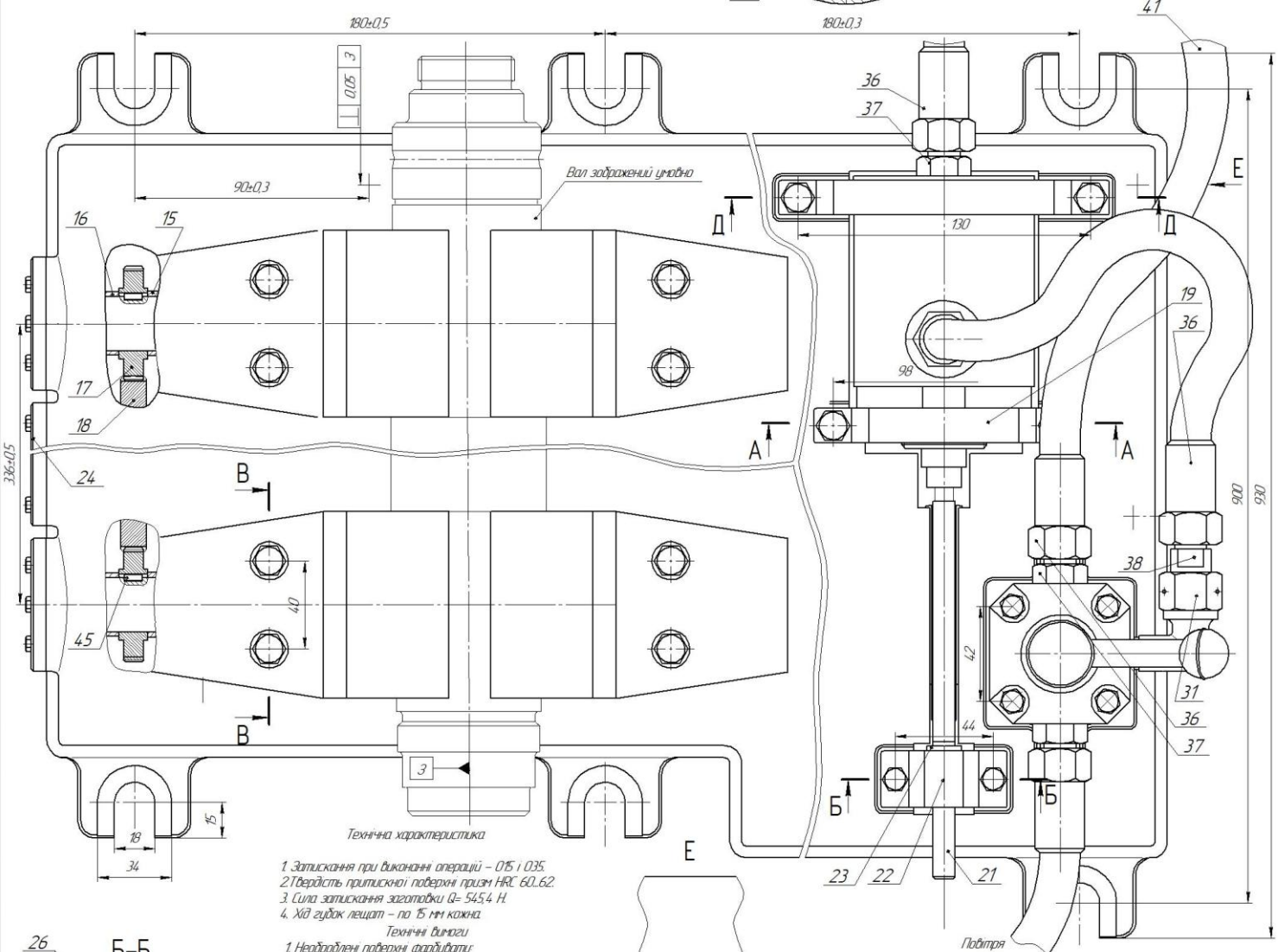
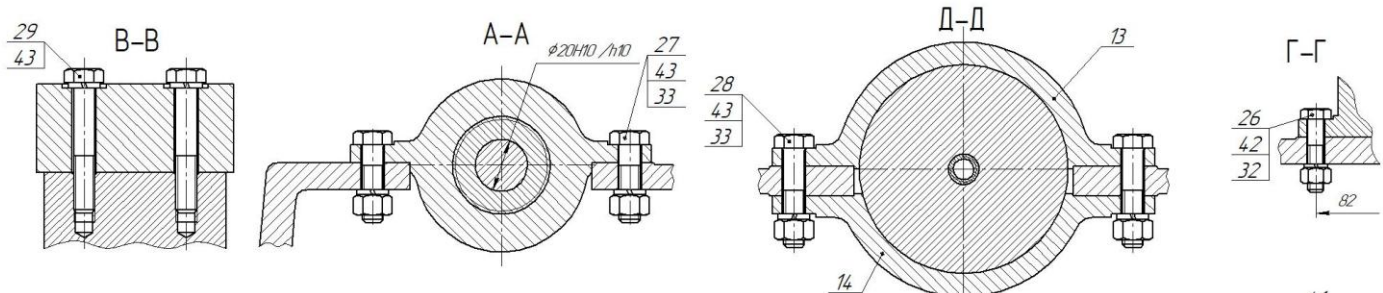
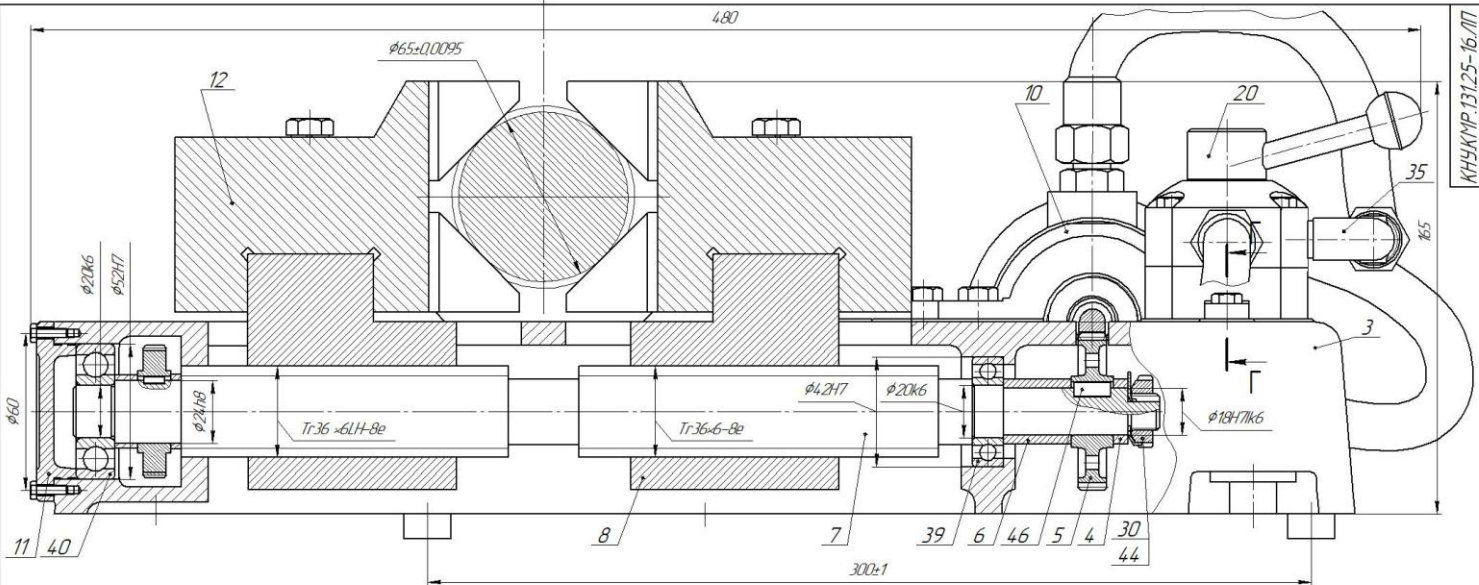
КНУКМР.13125-16.РТК

Розрахунково-технологічна карта

Лист 11

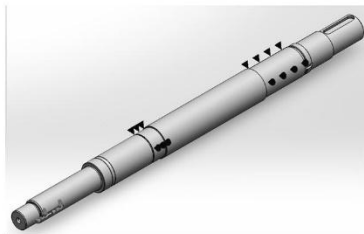
Картка 11

Формат А1

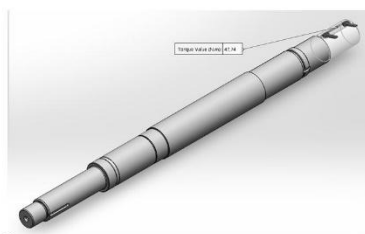


- Технічна характеристика
1. Затискання при виконанні операції – 0,15 і 0,35.
 2. Твердість притискної поверхні призм ННС 60,62.
 3. Сила затискання заготовки Q=5454 Н.
 4. Хід губок лещат – по 15 мм кожна.
- Технічні вимоги
1. Необроблені поверхні фарбувати внутрішні – оліфостійкою фарбою, зовнішні – сірою нитроемаллю.
 2. Парожники підшипників заповнити на 1/3 об'єму консистентним пластичним мастилом ВНИИ НТ-257 згідно стандарту.
 3. На ходовий гвинт нанести тонкий шар консистентного пластичного мастила ВНИИ НТ-257 згідно стандарту.

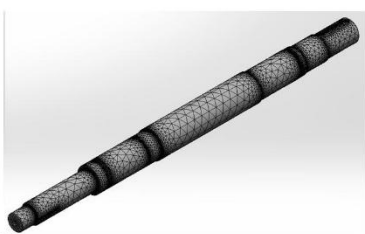
КНУКМР.131.25-16.ПТ									
Лещата призматичні									
Зм.	Арх.	№ докум.	Підп.	Дато.	Лист	Маса	Масштаб		
Н					72	11		Архив	Архив
Розроб.	Технічний							Кордана ТМ	
Констр.	Будівельний							гр. ПМ-24Н	
Керуючий	Начальник							Формат	A1
Зам.	Резервний								



Модель із визначеними кріпленням
(зеленим – зафіксована геометрія, синім – опори вальниць)



Модель із визначеними крутним моментом
(рожеві стрілочки – напрям дії сили на вічну грань шпонкового пазу, рожева поверхня – вісь крутного моменту)



Сітка кінцевих елементів



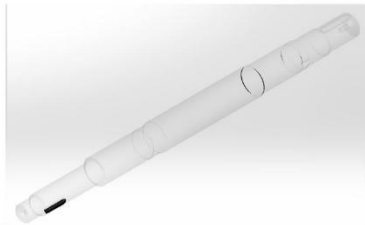
Модель із розрахованими напругами у матеріалі сталь 45



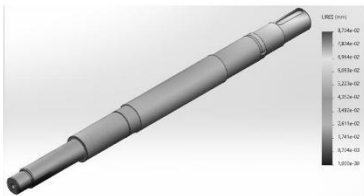
Модель із розрахованими деформаціями у матеріалі сталь 45



Модель з розрахованим запасом міцності



Епюра найвищих механічних напруг (Design Insight) всередині тіла моделі із сталі 45



Епюра переміщення матеріалу під дією навантажень моделі із сталі 45

						КНУКМР.131.25.1-16.АЕПР		
Зм.	Арх.	М. док.	Підп.	Дого.		Аналіз проектних рішень з використанням CAE/CAE-технологій		
Розроб.	Технічна							
Перев.	Бюро					Автори		
Наказ	Началь					Кафедра ТМ		
Зам.	Розроб					зр. ПМ-24м		
						Формат А1		

					КНУКМР.13125-16.ТЕП			
					ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧНИ			
					ПОКАЗАНИКИ			
					лит	Маса	Мощность	
					Н			
					Ампер	Амперы	Т	
					Корреда ТМ			
					гр. (М-24ч)			
					Формат А1			

Криворізький національний університет
Факультет механічної інженерії та транспорту
Кафедра технології машинобудування
Ступінь вищої освіти: другий (магістерський)
Спеціальність: 131 Прикладна механіка
Освітньо-професійна програма: Технологія машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри, к.т.н., доц. Рязанцев А.О.

(підпис)

(дата)

ЗАВДАННЯ на кваліфікаційну магістерську роботу

Здобувач гр. ПМ-24м Ткаченко Олександр Володимирович

1. Тема: Технологічна підготовка виробництва вала насосного агрегату зі застосуванням CAD/CAE/CAM систем і верстатів з ЧПК

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

Затверджена наказом по КНУ № 554с від «28» липня 2025 р.

2. Термін подання здобувачем закінченої роботи 07 грудня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: 1. Найменування вузла. 2. Креслення деталі «Вал». 3. Креслення насоса

4. Зміст пояснювальної записки: 1. Характеристика і службове призначення вузла і деталі. 2. Технологічна підготовка виробництва деталі. 3. Проектування оснащення. 4. Дослідна частина. Інженерний аналіз деталі. 5. Організаційно-економічна підготовка виробництва.

5. Перелік графічного матеріалу: 1. Складальне креслення агрегату насосного. 2. Вал. 3. Заготовка вала. 4. Технологічний процес. 5. Розрахунково-технологічна карта однієї операції. 6. Результати обчислення вала у SW Simulation. 6. Верстатне пристосування 7. Техніко-економічні показники

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Організаційно-економічна підготовка виробництва	Нечаєв В.П.	18.09.2025	18.11.2025

7. Календарний план:

№ з/п	Етапи виконання кваліфікаційної роботи бакалавра	Термін виконання
1.	Розробка та узгодження технічного завдання	01.08.2025
2.	Технічне завдання та аналіз вихідних даних	10.08.2025
3.	Призначення об'єкту виробництва	15.08.2025
4.	Аналіз технологічності деталі	30.08.2025
5.	Креслення деталі та заготовки (А2-А4)	03.09.2025
6.	Вибір та обґрунтування послідовності обробки поверхонь деталі	15.09.2025
7.	Вибір верстатів та інструментів	20.09.2025
8.	Розробка технологічного процесу обробки деталі	01.10.2025
9.	Розробка конструкції контрольного пристосування та інженерний розрахунок вала (А2)	07.10.2025
10.	Організаційно-економічна підготовка виробництва	15.11.2025
11.	Висновки	01.11.2025
12.	Оформлення РПЗ	15.11.2025
13.	Попередній захист	07.12.2025

Дата видачі завдання: «28» липня 2025 р.

Завдання видав керівник КМР _____ / Бондар О.В./

Завдання отримав
здобувач освіти _____ / Ткаченко О.В./