

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка

на тему: Технологічна підготовка виробництва валу відцентрового вентилятора В-Ц4-70 зі застосуванням САД/САЕ-систем і верстатів з ЧПК

Виконав: здобувач групи ПМ-22
Пляц О.А.

Керівник випускної роботи:
доцент, к.фіз.-мат.н.,
Кравцова Д.Ю.

Кривий Ріг
2026 р.

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

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ БАКАЛАВРСЬКОЇ РОБОТИ**

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка

на тему: Технологічна підготовка виробництва валу відцентрового вентилятора В-Ц4-70 зі застосуванням CAD/CAE-систем і верстатів з ЧПК

Виконав здобувач гр. ПМ-22

(підпис)

Олександр ПЛЯЦ

Керівник КБР

(підпис)

Дар'я КРАВЦОВА

Нормоконтроль

(підпис)

Василь НЕЧАЄВ

Завідувач кафедри

(підпис)

Антон РЯЗАНЦЕВ

м. Кривий Ріг
2026 р.

ВІДОМІСТЬ МАТЕРІАЛІВ КБР

№	Формат	Позначення	Найменування	К-сть листів	Прим.
			<u>Документація</u>		
1	A4	КНУ.КБР.131.26.1-22.ПЗ	Пояснювальна записка	40	
			<u>Графічні матеріали</u>		
2	A2	КНУ.КБР.131.26.1-22.В	Вал	1	
3	A1	КНУ.КБР.131.26.1-22.ТП	Технологічний процес	2	
4	A1	КНУ.КБР.131.26.1-22.РТК	Розрахунково-технологічна карта	1	
5	A1	КНУ.КБР.131.26.1-22.ПК	Пристосування контрольне (складальне креслення)	1	
6	A2	КНУ.КБР.131.26.1-22.АПР	Аналіз проектних рішень	1	

					<i>КНУ.КБР.131.26.1-22.ВМКБР</i>				
<i>Змін.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ Документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>					
<i>Розроб.</i>	<i>Пляц</i>				<i>Відомість матеріалів КБР</i>				
<i>Перевір.</i>	<i>Кравцова</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-22</i>				

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА.....	6
1.1 Умови експлуатації, функції, які виконують функціональні поверхні деталей	6
1.2 Аналіз параметрів точності деталі.....	7
1.3 Характеристика матеріалів деталей	8
1.4 Вибір режиму роботи цеху.....	9
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	12
2.1 Аналіз технологічності складального вузла й деталей	12
2.1.1 Аналіз технологічності вузла.....	12
2.1.2 Аналіз технологічності вала.....	12
2.2 Аналіз діючого технологічного процесу вала	13
2.3 Техніко-економічне обґрунтування вибраних методів одержання заготовок і їх характеристика	14
2.4 Розроблення структури та зміст технологічних операцій	14
2.5 Розрахунок похибки базування.....	16
2.6 Вибір металорізальних верстатів.....	17
2.7 Вибір різальних інструментів	18
2.8 Вибір вимірювальних пристроїв та інструментів	19
2.9 Вибір верстатних пристроїв	20
2.10 Розрахунок режимів різання	21
2.11 Технічне нормування операцій обробки.....	22
3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	24
3.1 Обґрунтування розрахункових силових навантажень на вал.....	24
3.2 Формування граничних умов та параметрів статичного випробування	24
3.3 Інтерпретація отриманих значень міцності та жорсткості	26
3.4 Проектування контрольно-вимірювального пристрою.....	29
4 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА	30
4.1 Охорона праці та екологія виробництва	30
4.1.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів	30
4.1.2 Екологія машинобудівного цеху	31
4.2 Економіка виробництва вала.....	32
ВИСНОВКИ.....	38
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	39
ДОДАТОК А	42
ДОДАТОК Б	44

					<i>КНУ.КБР.131.26.1-22.3</i>			
<i>Змін.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ Документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Зміст</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Пляц</i>						
<i>Перевір.</i>		<i>Кравцова</i>						
<i>Н. контр.</i>		<i>Нечаєв</i>				<i>Кафедра ТМ гр. ПМ-22</i>		
<i>Затверд.</i>		<i>Рязанцев</i>						

РЕФЕРАТ

У пояснювальній записці до кваліфікаційної бакалаврської роботи викладено результати проєкту, що охоплює 40 сторінок тексту, проілюстрований 9 рисунками, 18 таблицями та 6 аркушами графічної частини.

Головною метою дослідження є модернізація технологічного процесу обробки вала вентилятора В-Ц4-70 шляхом переходу від використання універсального парку верстатів до впровадження сучасних токарних та фрезерних центрів із числовим програмним керуванням HAAS та Sinico. Таке рішення дозволило суттєво підвищити продуктивність та точність виготовлення для заданої річної програми у 3200 одиниць. Крім того, у роботі виконано комплексний технічний аналіз конструкції з використанням методів скінченно-елементного моделювання, що дало змогу об'єктивно оцінити показники міцності та жорсткості виробу під впливом критичних експлуатаційних навантажень.

Перший розділ присвячений загальній характеристиці об'єкта дослідження, де описано функціональну роль вала в забезпеченні роботи вентиляційної установки, проаналізовано технічні вимоги до точності посадкових шийок та обґрунтовано вибір конструкційної вуглецевої сталі 45 як оптимального матеріалу.

У другому розділі представлено розробку прогресивного технологічного маршруту в умовах середньосерійного виробництва. Впровадження сучасних схем базування та високоефективного інструменту Sandvik Coromant забезпечило сумарний штучний час обробки на рівні 36,6 хвилин, що свідчить про високу технологічну ефективність запропонованих рішень.

Третій розділ містить результати комп'ютерного моделювання навантажень у середовищі SolidWorks Simulation. На основі побудованої скінченно-елементної сітки проведено статичний аналіз при крутному моменті 404 Нм, що відповідає режиму аварійного заклинювання. Побудовані епюри напружень за Мізесом та сумарних переміщень підтвердили високу надійність конструкції із коефіцієнтом запасу міцності 7,33, а використання інструменту «Design Insight» дозволило візуалізувати основні силові потоки всередині металу.

Четвертий розділ зосереджено на питаннях охорони праці та екологічної безпеки, зокрема обґрунтовано заходи з утилізації сталеної стружки та фільтрації мастильно-охолоджувальних рідин. Завершальна частина роботи присвячена розрахунку економічної доцільності, який підтвердив високу фінансову ефективність проєкту із розрахованим терміном окупності інвестицій у 2,49 року, що є відмінним показником для модернізації промислового виробництва.

ВАЛ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, ВЕРСТАТИ З ЧПК, SOLIDWORKS SIMULATION, СТАЛЬ 45, ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ.

					КНУ.КБР.131.26.1-22.Р			
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата	Реферат			
Разроб.	Пляц							
Перебір.	Кравцова							
Н. Контр.	Нечаєв							
Затверд.	Рязанцев							
					Літ.			Аркушів
					Кафедра ТМ гр. ПМ-22			

ABSTRACT

The explanatory note for this bachelor's qualification work presents the project results, spanning 40 pages of text, illustrated with 9 figures, 18 tables, and 6 sheets of graphical documentation.

The primary objective of the research is to modernize the manufacturing process for the V-Ts4-70 fan shaft by transitioning from a universal machine park to advanced HAAS and Sinico CNC turning and milling centers. This solution significantly enhanced productivity and manufacturing precision for a target annual production volume of 3,200 units. Furthermore, a comprehensive technical analysis of the design was performed using Finite Element Analysis (FEA), allowing for an objective assessment of the product's strength and stiffness under critical operational loads.

The first section is devoted to the general characteristics of the research object, describing the functional role of the shaft within the ventilation system, analyzing technical requirements for the precision of seating journals, and justifying the selection of Grade 45 carbon steel as the optimal material.

The second section presents the development of a progressive manufacturing route for medium-batch production. The implementation of modern workholding schemes and high-efficiency Sandvik Coromant tooling ensured a total piece time of 36.6 minutes, demonstrating the high technological efficiency of the proposed solutions.

The third section contains the results of computer load modeling within the SolidWorks Simulation environment. Based on the generated finite element mesh, a static analysis was conducted at a torque of 404 Nm, corresponding to an emergency stall condition. The resulting von Mises stress and total displacement plots confirmed the high reliability of the design with a Factor of Safety (FOS) of 7.33, while the "Design Insight" tool allowed for the visualization of the primary load paths within the metal.

The fourth section focuses on occupational health, safety, and environmental protection, specifically justifying measures for steel chip recycling and cutting fluid filtration. The final part of the work is dedicated to the economic feasibility study, which confirmed the high financial efficiency of the project with a calculated investment payback period of 2.49 years—an excellent indicator for industrial modernization.

SHAFT, MANUFACTURING PROCESS, CNC MACHINES, SOLIDWORKS SIMULATION, STEEL 45, ECONOMIC EFFICIENCY.

					КНУ.КБР.131.26.1-22.Р	Архив
Змін.	Архив	№ Документа	Підпис	Дата		

ВСТУП

Сучасне промислове виробництво перебуває на етапі глибокої трансформації, де домінуючу роль відіграють гнучкість та максимальна інтенсифікація технологічних циклів. Відмова від консервативних методів обробки на користь високотехнологічних стратегій дозволяє підприємствам не лише нарощувати обсяги випуску, а й гарантувати стабільно високу якість складних вузлів. У таких умовах проектування нових технологічних процесів вимагає від інженера комплексного підходу, що поєднує глибоке розуміння фізики різання з можливостями цифрового керування обладнанням.

Ключовим фактором успіху в сучасному машинобудуванні є впровадження багатоосьових обробних центрів, які здатні виконувати складну геометрію за мінімальну кількість налаштувань. Використання інтелектуальних систем ЧПК дозволяє реалізувати потенціал обладнання на межі його кінематичних можливостей, забезпечуючи безпрецедентну точність взаємного розташування поверхонь. Саме синергія жорстких верстатних систем та прогресивного програмного забезпечення стає базою для створення конкурентоспроможної продукції, здатної відповідати жорстким міжнародним стандартам.

Важливу роль у підвищенні ефективності відіграє правильний вибір інструментального забезпечення. Використання інноваційних сплавів та покриттів дозволяє радикально змінити парадигму обробки, переходячи від традиційного різання до високопродуктивного фрезерування та точіння. Це дає змогу не лише скоротити машинний час, а й суттєво зменшити термічне навантаження на деталь, зберігаючи цілісність структури металу та забезпечуючи задану довговічність відповідальних деталей.

Дана кваліфікаційна робота присвячена розробці та обґрунтуванню прогресивної технології виготовлення вала в умовах середньосерійного виробництва з річною програмою 3200 одиниць. В основі проекту лежить ідея максимальної концентрації операцій на сучасних обробних центрах HAAS та спеціалізованих автоматах Sinico, що дозволяє оптимізувати виробничу логістику та знизити собівартість. Застосування цифрового інструментарію та лазерних технологій маркування дозволяє створити цілісний, енергоефективний процес, орієнтований на високі показники продуктивності та надійності.

					<i>КНУ.КБР.131.26.1-22.В</i>			
<i>Змін.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ Документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Пляц</i>						
<i>Перевір.</i>		<i>Кравцова</i>						
<i>Н. контр.</i>		<i>Нечаєв</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Рязанцев</i>						

<i>Вступ</i>			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркуші</i>
			<i>Кафедра ТМ зр. ПМ-22</i>		

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Умови експлуатації, функції, які виконують функціональні поверхні деталей

У кваліфікаційній бакалаврській роботі розглядається відцентровий вентилятор марки В-Ц4-70 (рис. 1.1) з частотою обертання 1300 об/хв, продуктивністю від 22810 до 70168 м³/год та робочим тиском у межах 2,2–1,2 МПа. Дане обладнання призначене для забезпечення нагнітання або розрідження повітря в робочій зоні. Привод вентилятора здійснюється від електродвигуна через клиноремінну передачу на приводний вал, який безпосередньо обертає лопаті робочого колеса. Конструктивно вентилятор типу В-Ц4-70 складається з ряду основних вузлів (рис. 1.2), до яких належать: станина 1, корпус 2, розтруб 3, колесо 4, вузол вала 5, двигун 6, огороження 7.

Станина служить несучою основою для монтажу всіх складових частин агрегата і має в нижній частині спеціальні отвори для встановлення на віброопори. У середині станини на підмоторній плиті розміщується електродвигун, а на самій конструкції кріпиться диск, необхідний для фіксації корпусу вентилятора та вузла вала. Спиральний корпус пристрою є нерозбірним вузлом, а особливості його закріплення дають можливість встановлювати його в будь-якому з необхідних положень. Розтруб конічної форми спрямовує газову суміш до робочого колеса, яке оснащено 12 лопатями для переміщення середовища.

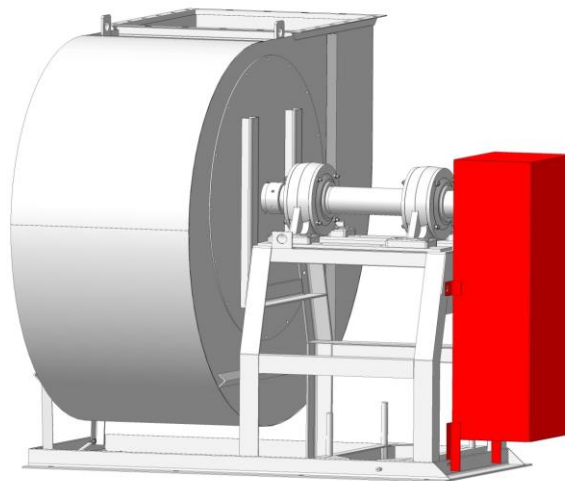


Рисунок 1.1- Загальний вигляд вентилятора В-Ц4-76-10Ж-02

Вузол вала забезпечує передачу обертального руху від двигуна до колеса і комплектується двома підшипниками серії 3620 (22320). Залежно від напрямку

					КНУ.КБР.131.26.1-22.01.34			
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата				
Розроб.		Пляц						
Перевір.		Кравцова						
Н. контр.		Нечаєв						
Затверд.		Рязанцев						
					Літ.			Арк.
								Аркуші
					Кафедра ТМ			
					гр. ПМ-22			

руху робочого колеса вентилятори виготовляються у двох варіантах виконання. До першого належать агрегати правого обертання, де колесо рухається за годинниковою стрілкою при погляді зі сторони розрідження. Другий варіант передбачає ліве обертання з рухом колеса проти годинникової стрілки. Безпосереднє переміщення повітряних мас досягається за рахунок обертання робочого колеса, що активується двигуном через систему вала та клиноремінну передачу.

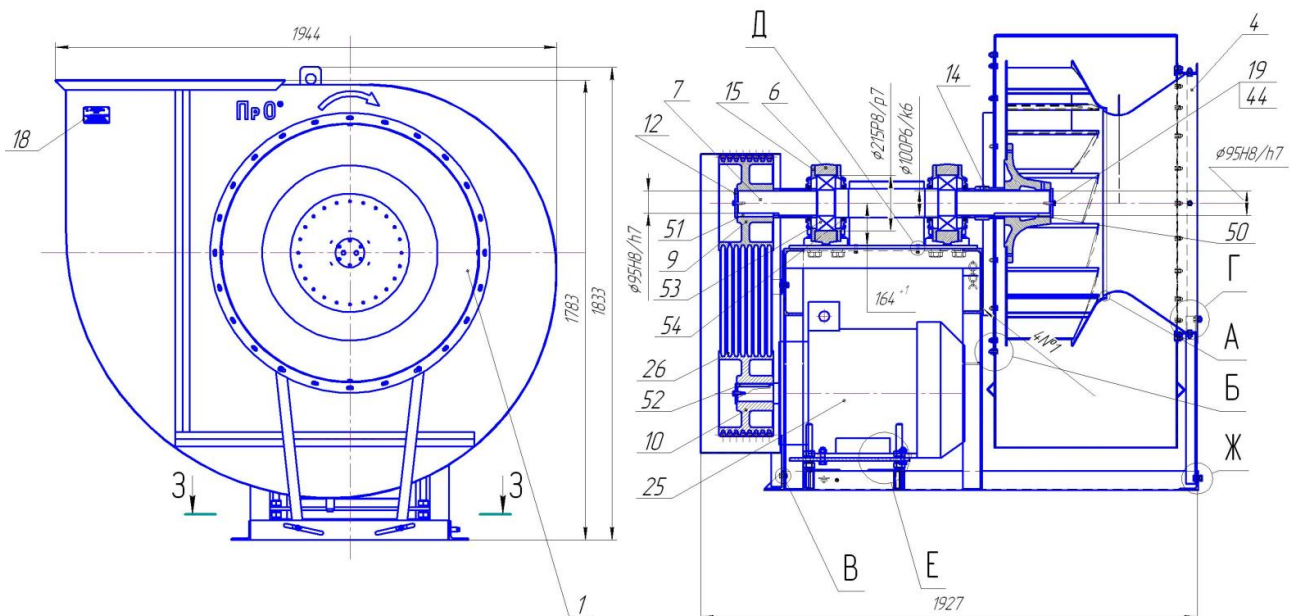


Рисунок 1.2 - Складові частини, габаритні і основні приєднувальні розміри вентилятора В-Ц4-76-10Ж-02: 1 – станина; 2 – корпус; 3 – розтруб; 4 – колесо; 5 – вузол вала; 6 – двигун; 7 – огороження.

В корпусах підшипників розміщується приводний вал. Матеріалом корпусів є чавун. Вал призначений для надання обертового руху закріпленого на ньому колеса, яка бере участь у нагнітанні/розрідженні газових сумішей. Він виготовлений зі сталі.

1.2 Аналіз параметрів точності деталі

Аналіз параметрів точності деталі виконується для того, щоб перетворити теоретичне креслення на життєздатну деталь, яка ідеально впишеться у вузол вентилятора. На цьому етапі ми визначаємо, які розміри є критичними для надійної роботи — наприклад, посадочні шийки під підшипники, — а де можна залишити вільні допуски, щоб не здорожчувати виробництво без нагальної потреби. Таке дослідження дає змогу обґрунтувати вибір обладнання, адже воно чітко вказує, чи достатньо нам лише токарної обробки на НААС, чи необхідно обов'язково використовувати круглошліфувальний верстат для досягнення високих квалітетів точності. Окрім лінійних розмірів, ми аналізуємо вимоги до геометрії, такі як співвісність та радіальне биття, оскільки навіть мізерна неточність на частоті 1300 обертів на хвилину викличе вібрації, що швидко виведуть підшипники з ладу. Зрештою, аналіз точності стає базою для вибору

						КНУ.КБР.131.26.1-22.01.34	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата			

При проведенні аналізу розмірних параметрів вала (рис. 1.3) заповнюємо таблицю 1.1, у якій приведені дані про точність виготовлення та вимоги до точності.

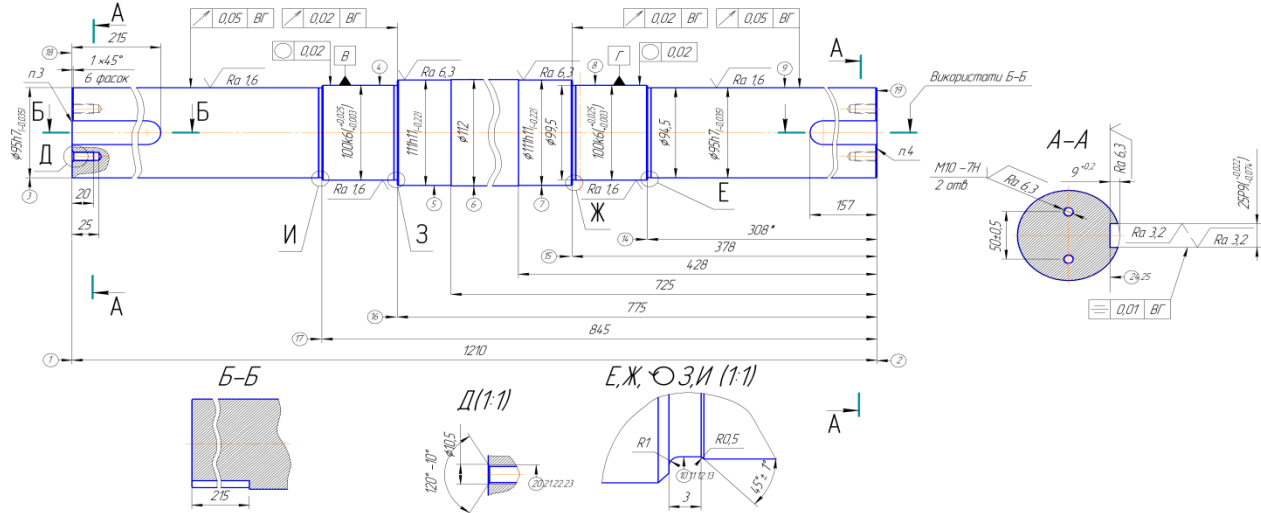


Рисунок 1.3 - Ескіз вала

Таблиця 1.1- Відомості про точність параметрів вала

Номер поверхні деталі	Назва поверхні	Розміри з відхиленнями	Квалітет точності	Шорсткість, R _a
1,2	торець	1210±0.1	±IT14/2	6,3
3,9	циліндрична	Ø 95-0,035	h7	1,6
4,8	циліндрична	Ø 100 ^{+0,025} _{0,03}	к6	1,6
5,7	циліндрична	Ø 111 _{0,22}	h11	6,3
6	циліндрична	Ø 112	h14	12,5
10,12	проточка	Ø 94,5	h14	12,5
11,13	проточка	Ø 99,5	h14	12,5
14,15, 16,17, 18,19	фаска	1x45	h12	6,3
20,21, 22,23	різьба	M10-7H	h9	6,3
24	паз шпонковий	157	h14	6,3
25	паз шпонковий	215	h14	6,3

1.3 Характеристика матеріалів деталей

Вал виготовлений зі сталі 45 ДСТУ 7809:2015. Хімічний склад і властивості матеріалу наведені нижче в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Хімічний склад та механічні властивості вала

Сталь	σ_b , МПа	σ_t , МПа	КС, кДж/ м ²	Масова частка хімічних елементів, %							
				C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P	Cu
40X	980	640	59	0,36- 0,44	0,17- 0,37	0,5-0,8	0,8-1,0	0,3	0,02	0,03	0,2
45	590- 730	490	49	0,42- 0,50	0,17- 0,37	0,5-0,8	0,25	0,3	0,04	0,035	0,2

Вибір сталі 45 для виготовлення вала вентилятора обґрунтований її оптимальним поєднанням механічної міцності, в'язкості та доступної вартості, що робить цей матеріал класичним рішенням для деталей, які працюють в умовах помірних навантажень. Як якісна вуглецева конструкційна сталь, вона забезпечує необхідну жорсткість конструкції, здатну витримувати змінні напруження від кручення та згину під час обертання колеса на частоті 1300 обертів на хвилину. Важливою технологічною перевагою сталі 45 є її висока оброблюваність різанням, що дозволяє повною мірою реалізувати потенціал інструменту Sandvik Coromant та обробних центрів HAAS, забезпечуючи низьку шорсткість поверхонь без надмірного зносу пластин. Цей матеріал добре піддається термічній обробці, зокрема покращенню (гартуванню з високим відпуском), що дозволяє підвищити границю витривалості вала та опір втомним руйнуванням у місцях концентрації напружень, таких як шпоночні пази та переходи діаметрів. З огляду на середньосерійний тип виробництва, сталь 45 є найбільш раціональним вибором, оскільки її широка доступність та передбачувана поведінка під час механічної обробки гарантують стабільну собівартість продукції при дотриманні всіх вимог надійності.

1.4 Вибір режиму роботи цеху

Вибір режиму роботи цеху є базовим організаційним етапом проектування, оскільки він визначає тривалість використання обладнання протягом року та безпосередньо впливає на розрахунок необхідної кількості верстатів. На основі обраної кількості змін та тривалості робочого тижня розраховується дійсний річний фонд часу, який є фундаментом для визначення виробничої потужності дільниці. Обґрунтування режиму роботи дозволяє збалансувати завантаження дорогих обробних центрів HAAS та Sinico, забезпечуючи виконання річної програми у 3200 виробів без надлишкових простоїв чи перевантаження персоналу. Крім того, встановлений графік роботи дозволяє оптимізувати витрати на енергоносії та логістичні процеси, що критично важливо для стабільної собівартості продукції в умовах середньосерійного виробництва. Правильно обраний режим роботи гарантує ритмічність випуску валів та створює умови для ефективного технічного обслуговування обладнання в позаробочий час.

Відомості про обчислені режими роботи цеху подані у таблиці 1.3.

					КНУ.КБР.131.26.1-22.01.34	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Таблиця 1.3 – Дійсний фонд часу

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

Серійне виробництво визначається виготовленням обмеженого переліку виробів окремими партіями, що повторюються через встановлені інтервали часу на спеціалізованих робочих місцях. Для такої організації характерне використання високопродуктивного парку обладнання, де поряд із універсальними верстатами активно застосовуються спеціалізовані та спеціальні агрегати. Технологічне оснащення базується на впровадженні швидкодіючих переналагоджуваних пристроїв та прогресивного різального інструменту, що забезпечує значну інтенсифікацію процесів. Кожна операція у такому циклі детально опрацьовується з чітким виділенням установів, позицій та переходів, які разом із розрахованими припусками та режимами різання фіксуються у технологічних картах та інструкціях.

Залежно від річної програми, складності виробів та частоти повторення циклів, серійне виробництво класифікують на дрібносерійне, середньосерійне та крупносерійне. Варто зауважити, що такий поділ є досить умовним для різних галузей машинобудування, адже при однаковій кількості деталей статус виробництва може змінюватися залежно від їхніх габаритів та трудомісткості обробки. Організаційна структура процесу формується на основі встановленого порядку виконання операцій та напрямку переміщення заготовок, розділяючись на потокову та групову форми. Потокова організація передбачає жорстку спеціалізацію кожного робочого місця на виконанні конкретної операції та ритмічне виконання робіт у суворій послідовності згідно з тактом випуску. Така лінія може бути як однономенклатурною, так і багатноменклатурною залежно від різноманітності продукції.

Натомість групова форма організації базується на об'єднанні виробів за однорідними конструктивно-технологічними ознаками, що дозволяє використовувати єдине оснащення для цілого сімейства деталей. Економічна перевага серійного виробництва порівняно з одиничним полягає у значно кращому використанні потужностей обладнання та глибокій спеціалізації персоналу, що веде до зростання продуктивності праці та суттєвого зниження собівартості продукції. Саме обраний тип виробництва у поєднанні з характером технологічного маршруту, парком верстатів та пристосувань стає фундаментальною основою для проектування ефективних механічних цехів.

Згідно з результатами аналізу ринкового попиту, річний обсяг виробництва вентиляторів визначено у кількості 830 одиниць. Для забезпечення стабільної

					КНУ.КБР.131.26.1-22.01.34	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

експлуатації поточкових ліній протягом тривалого часу розробляється фіксований графік запуску виробів. У межах проектування виробничих потужностей та визначення габаритів цеху першочерговим завданням є обґрунтування параметрів програми запуску та уточнення річного обсягу продукції, виготовлення якої відбуватиметься на спеціалізованих поточкових лініях.

Визначаємо програму запуску виробів:

$$N_{\text{зап}} = (N_{\text{виш}} + N_{\text{зч}}) \cdot (1 + k_{\text{бр}}),$$

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

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

					КНУ.КБР.131.26.1-22.01.34	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Аналіз технологічності складального вузла й деталей

2.1.1 Аналіз технологічності вузла

Конструкція вентилятора характеризується раціональною структурою, яка, попри значну кількість складальних одиниць, залишається зрозумілою та зручною у виробництві. У виробі широко застосовуються стандартизовані кріпильні елементи, такі як болти, гайки та шайби, проте основна частина функціональних деталей виготовляється за індивідуальними кресленнями спеціально для даної моделі. Особливості компоновання дозволяють проводити складання без надмірних зусиль, передбачаючи можливість попереднього монтажу окремих підвузлів поза основним корпусом. Висока точність виготовлення деталей практично повністю виключає необхідність проведення слюсарних підгінних операцій, що суттєво скорочує цикл виробництва.

Висока якість виконання основних функціональних поверхонь гарантує стабільну роботу та надійне функціонування всього агрегата. Базові поверхні складальних одиниць оброблені з високим ступенем точності, що забезпечує однозначність їхнього базування та правильну орієнтацію у вузлі. Конструктивна побудова вентилятора дозволяє виконувати монтаж без проміжних розбирань чи повторних налаштувань складових частин, а процеси регулювання та контролю роботи реалізуються без втручання в цілісність конструкції.

Геометрія складових частин розроблена таким чином, щоб автоматично забезпечувати задану точність їхнього взаємного розташування під час монтажу. Система змащування передбачає періодичне обслуговування під час планових технічних оглядів або ремонтних робіт, що спрощує експлуатацію обладнання. З огляду на зазначені чинники, конструкцію даного радіального вентилятора можна вважати високоефективною, технологічною та такою, що повністю відповідає технічним вимогам щодо виготовлення та тривалого використання.

2.1.2 Аналіз технологічності вала

Проведений аналіз креслення підтвердив, що конструкція деталі повною мірою відповідає технологічним вимогам серійного виробництва. Завдяки раціональній конфігурації поверхонь час на переналагодження обладнання залишається мінімальним, що у поєднанні з оптимальним використанням металу забезпечує значну економію ресурсів та скорочення тривалості виробничого циклу. Такий підхід дозволяє суттєво знизити собівартість виробу, зберігаючи при цьому високу якість виготовлення. Вичерпні результати оцінки показників технологічності конструкції систематизовано та представлено у таблиці 2.1.

					КНУ.КБР.131.26.1-22.02.ТЧ								
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата									
Разроб.		Пляц			Технологічна частина				Літ.	Арк.	Аркуші		
Перевір.		Кравцова											
Н. контр.		Нечаєв											
Затверд.		Рязанцев											
					Кафедра ТМ гр. ПМ-22								

Таблиця 2.1 - Аналіз технологічності вала

№ п/п	Показники вимог до технологічності	Висновки по показникам	Заходи щодо поліпшення технологічності
1	2	3	4
1	Ступінчасті вали повинні мати невеликі перепади, а довжини ступенів повинні бути однаковими або кратними для можливості обробки деталі на багаторізцевих верстатах	Вал не відповідає даній вимозі	Пропонується обробляти вал на верстаті з ЧПК зі змінним РІ
2	Вали повинні мати центрувальні отвори для базування при обробці і контролі	Центрувальні отвори існують, отже дана умова виконується	
3	При наявності на валу шпонкової канавки розмір від дна канавки необхідно проставляти від нижнього краю циліндра при базуванні у призмі.	Оскільки обробка шпонкової канавки проводиться в призмі, то дана умова нас повністю задовільняє	

2.2 Аналіз діючого технологічного процесу вала

Діючий на підприємстві технологічний процес виготовлення вала базується на технічних рішеннях та нормах, розроблених близько п'ятдесяти років тому, що зумовлює його невідповідність сучасним вимогам енергоефективності та продуктивності. Базова структура та зміст технологічних операцій виготовлення вала показана у Додатку А. За базову заготовку використовується гарячекатаний сталевий вальцьовий Ø112 мм та довжиною $1210 \pm 1,0$ мм, обробка якого в існуючих умовах орієнтована на одиничний або дрібносерійний тип виробництва. Використання морально застарілого парку універсальних верстатів та стандартного різального інструменту призводить до надмірної трудомісткості та значної кількості ручних допоміжних операцій. Орієнтація на універсальні пристрої та механічне клеймування суттєво обмежує можливість підвищення точності та стабільності геометричних параметрів вала, а також збільшує ризик виникнення браку через людський фактор.

Перехід до умов середньосерійного виробництва вимагає радикальної модернізації існуючого маршруту шляхом впровадження високопродуктивних обробних центрів із ЧПК та спеціалізованого оснащення. Замість застарілих методів обробки пропонується використання стратегії концентрації операцій на сучасних верстатах HAAS та Sinico, що дозволяє виконувати складні переходи за мінімальну кількість установів. Впровадження прогресивного різального інструменту Sandvik Coromant забезпечує можливість багаторазового підвищення швидкостей різання та подач, що безпосередньо веде до скорочення штучного часу виготовлення деталі. Така оптимізація технологічного маршруту дозволяє не лише знизити питомі витрати електроенергії на одиницю продукції, а й суттєво зменшити загальну собівартість вала за рахунок автоматизації та високої

					КНУ.КБР.131.26.1-22.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

інтенсивності праці. Новий технологічний процес забезпечує стабільну якість поверхонь і точність посадкових місць, що є критично важливим для надійної роботи вузла вентилятора на високих обертах.

2.3 Техніко-економічне обґрунтування вибраних методів одержання заготовок і їх характеристика

З огляду на помірну складність конструкції вала та відсутність різких перепадів діаметральних розмірів між його ступенями, найбільш техніко-економічно обґрунтованим методом отримання заготовки є використання гарячекатаного сталевий вальцівки круглого профілю.

Обраний метод дозволяє значно скоротити витрати на підготовчо-заключні етапи виробництва, оскільки не потребує проектування та виготовлення дорогого спеціалізованого оснащення, такого як ковальські штампи. Геометрична точність заготовки з вальцівки відповідає 12...15 квалітетам (IT12...IT15), а параметри шорсткості вихідної поверхні становлять Rz 80...20 мкм.

Хоча коефіцієнт використання матеріалу (КВМ) при такому підході становить 0,45...0,5, це повністю компенсується високою продуктивністю сучасних токарних обробних центрів HAAS, які здатні ефективно знімати надлишковий припуск за мінімальну кількість проходів. Застосування вальцівки як вихідної заготовки забезпечує оптимальний баланс між вартістю сировини, швидкістю підготовки виробництва та складністю подальшої механічної обробки, що є раціональним рішенням для даного типорозміру деталі.

При отриманні деталі з вальцівки маса заготовки буде становити:

$$m_{\text{заг}} = m_{\text{д}} * k_i * l_i, \text{ кг}$$

де $m_{\text{д}}$ – маса деталі ($m_{\text{д}}=61,7$), $k_i = 8,903$ коефіцієнт використання матеріалу; $l_i = 1,21$ м- довжина заготовки.

$$m_{\text{заг}} = 61,7 * 8,903 * 1,21 = 93,58$$

Собівартість виготовлення заготовки визначається за формулами:

$$C = m_{\text{заг}} S - (m_{\text{заг}} - m_{\text{д}}) \frac{S_{\text{відх}}}{1000}$$

де $m_{\text{заг}}$ – маса заготовки, кг; S – вартість 1 кг матеріалу заготовки, $S=2,232$ грн ; $m_{\text{д}}$ – маса деталі, кг; $S_{\text{відх}}$ – вартість 1 т відходів.

$$C = 93,58 \cdot 2,69 - (93,58 - 61,7) \frac{150}{1000} = 208,87 \text{ грн.}$$

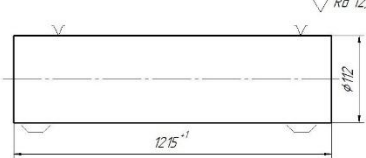
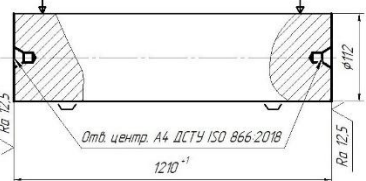
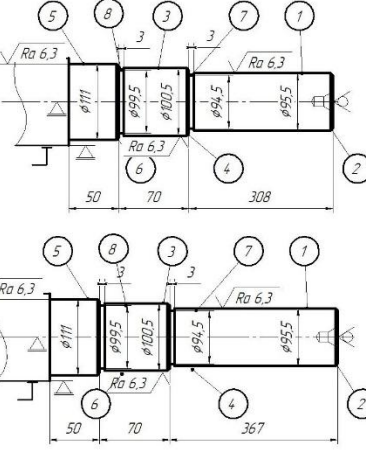
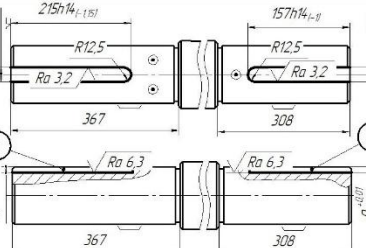
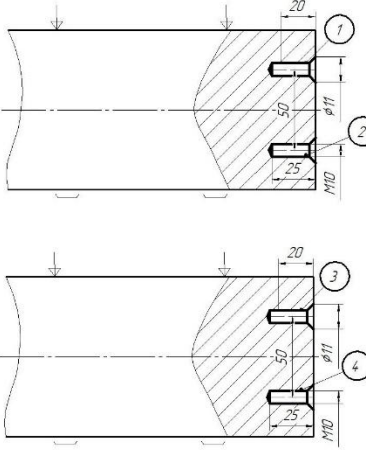
2.4 Розроблення структури та зміст технологічних операцій

Сформована структура технологічного процесу базується на принципі високої концентрації операцій, що реалізується за рахунок використання багатоосевих обробних центрів HAAS та спеціалізованих автоматів Sinico. Зміст кожного переходу оптимізовано під застосування прогресивного інструменту Sandvik Coromant, що дозволяє суттєво інтенсифікувати режими обробки та забезпечити стабільну точність функціональних поверхонь вала. Такий раціональний розподіл етапів обробки дозволив скоротити виробничий цикл

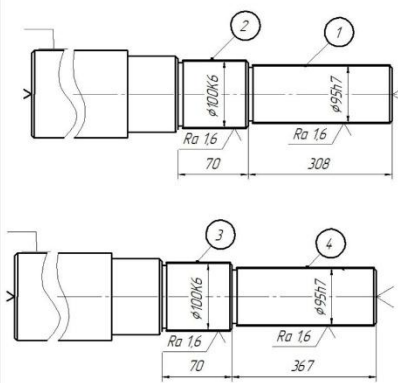
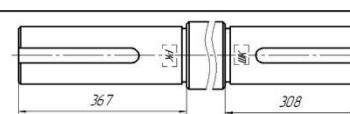
					КНУ.КБР.131.26.1-22.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

гарантуючи ефективне виконання заданої річної програми випуску в умовах середньосерійного виробництва.

Таблиця 2.2 - Розроблена структура та зміст технологічних операцій виготовлення вала для середньосерійного виробництва

№ і назва операції	Модель верстата та пристосування	Операційний ескіз	Номери і зміст переходів та установок	Різальний інструмент	Вимірний інструмент
005 Відрізання	Стрічковий верстат Pikus ARG 260 Горизонтальна лебідка		Встановити, відрізати та зняти деталь	1. Sandvik Coromant Тримач T-Max Q-Cut 1512-25-25 Різець T-Max Q-Cut N1512-250-4E 4.2.25	1. Штангенциркуль ШЦ-III-250-0.1 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018 2. Рулетка ОПК2-2НГ/2 вимірвальна ДСТУ 4179-2003
010 Фрезерування	Фрезерно-центровий верстат Sinico TOP 1300 CNC Автоматичні центруючі зйомальні лебідки (вбудовані)		Встановити, закріпити та зняти деталь 1. Фрезерувати два торці одночасно в розмір L=1210 мм. 2. Центрувати два торці одночасно (отв. А4).	1. Sandvik Coromant Тримач T-Max P DSKNN 2525M 12 Різець T-Max P SNMG 12 04 16-PR 4.4.25 2. CoroDrill 860-PM 860.1-0830-031A1-PM P18M	1. Штангенциркуль ШЦ-III-250-0.1 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018 2. Рулетка ОПК2-2НГ/2 вимірвальна ДСТУ 4179-2003
015 Токарня	Токарно-фрезерний обрабний центр з ЧПК HAAS ST-30L Линейні напрямні Підійнятий патрон Центр, що обертається		Встановити, закріпити та передвстановити деталь Установ 1 1.Точити початково пів.1 до Ø96 пів.3 до Ø100.5 згідно програми.Точити фаски 1,2x45° 2.Точити канавку пів.7,8 згідно програми. 3.Точити пів. 1,3,5 начисляти пів. 2,4,6 згідно програми Установ 2 1.Точити початково пів.1 до Ø96 пів.3 до Ø100.5 згідно програми.Точити фаски 1,2x45° 2.Точити канавку пів.7,8 згідно програми. 3.Точити пів. 1,3,5 начисляти пів. 2,4,6 згідно програми	Sandvik Coromant 1.3 Тримач T-Max P DSNN 2020K 12 Різець T-Max P SNMG 12 04 12-XM 4.4.25 2. Тримач CoroCut 3 RF123T06-2020BM Різець CoroCut 3 N123T3-0100-RS 1125 Sandvik Coromant 1.3 Тримач T-Max P DSNN 2020K 12 Різець T-Max P SNMG 12 04 12-XM 4.4.25 2. Тримач CoroCut 3 RF123T06-2020BM Різець CoroCut 3 N123T3-0100-RS 1125	1. Штангенциркуль ШЦ-III-500-0.1 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018
020 Вертикаль на фрезер	Вертикально-фрезерний обрабний центр з ЧПК HAAS VF-6 Підаротний стіл Haas HRT210 (4-та вісь) Лебідка		Встановити, закріпити та зняти деталь 1. Фрезерувати канавку пів. 1 Поворотити поворотний стіл верстата разом з закріпленою деталлю, зняти деталь 2.Фрезерувати канавку пів. 2	1, 2. Sandvik Coromant CoroMill Plura 2F342-1600-100-PD P2BM	1. Штангенциркуль ШЦ-III-500-0.1 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018
025 Горизонтально-фрезерний обрабний центр HAAS EC-1600 Вбудовані підаротний стіл (4-та вісь)	Горизонтально-фрезерний обрабний центр HAAS EC-1600 Вбудовані підаротний стіл (4-та вісь)		Встановити на поворотному столі верстата та закріпити 1. Свердлити 2 отвори 1 та 2 в Ø8.5 мм на глибину 25мм 2. Нарізати різьбу М10 в отворах 1 та 2 на глибину 20мм Поворотити поворотний стіл верстата разом з закріпленою деталлю, зняти деталь 3. Свердлити 2 отвори 3 та 4 в Ø8.5 мм на глибину 25мм 4. Нарізати різьбу М10 в отворах 3 та 4 на глибину 20мм	1.3. Sandvik Coromant CoroDrill Dura 462 462.1-0850-026A1-XM X2BM 2.4. Sandvik Coromant CoroTap 300 T300-PM104-DA-M10 P1PM	1. Штангенциркуль ШЦ-III-500-0.1 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018

Продовження таблиці 2.2

№ і назва операції	Модель верстатата та пристосування	Операційний ескіз	Намери і зміст переходів та установок	Розальний інструмент	Вимірвальний інструмент
030 Кругло шліфуваль на	Круглошліфувальний верстат з ЧПК Raitary PCO-32150 Подавач		Встановити в центрах і подавачу патрони Установ 1 1. Шліфувати пов. 1, 2 Передстановити в центрах і подавачу патрони Установ 2 1. Шліфувати пов. 3, 4	1. Круг шліфувальний Norton Quantum 1 - 405x50x127 38A 60 K V	Контрольна скоба Ø95h7 згідно стандарту Контрольна скоба Ø100js6 згідно стандарту Пристосування контрольне КНУ.КБР.131.26.01-22/ПК Зразки шорсткості Ra 12,5, Ra 6,3, Ra 3,2, Ra 1,6
035 Маркування	Лазерний маркер Keyence MD-X2500		1. Зачистити задирки, гострі кромки притупити. 2. Нанести лазерне маркування на шийку 1: «ШК» (L=308 мм). 3. Нанести лазерне маркування на шийку 2: «РК» (L=367 мм).		
040 Контрольна	Підбрачна гранітна плита з центральними вадками Mahr 812		Перевірити наявність клеїна. Відповідність розмірів, шорсткості, відсутність дефектів.		1. Штангенциркуль ШЦ-III-250-0,1 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018 Пробка Контрольна скоба Ø95h7 згідно стандарту Контрольна скоба Ø100js6 згідно стандарту Пристосування контрольне КНУ.КБР.131.26.01-22/ПК Зразки шорсткості Ra 12,5, Ra 6,3, Ra 3,2, Ra 1,6

2.5 Розрахунок похибки базування

Похибка базування визначається як відхилення фактично досягнутого положення заготовки від її теоретично необхідного розташування відносно робочих органів верстата. Цей показник виникає внаслідок несуміщення технологічної та виміральної (конструкторської) баз, що вимагає обов'язкового розрахунку для врахування додаткових похибок у розмірних ланцюгах.

Для забезпечення високої точності обробки вала на верстатах із ЧПК критично важливо прагнути до дотримання принципу єдності баз, оскільки похибка базування безпосередньо входить до сумарної похибки обробки. В умовах серійного виробництва правильний вибір баз дозволяє мінімізувати вплив випадкових чинників на точність функціональних поверхонь та гарантувати стабільне виконання жорстких допусків без збільшення витрат на фінішні операції.

Використання табличних значень є нормативно обґрунтованим, оскільки вони базуються на перевірених галузевих стандартах і багаторічному досвіді, що гарантує надійне усунення всіх похибок заготовки. Такий підхід дозволяє суттєво пришвидшити розробку технологічної документації, забезпечуючи достатній запас точності для успішного серійного виготовлення деталей.

					КНУ.КБР.131.26.1-22.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Отримані результати по усіх поверхнях заносимо в таблицю 2.3

Таблиця 2.3- Припуски та допуски на поверхні вала

№ пов.	Найменування поверхні	Найменування переходу	Припуск, мм	Квалітет	Технологічний допуск
1	2	3	4	5	6
1,2	Торець 1210±0,1	Фрезерування торців	5,0	14	0,1
3,9	Циліндрична Ø95-0,035	Обточування одноразове	8,25	7	0,035
5,7	Циліндрична Ø111-0,22	Обточування одноразове	0,5	11	0,22
10,12	Проточка Ø94,5	Обточування одноразове	0,5	14	0,26
11,13	Проточка Ø99,5	Обточування одноразове	0,5	14	0,26
14,15, 16,17, 18,19	Фаска 1×45°	Обточування одноразове	0,18	12	0,18
20,21, 22,23	Різьба М10-7Н	Нарізання різьби мітчиком	0,08	9	0,08
24	Шпонковий паз 25Р9	Фрезерування одноразове	0,062	9	0,062
25	Шпонковий паз 25Р9	Фрезерування одноразове	0,062	9	0,062

2.6 Вибір металорізальних верстатів

Вибір технологічного обладнання для виготовлення вала зумовлений необхідністю забезпечення заданої точності обробки, автоматизації виробничих процесів та врахуванням значних габаритних розмірів деталі, довжина якої становить 1200 мм. Для виконання токарних операцій обрано обробний центр HAAS ST-30L, оскільки його подовжена станина дозволяє вільно розміщувати довгомірну заготовку та використовувати нерухомий люнет для запобігання вібраціям і прогинам під час різання.

Фрезерування шпоночних пазів реалізовано на вертикальному обробному центрі HAAS VF-6, робоча зона якого за віссю X повністю перекриває довжину вала, а встановлення поворотної осі HRT210 дозволяє обробляти пази під різними кутами за один установ.

Обробка торцевих отворів перенесена на горизонтально-фрезерний верстат HAAS EC-1600, де завдяки горизонтальному розташуванню шпинделя та вбудованому поворотному столу досягається висока точність співвісності отворів з обох боків деталі.

Для забезпечення фінішної точності посадкових поверхонь застосовано круглошліфувальний верстат Palmary PCD-32150, технічні можливості якого дозволяють обробляти вали довжиною до 1500 мм у центрах.

					КНУ.КБР.131.26.1-22.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Застосування лазерного маркера Keyence MD-X2500 замість механічного клеймування обґрунтовано необхідністю безконтактного нанесення маркування на циліндричні поверхні, що виключає виникнення мікротріщин і підвищує естетичний вигляд виробу.

Контрольна операція виконується на базі метрологічного столу Mahr 812 з гранітною плитою та центровими бабками, що гарантує стабільність вимірювань і дозволяє точно контролювати радіальне биття шліфованих шийок.

Увесь комплекс обраного обладнання відповідає сучасним вимогам машинобудівного виробництва та забезпечує мінімальну кількість перевстановлень деталі, що позитивно впливає на загальну точність виготовлення вала.

2.7 Вибір різальних інструментів

Таблиця 2.4 - Різальний інструмент

Номер		Найменування інструмента
Опер.	Поз.	
005 Відрізна	1	Sandvik Coromant Тримач T-Max Q-Cut 151.2-25-25 Різець T-Max Q-Cut N151.2-250-4E 4225
	1	Sandvik Coromant Тримач T-Max P DSKNR 2525M 12 Різець T-Max P SNMG 12 04 16-PR 4425
010 Фрезерна	2	CoroDrill 860-PM 860.1-0830-031A1-PM P1BM
	1, 3	Sandvik Coromant Тримач T-Max P DSDNN 2020K 12 Різець T-Max P SNMG 12 04 12-XM 4425
015 Токарна	2	Тримач CoroCut 3 RF123T06-2020BM Різець CoroCut 3 N123T3-0100-RS 1125
	1	Sandvik Coromant CoroMill Plura 2F342-1600-100-PD P2BM
020 Вертикально-фрезерна	2	
	1, 3	Sandvik Coromant CoroDrill Dura 462 462.1-0850-026A1-XM X2BM
025 Горизонтально-розточна	2, 4	Sandvik Coromant CoroTap 300 T300-PM104DA-M10 P1PM
	1	Круг шліфувальний Norton Quantum 1 - 405x50x127 38A 60 K V

Перехід на сучасний інструмент Sandvik Coromant (табл. 2.4) замість застарілих рішень із напайними пластинами забезпечує колосальний стрибок у продуктивності та стабільності всього техпроцесу. Головна перевага полягає у

					КНУ.КБР.131.26.1-22.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

використанні інноваційних твердосплавних сплавів із багатошаровим покриттям, що дозволяють працювати на швидкостях різання, які в кілька разів перевищують можливості традиційного інструменту. Завдяки ідеально розрахованій геометрії стружколомів ми отримуємо кероване відведення стружки, що критично важливо при довгій токарній обробці вала на верстаті HAAS ST-30L. Система змінних багатограних пластин гарантує високу точність позиціонування різальної кромки, повністю виключаючи необхідність тривалих налаштувань верстата після кожної заміни інструменту. Висока теплостійкість сучасних матеріалів дозволяє підтримувати інтенсивні режими обробки протягом усього терміну служби пластини без втрати якості поверхні. Використання таких свердел, як CoroDrill, забезпечує отримання точних отворів за один прохід, що робить непотрібними додаткові операції розсвердлювання або зенкерування. Прогнозований ресурс інструменту, підтверджений цифровими звітами, дозволяє точно планувати графік заміни та уникати раптових зупинок обладнання через поломку. Висока жорсткість закріплення в сучасних інструментальних блоках мінімізує вібрації, що позитивно впливає на точність геометричних параметрів вала та шорсткість його шийок. Сучасні фрези забезпечують м'яке врізання та рівномірний розподіл навантаження на шпиндель верстата, що суттєво подовжує термін експлуатації дорогого обробного центру. Незважаючи на вищу вартість одиниці інструменту, сумарні витрати на виготовлення одного вала знижуються завдяки радикальному скороченню основного технологічного часу. Такий підхід перетворює виготовлення деталі зі складної ручної праці на високотехнологічний, повністю контрольований автоматизований процес.

2.8 Вибір вимірювальних пристроїв та інструментів

Обґрунтування вибору контрольно-вимірювальних пристроїв для техпроцесу базується на забезпеченні стабільної точності в умовах середньосерійного виробництва та мінімізації часу на вимірювання.

Для контролю високоточних поверхонь на операції 030 (шліфування), де досягаються квалітети точності 95h7 та 100k6, замість універсальних штангенциркулів передбачено використання жорстких граничних калібрів — контрольних скоб. Це рішення є найбільш раціональним для серійного виготовлення, оскільки скоби дозволяють миттєво визначити придатність деталі за принципом «прохід/непрохід», повністю виключаючи похибку відліку та значно скорочуючи допоміжний час.

Остаточне приймання вала на контрольній операції 040 реалізується за допомогою високоточного комплексу на базі повірочної гранітної плити та центрових бабок Mahr 812. Вибір професійного стенда Mahr обґрунтований необхідністю перевірки не лише лінійних розмірів, а й геометричних відхилень, таких як радіальне биття шийок та їхня співвісність, що є критичним для стабільної роботи вентилятора на частоті 1300 об/хв. Додаткове використання різьбових пробок для перевірки отворів M10, підготовлених на горизонтально-фрезерному центрі, гарантує повну складальну взаємозамінність та виключає ризик браку на фінальних етапах монтажу вузла.

					КНУ.КБР.131.26.1-22.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Таблиця 2.5 - Вимірювальний інструмент та контрольні пристосування для контролю вала

Номер		Параметр деталі який контролюється	Найменування вимірювального інструменту
Опер.	Поз.		
1	2	3	4
005	1	Ø112	Штангенциркуль ШЦ-III-250-0,1 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018
		L=1215±1	Рулетка ОПК2-2НГ/2 вимірювальна ДСТУ 4179-2003
010	1	L=1210±0,1	Штангенциркуль ШЦ-III-250-0,1 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018 Рулетка ОПК2-2НГ/2 вимірювальна ДСТУ 4179-2003
015, 020	1	Ø95,5; Ø100,5; Ø111; Ø99,5	Штангенциркуль ШЦ-1-500-0,1 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018
		L=308; L=70 ;L=50; L=367	Рулетка ОПК2-2НГ/2 вимірювальна ДСТУ 4179-2003
025	1	L=308; L=367, L=157; L=215; L=25; L=50, M10	Штангенциркуль ШЦ-1-500-0,1 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018 Пробка згідно стандарту
030	1	Ø95h7; Ø100js6	Контрольна скоба Ø95h7 згідно стандарту Контрольна скоба Ø100js6 згідно стандарту
			Пристосування контрольне КНУ.КБР.131.26.01-22.ПК Зразки шорсткості Ra 12.5, Ra 6.3 , Ra3.2, Ra1.6
040	1	Ø95h7; Ø100js6	Штангенциркуль ШЦ-1-250-0,05 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018

2.9 Вибір верстатних пристроїв

Вибір верстатного оснащення для виготовлення вала зумовлений необхідністю забезпечення жорсткості технологічної системи та високої продуктивності в умовах серійного випуску. На початковому етапі використання гідравлічних лещат на верстаті Pilous ARG 260 гарантує стабільне затискання важкого прокату діаметром 112 мм, що виключає вібрації під час відрізання. Для операції 010 обрано спеціалізований автомат Sinico TOP 1300 CNC, оснащений вбудованими самоцентруючими гідравлічними лещатами, які забезпечують ідеальну співвісність центрових отворів з обох торців заготовки за один установ. Це критично важливо, оскільки саме ці центрові отвори слугуватимуть технологічною базою для всіх наступних етапів обробки.

Найбільш відповідальний етап точіння на HAAS ST-30L вимагає застосування комбінованого оснащення: поводкового патрона, обертового центру та нерухомого люнета. Оскільки вал має значну довжину (понад 1200 мм), використання люнета є обов'язковим для компенсації сил різання та запобігання прогину заготовки, що дозволяє працювати на інтенсивних режимах, запропонованих Sandvik. Для фрезерних операцій на HAAS VF-6 та EC-1600

					КНУ.КБР.131.26.1-22.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

застосовуються прецизійні машинні лещата та стандартні палети, що забезпечують швидку переналадку та жорстку фіксацію при фрезеруванні глибоких шпоночних пазів. На фінальній стадії шліфування на верстаті PCD-32150 використання жорстких центрів та поводкового пристрою гарантує досягнення мінімального радіального биття шийок, що є запорукою довговічності підшипникових вузлів вентилятора.

Такий вибір оснащення дозволяє повністю автоматизувати цикл затискання та розтискання деталей, що безпосередньо впливає на скорочення допоміжного часу та виконання річної програми у 3200 одиниць.

2.10 Розрахунок режимів різання

Призначені режими різання базуються на офіційних рекомендаціях та цифрових звітах компанії Sandvik Coromant, що забезпечує максимальну технічну достовірність розрахунків та стабільну стійкість інструменту в умовах автоматизованого виробництва. Високі швидкості різання та оптимізовані подачі дозволяють повністю реалізувати динамічний потенціал обробних центрів HAAS і Sinico, мінімізуючи основний технологічний час виготовлення вала. Обрані параметри гарантують досягнення заданої шорсткості поверхонь та високої геометричної точності деталі при збереженні оптимальної енергоємності виробничого процесу.

Таблиця 2.9 - Режими різання для вала сучасним інструментом

Операція	Прохід	Швидкість різання V_c , м/хв	Подача, мм	Глибина різання, мм	Частота обертання, об/хв	Потужність різання P_c , кВт	Крутний момент M_c , Нм	Машинний час, хв
1	2	3	4	5	6	7	8	9
005 Відрізна	Відрізання заготовки	212	0.100	2.50	1349	1.1	7.9	0.23
010 Фрез.-центр.	1. Торцювання (2 сторони)	240	0.518	2.50	717	5.9	78.5	0.09
	2. Центрування (2 сторони)	190	0.265	—	7286	1.4	1.9	0.01
015 Токарна	1.1. Точіння $D=95$ ($L=308$)	277	0.495	2.44	928	15.1	155.6	2.90
	1.2. Точіння $D=100$ ($L=70$)	277	0.495	2.41	881	14.9	161.4	0.51
	1.3. Точіння $D=111$ ($L=50$)	278	0.493	0.50	798	3.1	37.1	0.13
	2. Точіння канавок (4 шт.)	227	0.050	1.00	761	0.3	3.8	0.05
	3.1. Точіння $D=95$ ($L=365$)	277	0.495	2.44	928	15.1	155.6	3.44

	3.2. Точіння D=100 (L=70)	277	0.495	2.41	881	14.9	161.4	0.51
	3.3. Точіння D=111 (L=50)	278	0.493	0.50	798	3.1	37.1	0.13
020 В.- фрезерн а	1. Шпоночний паз L=215	236	0.090	9.00	4700	10.6	21.6	0.39
	2. Шпоночний паз L=157	236	0.090	9.00	4700	10.6	21.6	0.29
025 Г.- фрезерн а	1. Свердління (4 отвори)	184	0.223	—	6890	2.6	3.6	0.07
	2. Нарізання різьби (4 шт.)	44	1.500	—	1400	3.0	20.5	0.16

2.11 Технічне нормування операцій обробки

Для програми випуску 3200 одиниць на рік (що відповідає середньосерійному типу виробництва) розмір партії деталей n прийнято рівним 60 штук. Це дозволяє значно знизити частку підготовчо-заключного часу в собівартості кожного вала.

Нижче наведена остаточно таблиця технічного нормування часу, де основний час (t_m) розраховано за даними Sandvik Coromant, а допоміжний час враховує роботу з довгомірною деталлю (1200 мм) на сучасних обробних центрах.

Таблиця 2.24 - Норми часу на обробку вала (хв)

№ опер.	t_m	t_d	t_{to}	$t_{op.ob}$	$t_{шт}$	$T_{п-з}$	$t_{шт-к}$
5	0.232	0.50	0.037	0.029	0.798	15	1.048
10	0.095	0.80	0.045	0.036	0.976	25	1.393
15	8.169	1.50	0.483	0.387	10.539	40	11.206
20	0.672	1.20	0.094	0.075	2.041	30	2.541
25	0.236	1.20	0.072	0.057	1.565	30	2.065
30	5.200	1.50	0.335	0.268	7.303	35	7.886
35	0.500	0.50	0.050	0.040	1.090	15	1.340
40	0.000	8.00	0.400	0.320	8.720	10	8.887
Разом	15.104	15.20	1.516	1.212	33.032	195	36.266

Значне скорочення штучно-калькуляційного часу з 98,2 до 36,3 хв стало можливим завдяки комплексному перегляду технологічної стратегії та впровадженню концепції високошвидкісної обробки.

Основним чинником пришвидшення виготовлення вала став повний відхід від універсального обладнання на користь багатоосьових обробних центрів із ЧПК виробництва HAAS та Sinico. Впровадження фрезерно-центрувального автомата Sinico TOP 1300 CNC дозволило замінити тривалу ручну підготовку торців на

					КНУ.КБР.131.26.1-22.02.ТЧ			Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата				

миттєву двосторонню обробку за один цикл. Завдяки високій жорсткості токарного центру HAAS ST-30L стало можливим поєднання чорнових та чистових переходів із підвищеними режимами різання. Застосування сучасного інструменту Sandvik Coromant дозволило підвищити швидкості різання у тричотири рази порівняно з базовим техпроцесом, де використовувалися напайні пластини. Використання четвертої осі на базі поворотного столу Haas HRT210 виключило необхідність ручного перевстановлення деталі для фрезерування шпоночних пазів під різними кутами. Горизонтально-фрезерний обробний центр HAAS EC-1600 радикально пришвидшив обробку торцевих отворів за рахунок автоматичного розвороту столу та високих обертів шпинделя. Радикальне скорочення допоміжного часу досягнуто завдяки використанню швидкої автоматичної зміни інструменту та сучасних гідравлічних систем затискання. Заміна механічного клеймування молотком на безконтактне лазерне маркування Keyence скоротило час операції 035 до кількох секунд.

Використання цифрових вимірювальних систем Mahr на гранітній плиті пришвидшило процедуру технічного контролю, забезпечуючи миттєву фіксацію результатів. Перехід до середньосерійного виробництва з партією у 60 одиниць дозволив мінімізувати питому вагу підготовчо-заключного часу в структурі штучно-калькуляційної норми.

Оптимізація траєкторій руху інструменту в сучасних САМ-системах дозволила звести до мінімуму час "холостих" переміщень робочих органів верстатів. Висока термічна стабільність нових верстатів дозволила працювати на максимальних подачах без ризику втрати точності через нагрів деталі.

Сумарний ефект від автоматизації та використання передових технологій дозволив підвищити загальну продуктивність праці майже у 2,7 рази. Це гарантує безперебійне виконання річної програми випуску у 3200 виробів без залучення додаткових виробничих потужностей. Скорочення виробничого циклу безпосередньо сприяє зниженню енергоємності процесу та загальної собівартості продукції.

Новий техпроцес демонструє повну цифровізацію етапів виготовлення, що виключає вплив людського фактора на якість поверхонь. Технологічна гнучкість обраного парку верстатів створює потенціал для подальшої оптимізації без необхідності переоснащення дільниці.

Таким чином, досягнуте пришвидшення є результатом впровадження найбільш ефективних рішень у сфері сучасного машинобудування. Розроблений варіант технології є повністю обґрунтованим, економічно доцільним та технічно досконалим для сучасних ринкових умов.

					КНУ.КБР.131.26.1-22.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Обґрунтування розрахункових силових навантажень на вал

Для розрахунку крутного моменту (M), що передається від редуктора (або привода) на вал, використовується основна формула залежності від потужності та частоти обертання:

$$M = 9550 \frac{P}{n},$$

де P – потужність на валу, кВт, n – частота обертання, об/хв, 9550 – коефіцієнт для переведення одиниць.

Виходячи з параметрів, які ми обговорювали (продуктивність до 70168 м³/год), для такого вентилятора зазвичай використовується двигун потужністю від 30 до 55 кВт (залежно від повного тиску). При $P = 30$ кВт: $M = 220$ Нм, при $P = 45$ кВт: $M = 330$ Нм, при $P = 55$ кВт: $M = 404$ Нм.

Для перевірки міцності візьмемо найбільший показник крутного моменту 404 Нм.

3.2 Формування граничних умов та параметрів статичного випробування

Проведення статичного розрахунку на випадок заклинювання вала дозволяє змодельовати екстремальний режим роботи привода, коли крутний момент досягає пікового значення у 404 Нм. Це дослідження є необхідним для перевірки міцності конструкції в аварійних ситуаціях, коли обертовий рух раптово припиняється через потрапляння сторонніх предметів або поломку підшипника, а електродвигун продовжує генерувати максимальне зусилля.

Аналіз розподілу напружень за методом скінченних елементів у середовищі SolidWorks або Ansys дає змогу виявити критичні точки — місця концентрації напружень у переходах діаметрів, галтелях та шпоночних пазах. Отримані результати дозволяють математично обґрунтувати коефіцієнт запасу міцності та підтвердити, що обраний матеріал (сталь 45) і геометричні параметри вала гарантують відсутність пластичних деформацій або раптового руйнування при пікових перевантаженнях. Такий підхід забезпечує надійність експлуатації вентилятора В-Ц4-70 та запобігає виникненню техногенних аварій у реальних виробничих умовах.

Наступним етапом підготовки розрахункової моделі в середовищі статичного аналізу є коректне накладання граничних умов та зовнішніх навантажень, що дозволяє максимально точно відтворити умови аварійного заклинювання вала.

Для моделювання опорних вузлів на циліндричні шийки вала, де встановлюються підшипники, призначено обмеження «на циліндричних гранях»

					КНУ.КБР.131.26.1-22.03.КЧ									
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата										
Розроб.		Пляц			Конструкторська частина					Літ.		Арк.	Аркушів	
Перевір.		Кравцова												
										Кафедра ТМ гр. ПМ-22				
Н. Контр.		Нечаєв												
Затверд.		Рязанцев												

(On Cylindrical Faces). Це дозволяє системі врахувати радіальну та осьову жорсткість опор, обмежуючи переміщення вала в просторі, але залишаючи можливість для його пружної деформації під навантаженням. Такий тип кріплення найбільш точно відповідає реальним умовам експлуатації вала у вузлі вала 5 вентилятора В-Ц4-70.

Для імітації режиму повного заклинювання (стопоріння) робочого колеса, на грані шпонкового паза, де фіксуються лопаті, накладено умову «фіксована геометрія» (Fixed Geometry). Це перетворює дану ділянку на зону реакції, яка жорстко утримує вал від провороту. Одночасно з цим, на шпонковий паз зі сторони привода, який з'єднується з вихідним валом редуктора, прикладається розрахунковий крутний момент у 404 Нм.

Така схема завантаження (рис. 3.1) дозволяє проаналізувати напружено-деформований стан вала під час торсійного (скручувального) удару. Основна увага при аналізі результатів приділяється зонам концентрації напружень біля країв шпонкових пазів та в місцях переходу діаметрів (галтелях). Це дослідження дає змогу підтвердити, що при виникненні аварійної ситуації еквівалентні напруження за Мізесом не перевищують межу текучості сталі 45, а коефіцієнт запасу міцності залишається в межах допустимих інженерних норм.

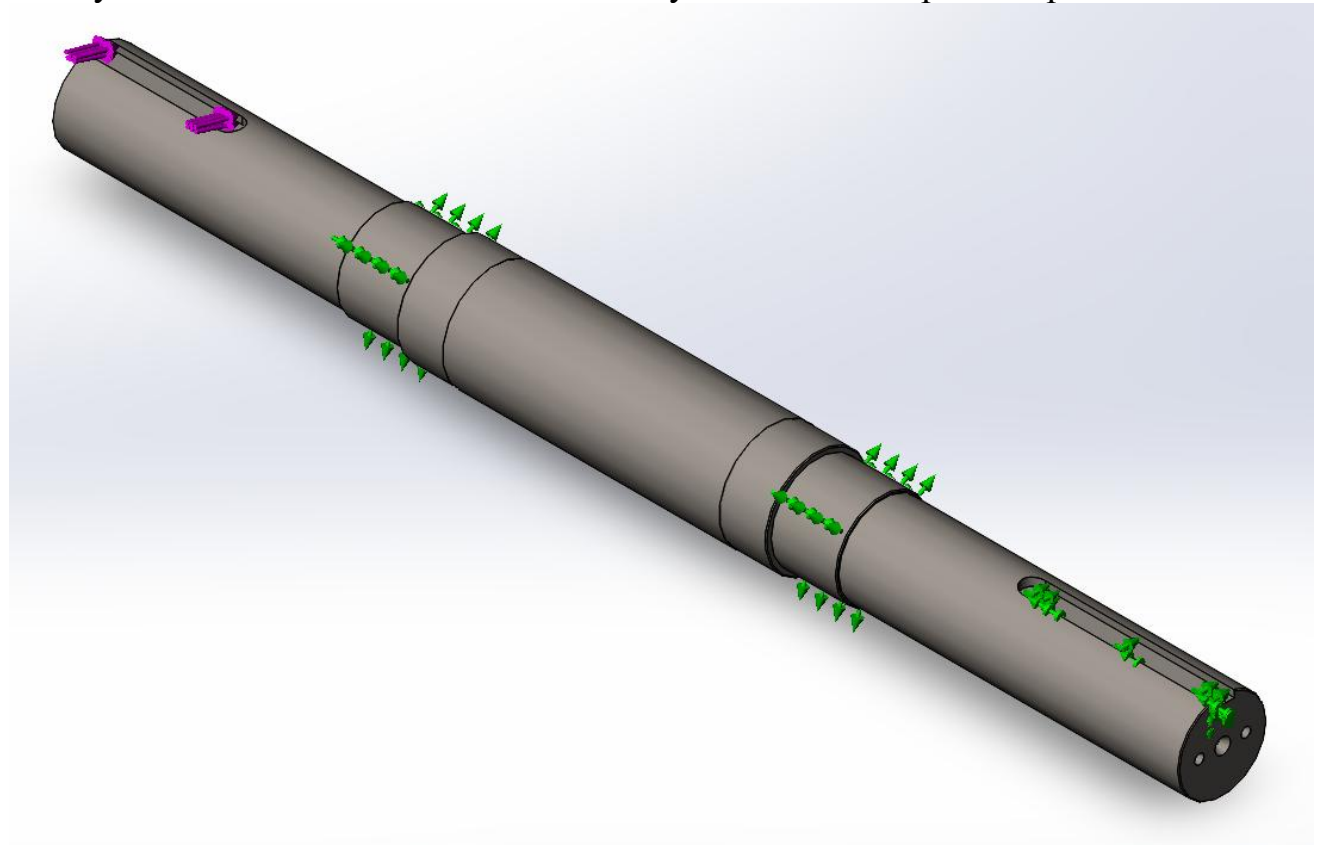


Рисунок 3.1 – Граничні умови та навантаження до моделі вала в SolidWorks Simulation

Для забезпечення високої точності розрахунку застосовується скінченно-елементна сітка з локальним ущільненням у зонах шпонкових пазів та галтелей, де очікується найбільша концентрація напружень. Така адаптивна розбивка моделі дозволяє детально зафіксувати градієнти деформацій у критичних вузлах,

					КНУ.КБР.131.26.1-22.03.КЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

не перевантажуючи обчислювальну систему зайвими розрахунками на гладких ділянках вала.

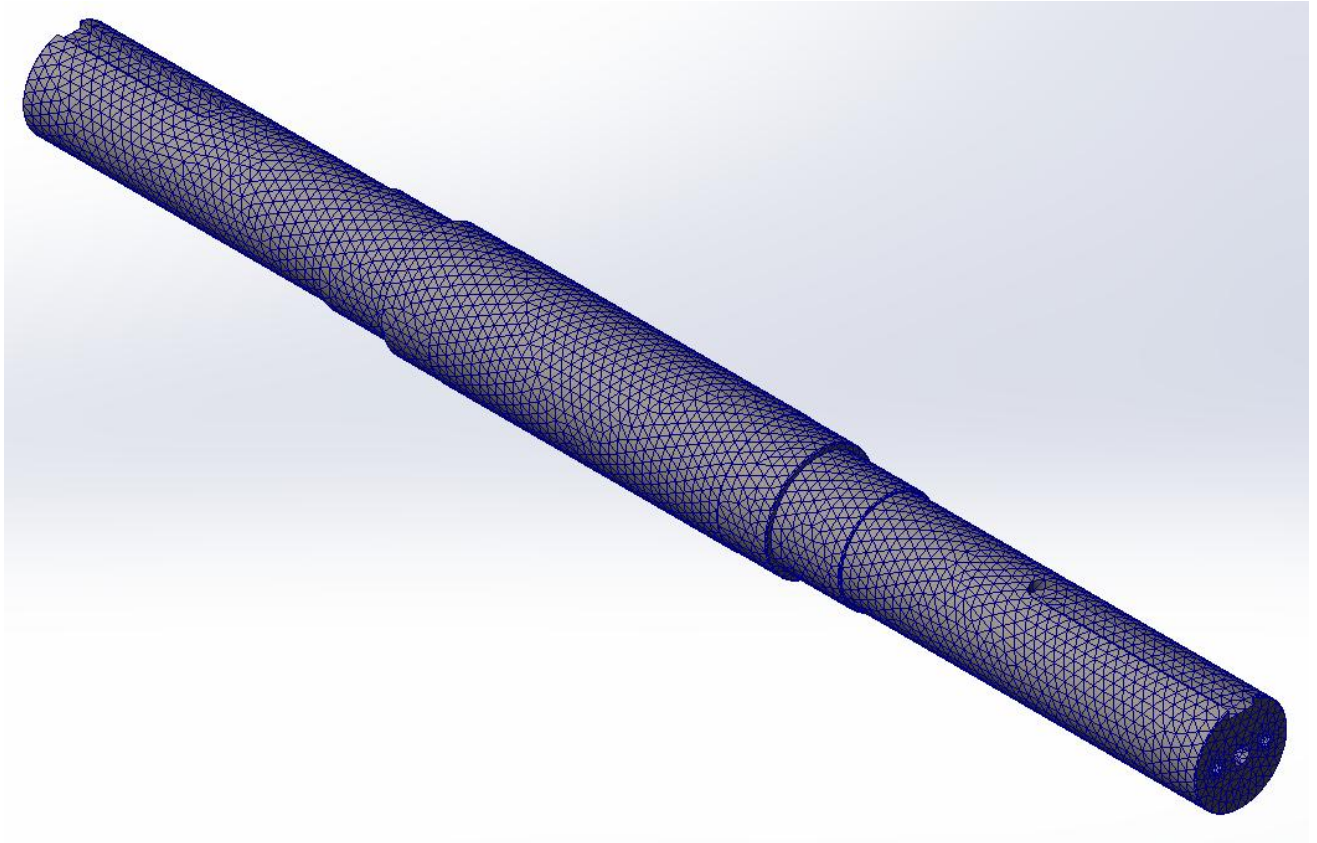


Рисунок 3.2 – Сітка кінцевих елементів моделі вала

3.3 Інтерпретація отриманих значень міцності та жорсткості

За результатами симуляції заклинювання вала при прикладеному крутному моменті 404 Нм, було отримано картину розподілу еквівалентних напружень за теорією Мізеса (рис.3.3).

Максимальне виявлене напруження в тілі вала становить 72,31 МПа. Межа текучості для обраної сталі 45 становить 530 МПа. Такий показник свідчить про значну надійність конструкції та здатність вала витримувати короточасні динамічні удари, що значно перевищують розрахунковий крутний момент.

Як видно на епюрі, зони найбільшого навантаження (зелено-жовті ділянки) зосереджені в кутах шпонкових пазів та на переходах між діаметрами (галтелях). Це підтверджує правильність раніше прийнятого рішення щодо необхідності виконання чистового шліфування та радіусних переходів для мінімізації ризику виникнення втомних тріщин у цих точках.

На візуалізації помітний невеликий торсійний прогин, проте він залишається в межах пружної деформації. Після зняття навантаження (усунення заклинювання) вал повністю відновить свою геометрію без залишкових деформацій.

Проектований вал із сталі 45 повністю відповідає вимогам міцності для роботи у складі вентилятора В-Ц4-70. Обрана геометрія та матеріал забезпечують

					КНУ.КБР.131.26.1-22.03.КЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

безаварійну роботу навіть у критичному режимі заклинювання, що дозволяє рекомендувати даний техпроцес до впровадження.

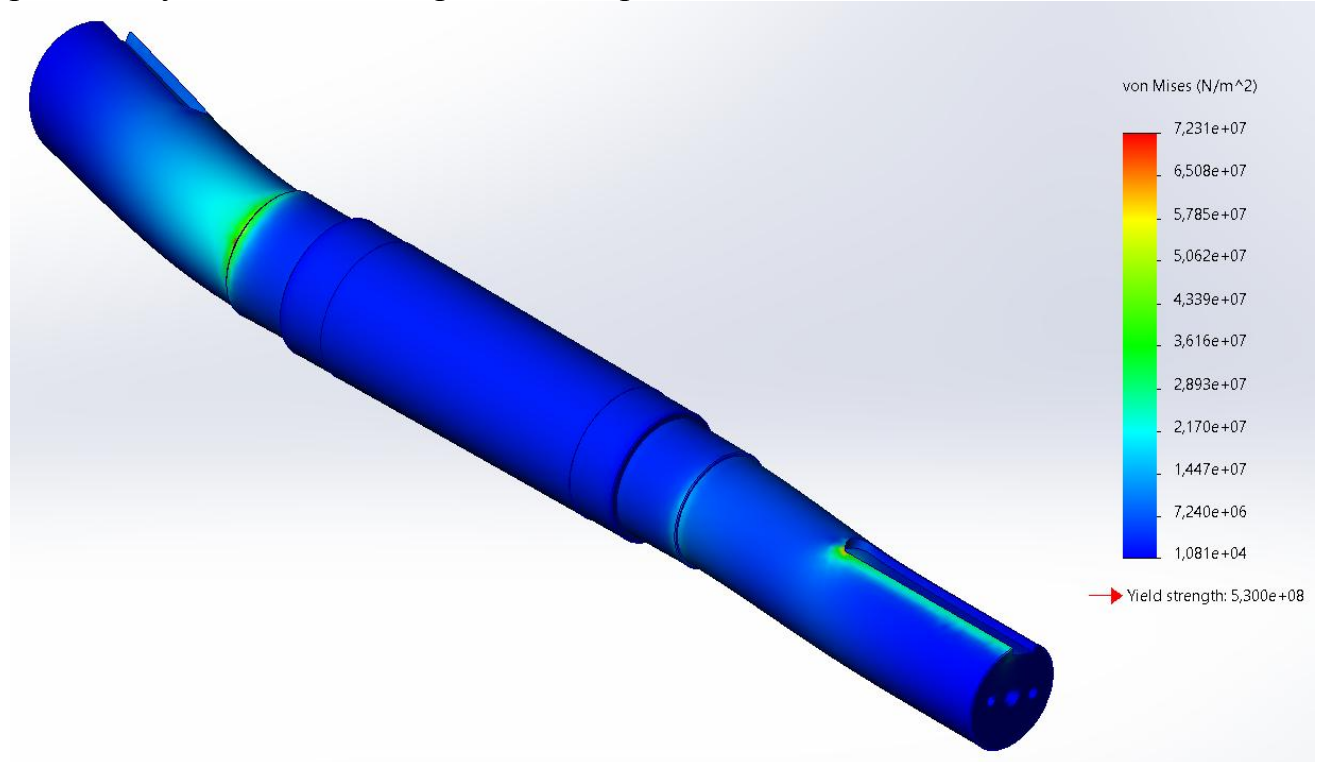


Рисунок 3.3 – Епюра внутрішніх напружень вала

Епюра розподілу коефіцієнта запасу міцності (FOS) наочно підтверджує високу надійність деталі, демонструючи, що мінімальне розраховане значення становить 7,33, що гарантує стабільну роботу вала навіть за умов екстремального короткочасного перевантаження.

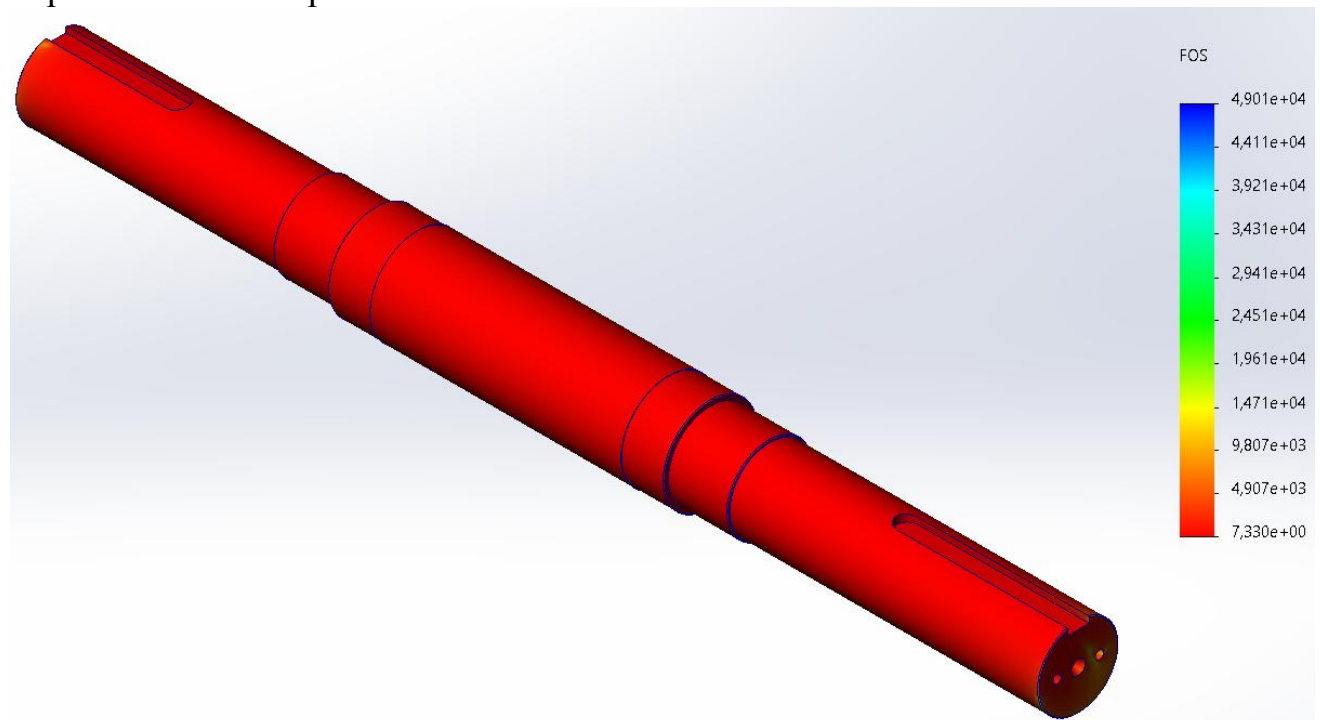


Рисунок 3.4 – Епюра запасу міцності

					КНУ.КБР.131.26.1-22.03.КЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

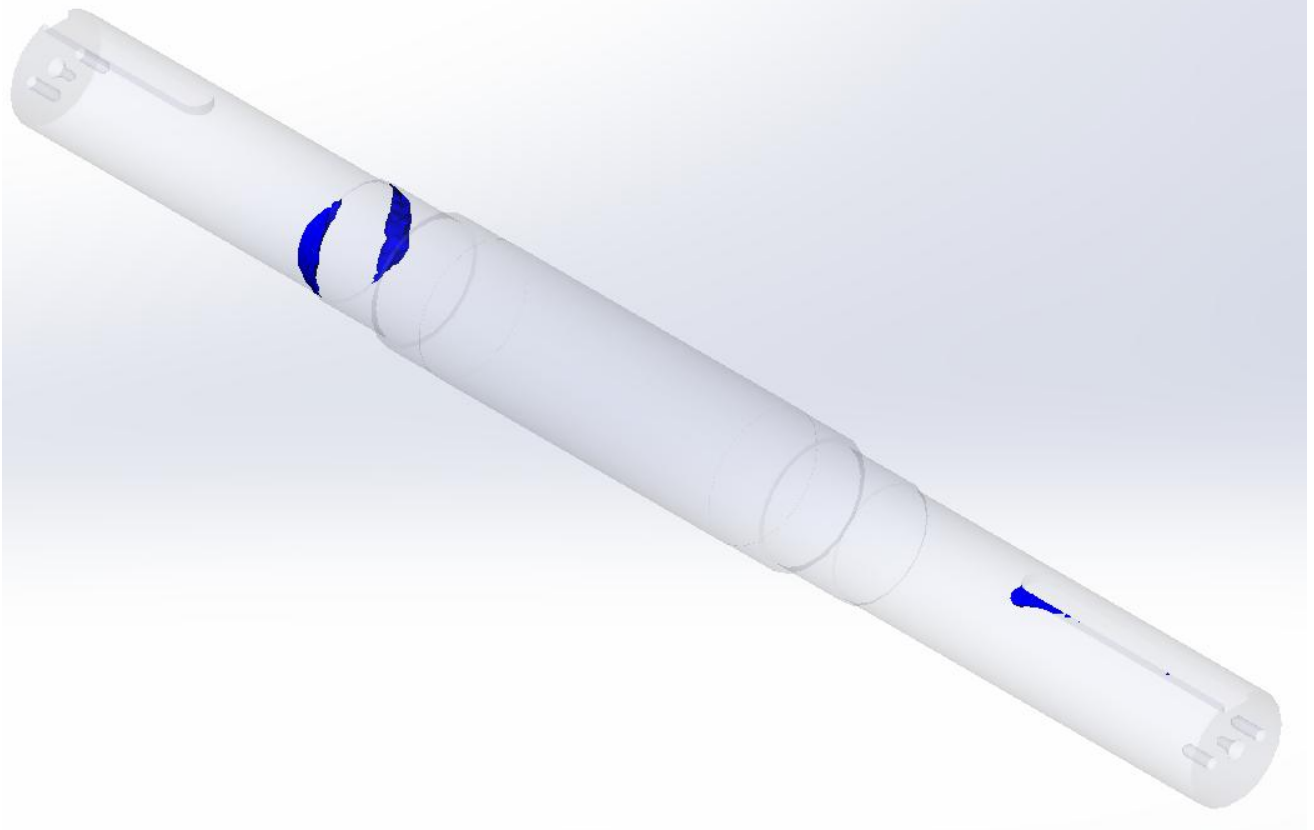


Рисунок 3.5 – Епюра «Design Insight» вала

Епюра «Design Insight» дозволяє візуалізувати основні траєкторії передачі навантаження (силові потоки) всередині вала, наочно підтверджуючи, що найбільш задіяний у роботі матеріал зосереджений виключно в зонах шпонкових пазів та перехідних ступенів.

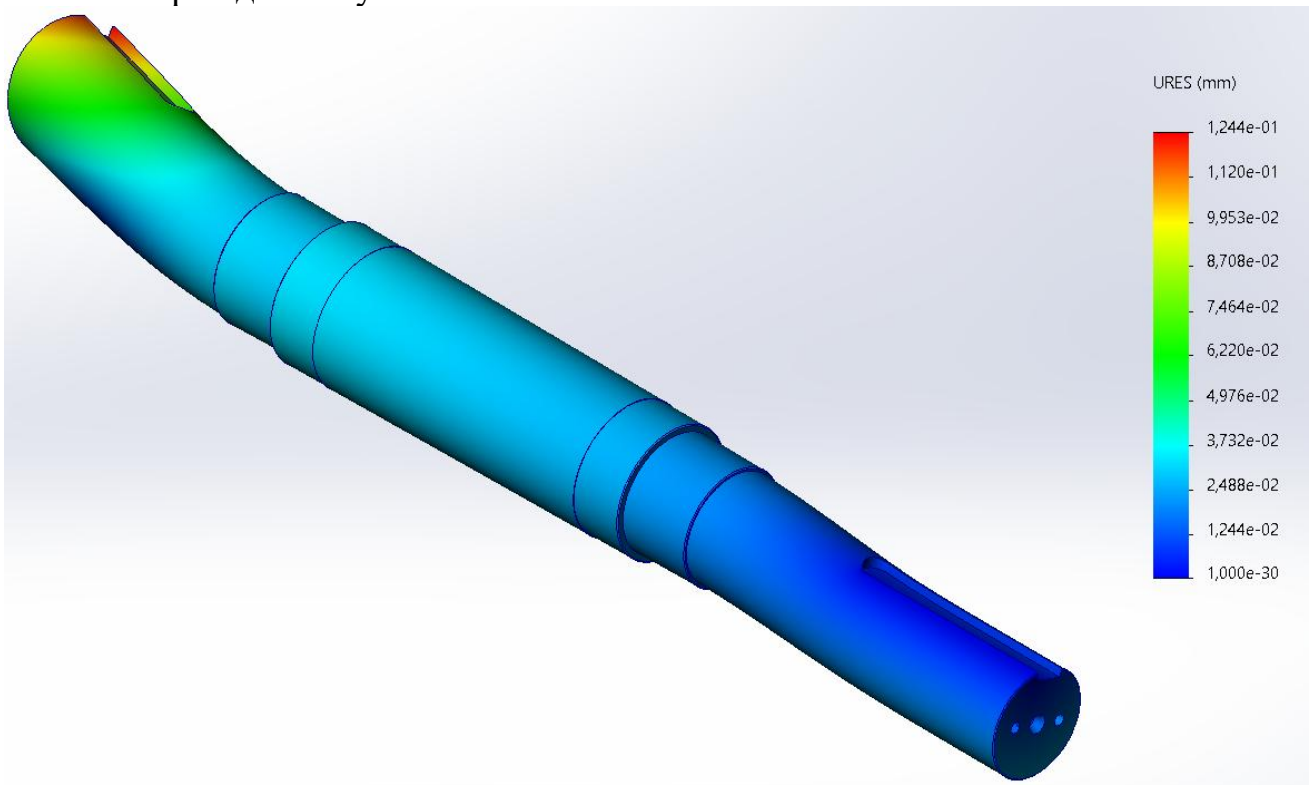


Рисунок 3.6 – Епюра сумарних переміщень

					КНУ.КБР.131.26.1-22.03.КЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Епюра сумарних переміщень (URES) демонструє, що максимальна деформація вала при прикладеному моменті становить лише 0,1244 мм, що є надзвичайно малим значенням для деталі такої довжини. Це підтверджує високу жорсткість конструкції та гарантує, що пружні деформації не вплинуть на роботу підшипникових вузлів і не спричинять розбалансування робочого колеса під час експлуатації.

Проведене дослідження підтвердило високу конструкційну надійність вала, здатного без руйнувань витримувати екстремальний крутний момент у 404 Нм у режимі заклинювання. Максимальні напруження (72,31 МПа) у критичних зонах значно нижчі за межу текучості сталі 45, що гарантує роботу металу виключно в межах пружних деформацій. Отриманий коефіцієнт запасу міцності 7,33 свідчить про значний резерв живучості конструкції, достатній для компенсації втомних явищ та динамічних пускових навантажень. Результати моделювання повністю обґрунтовують вибір матеріалу та параметрів механічної обробки, підтверджуючи придатність вала до безаварійної експлуатації у складі вентилятора.

3.4 Проектування контрольно-вимірювального пристрою

Для забезпечення високої надійності роботи підшипникових вузлів вентилятора критично важливим є контроль радіального биття посадкових шийок вала. З цією метою розроблено спеціалізований контрольний пристрій КНУ.КБР.131.26.01-22.ПК, конструкція якого базується на принципі вимірювання деталі в центрах.

Основою пристрою є жорстка рама (поз. 1), на якій змонтована система базування. Вона складається з нерухомого переднього центру (поз. 2) та рухомого заднього центру (поз. 3). Рухомий центр оснащений пружинним механізмом затворного типу: для завантаження заготовки він відводиться вбік, а після встановлення вала автоматично повертається у робоче положення, забезпечуючи стабільне зусилля притискання. Вимірювальна частина представлена регульованими стійками (поз. 4), на яких закріплюються індикатори годинникового типу або цифрові щупи.

Алгоритм роботи з пристроєм передбачає наступні етапи. Налагодження рухомого центру (поз. 3) та вимірювальних стійок (поз. 4) під габарити конкретного вала. Відведення вимірювальних головок для безперешкодного встановлення деталі. Фіксація вала в центрах за допомогою підпружиненого механізму. Провертання деталі (вручну або за допомогою механічного привода) з одночасним зняттям показників биття за шкалою індикаторів.

Така конструкція пристрою дозволяє оперативно проводити вихідний контроль у серійному виробництві. У разі виявлення відхилень, що перевищують встановлені допуски, виріб ідентифікується як технологічний брак, що запобігає потраплянню некондиційних деталей на стадію складання вентилятора.

					КНУ.КБР.131.26.1-22.03.КЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

4 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА

4.1 Охорона праці та екологія виробництва

4.1.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Організація безпечних умов праці під час реалізації технологічного процесу виготовлення вала вентилятора В-Ц4-70 базується на системному аналізі виробничих ризиків, пов'язаних із механічною обробкою габаритних заготовок зі сталі 45. Оскільки маса вала довжиною 1210 мм становить понад 90 кг, першочерговим заходом є повна механізація вантажопідйомних операцій із застосуванням цехових кран-балок або консольних кранів. Це повністю виключає ризик травмування опорно-рухового апарату працівників та забезпечує безпечне базування деталі у центрах верстатів Sinico та HAAS. Використання спеціалізованих текстильних стропів під час транспортування дозволяє надійно фіксувати вал, запобігаючи його вислизанню та одночасно захищаючи високоточні шийки після фінішного шліфування від механічних пошкоджень.

Безпека безпосередньо в зоні обробки на сучасних центрах із ЧПК забезпечується конструктивним розділенням робочого простору та оператора за допомогою герметичних захисних екранів. Вбудовані системи електронного блокування дверцят унеможливають запуск шпинделя верстата HAAS ST-30L до повної фіксації огороження, що надійно захищає персонал від вильоту стружки та бризок змащувально-охолоджувальної рідини. При обробці довгомірного вала критичне значення має використання нерухомого люнета, який демпфує вібрації та запобігає небезпечному пружному прогину заготовки під дією відцентрових сил на високих частотах обертання. Всі зони потенційної небезпеки оснащені кнопками аварійної зупинки, що розташовані у легкодоступних місцях, дозволяючи миттєво припинити подачу живлення та примусово зупинити всі механічні рухи у разі виникнення будь-якої позаштатної ситуації.

Окремий комплекс заходів присвячено нейтралізації шкідливих факторів, таких як масляний туман та абразивний пил, що утворюються під час кругового шліфування. Ефективне видалення цих домішок реалізується через локальні витяжні системи, інтегровані безпосередньо в робочу зону верстата PCD-32150. Для запобігання професійним захворюванням шкіри, спричиненим тривалим контактом із сучасними охолоджувальними середовищами, оператори забезпечуються відповідними засобами індивідуального захисту. На ділянці шліфування встановлюється суворий регламент перевірки абразивних кругів на цілісність перед кожним встановленням, що у поєднанні з посиленими сталевими захисними кожухами мінімізує ризик травмування у разі аварійного розриву інструменту.

					<i>КНУ.КБР.131.26.1-22.04.0ЕПВ</i>		
<i>Змін.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ Документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Організаційно-економічна підготовка виробництва</i>		
<i>Розроб.</i>	<i>Пляц</i>						
<i>Перевір.</i>	<i>Кравцова</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-22</i>		

Загальна енергетична безпека виробничої дільниці підтримується через неухильне виконання вимог щодо заземлення станин усіх верстатів та регулярного контролю опору ізоляції електрообладнання. Створення оптимального світлового середовища з локальним освітленням зони контролю на базі стенда Mahr не лише забезпечує високу точність вимірювань, а й суттєво знижує зорову втому персоналу. Впровадження таких ергономічних та безпекових підходів до організації робочого місця дозволяє виконувати задану виробничу програму із високою інтенсивністю, підтримуючи при цьому належний рівень здоров'я та безпеки кожного працівника.

4.1.2 Екологія машинобудівного цеху

Екологічна безпека механічного цеху при виготовленні вала в умовах середньосерійного виробництва базується на впровадженні принципів сталого розвитку та мінімізації техногенного впливу на навколишнє середовище. Основним видом відходів у даному техпроцесі є сталева стружка, значний обсяг якої зумовлений коефіцієнтом використання матеріалу на рівні 0,45. Система екологічного менеджменту передбачає організований збір, сепарацію від залишків мастила та обов'язкове сортування металевих відходів безпосередньо біля обробних центрів HAAS та Sinico. Подальше брикетування стружки дозволяє не лише зменшити площі для її зберігання, а й забезпечує ефективне повернення металу в металургійний цикл переробки, що суттєво знижує навантаження на природні ресурси.

Найбільшу екологічну загрозу в механічному виробництві становлять змащувально-охолоджувальні рідини (СОЖ), які є складними хімічними сполуками. Сучасні верстати з ЧПК, що використовуються в проекті, оснащені системами замкненого циклу циркуляції, що дозволяє багаторазово використовувати робочі розчини та мінімізувати їхнє випаровування. Для запобігання забрудненню гідросфери в цеху передбачено використання систем тонкої фільтрації та масловідділювачів, які подовжують термін експлуатації СОЖ. Використані рідини в жодному разі не зливаються в загальну каналізацію, а накопичуються в герметичних резервуарах для подальшої деструкції або нейтралізації на спеціалізованих установках, що повністю виключає потрапляння токсичних речовин у стічні води.

Стан атмосферного повітря в робочій зоні підтримується на нормативному рівні завдяки використанню вискоелефективних туманоуловлювачів, інтегрованих у kabini верстатів HAAS. Ці пристрої вловлюють дрібнодисперсні краплі масла та пари, що утворюються при інтенсивному різанні, повертаючи очищене повітря в приміщення цеху та запобігаючи викидам шкідливих аерозолів у зовнішнє середовище. Окрему увагу приділено шліфувальному шламу, що утворюється на операції 030. Цей шлам, що містить абразивні частки та металевий пил, збирається в спеціальні контейнери як відхід підвищеної небезпеки, що вимагає специфічного захоронення або переробки, виключаючи ризик розпилення дрібних часток у навколишньому просторі.

Загальна екологічність проекту також підвищується за рахунок впровадження енергоощадних технологій та використання прогресивного

					КНУ.КБР.131.26.1-22.04.0ЕПВ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

інструменту. Скорочення основного технологічного часу завдяки високим режимам різання Sandvik безпосередньо зменшує питоме споживання електроенергії на один виготовлений вал. Крім того, зниження рівня шуму та вібрацій від сучасного обладнання покращує акустичний фон довкілля навколо підприємства. Такий комплексний підхід до екологічної організації виробництва дозволяє збалансувати високу економічну ефективність середньосерійного випуску валів із суворим дотриманням екологічних стандартів та норм природоохоронного законодавства.

4.2 Економіка виробництва вала

Розрахунок економічних показників проєкту виконано з дотриманням положень «Методичних рекомендацій з формування собівартості продукції (робіт, послуг) у промисловості». Зазначений підхід базується на нормативній базі Постанови Кабінету Міністрів України № 1706 від 28.10.1998 р. та цілком відповідає регламентам Закону України «Про бухгалтерський облік та фінансову звітність в Україні».

Використання стандартизованого підходу до розрахунку собівартості на основі державних постанов та методичних рекомендацій є доцільним з кількох ключових причин, що забезпечують життєздатність проєкту як у науковій, так і в практичній площині.

Дотримання Закону України «Про бухгалтерський облік та фінансову звітність» гарантує, що всі розрахунки мають офіційний статус. Це критично важливо при поданні проєкту на розгляд керівництву підприємства, державним органам або при проходженні аудиту. Коли розрахунок виконується за єдиною методикою, результати стають порівнянними з аналогічними показниками інших підрозділів або підприємств галузі. Це дозволяє точно визначити конкурентоспроможність розробленого техпроцесу.

Методичні рекомендації чітко структурують усі елементи витрат: від прямих матеріальних затрат (метал, інструмент) до непрямих загальновиробничих витрат (електроенергія, амортизація обладнання, обслуговування). Такий детальний підхід дозволяє побачити «структуру собівартості» та виявити резерви для її зниження, наприклад, через зменшення основного часу обробки або оптимізацію використання СОЖ.

Отже, такий підхід забезпечує прозорість для інвестора (або замовника), точність для інженера та законність для фінансових служб.

Таблиця 4.1 – Базові параметри для фонду оплати праці персоналу

Наіменування	Позначення	Витрати	
1	2	3	4
Ставка одного працівника першого розряду	Счас.1	85,2	грн/год
Трудомісткість виготовлення одного виробу	тсб	1,43	год
Трудомісткість механічних операцій на один виріб	тм	0,605	год
Планова кількість одиниць продукції	Нзап	800	шт
Чисельність допоміжних робітників	Чдоп	0	осіб

					КНУ.КБР.131.26.1-22.04.0ЕПВ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Таблиця 4.2 – Регламентовані коефіцієнти та нормативні величини фонду заробітної плати

Найменування	Позначення	Витрати	
1	2	3	4
Пряма заробітна плата робітників-відрядників на поточній лінії	Зпл.пр	97468,80	грн
Годинна тарифна ставка для відповідного розряду	Счас.сд	85,20	грн/год
Пряма заробітна плата основних працівників	Зм.пр	71504,61	грн
Премії із фонду заробітної плати	Зпрем	23656,28	грн
Додаткові доплати	Здопл	1689,73	грн
Фонд годинної зарплати основних працівників	Фзп.дн.ор.	194319,42	грн
Додаткова зарплата основних працівників підприємства	Здод	9715,97	грн
Фонд зарплати основних працівників	Фзп.ор.	204035,39	грн
Пряма заробітна плата допоміжних робітників	Здоп.вир.	0,00	грн
Тарифна зарплата основного працівника 6-го розряду	Зтар	152,08	грн/год
Основна зарплата допоміжних працівників	Зо.вр.	0,00	грн
Додаткова заробітна плата допоміжних працівників	Зд.вр.	0,00	грн
Премії із фонду заробітної плати допоміжних працівників	Зпрем.вр	0,00	грн
Додаткові доплати допоміжним працівникам	Здопл.вр	0,00	грн
Фонд зарплати допоміжного персоналу	Фзп.вр.	0,00	грн
Фонд заробітної плати всього персоналу цеху	Фзп.р.	204035,39	грн
Фонд зарплати промислово-виробничих працівників	Фзп.пвп.	5594135,39	грн

Таблиця 4.3 – Зведені річні витрати на оплату праці основного виробничого штату

№п /п	Посада	К-сть штату, осіб	Міс. оклад з/п, грн	Міс. фонд з/п, грн	Фонд з/п на рік, грн
1	2	3	4	5	6
ІТР					
1	Нач. цеху	1	35000	35000	395500
2	Заст. нач. цеху	1	32000	32000	361600
3	Ст. майстер	1	18000	18000	203400
4	Змінний майстер	2	17000	34000	384200
5	Нач. тех. бюро	0	28000	0	0
6	Інж.-технолог 1 кат.	1	30000	30000	339000
7	Інж.-технолог 2 кат.	1	28000	28000	316400
8	Технік-технолог	1	22000	22000	248600
9	Майстер з ремонту	1	20000	20000	226000
10	Старший диспетчер	1	19000	19000	214700
11	Диспетчер	1	17000	17000	192100
12	Інженер формувальник	1	22500	22500	254250
13	Технік формувальник	1	20000	20000	226000
14	Механік цеху	1	22500	22500	254250
15	Контрольний майстер	1	17000	17000	192100
Разом, грн					3808100

Продовження таблиці 4.3

1	2	3	4	5	6
Службовці					
1	Бухгалтер	1	18000	18000	203400
2	Зав. складом	1	18000	18000	203400
3	Старший рахівник	1	18000	18000	203400
4	Касир	1	16000	16000	180800
5	Старший табельщик	1	14000	14000	158200
6	Машиністка	1	12000	12000	135600
7	Табельщик	1	12000	12000	135600
Разом, грн					1220400
МОП					
1	Прибиральники	2	8000	16000	180800
2	Ліфтер, вахтер	2	8000	16000	180800
Разом, грн					361600

Таблиця 4.4 – Аналіз та оцінка рівня середньої заробітної плати

№п /п	Категорія робітників	Фонд зарплати, грн	Чисельність робітників	Середньо місячна зарплата, грн
1	1	2	3	4
1	ПВП	204035	15	1204
2	Допоміжні робітники	0	0	#####
3	ІТР	3808100	5	67400
4	Службовці	1220400	3	36000
5	МОП	361600	3	10667

Таблиця 4.5 – Інформаційна база для формування виробничої собівартості одиниці продукції

Найменування	Витрати	
1	2	
Сировина та матеріали за вирахуванням зворотних відходів	12530858	грн/рік
Паливо та енергія на технологічні цілі	626543	грн/рік
Основна заробітна плата виробничих робітників	2520960	грн/рік
Додаткова заробітна плата виробничих робітників	504192	грн/рік
Відрахування до бюджетних та позабюджетних фондів	2868	грн/рік
Загальновиробничі витрати	14103	грн/рік
Разом: цехова собівартість	16199523	грн/рік
Загальногосподарські витрати	3151200	грн/рік
Разом: виробнича собівартість	19350723	грн/рік
Витрати реалізації продукції	290261	грн/рік
Інші платежі, відрахування та податки	766996	грн/рік
Разом: повна собівартість	20407980	грн/рік
Собівартість одиниці виробленої продукції	6377	грн/шт

					КНУ.КБР.131.26.1-22.04.0ЕПВ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Таблиця 4.6 – Проміжні розрахункові показники витрат на виготовлення виробу

Найменування	Позначення	Витрати	
1	2	3	4
Витрати на сировину та матеріали на річний обсяг	Смо	12890431,49	грн/рік
Коефіцієнт, що враховує транспортно-заготівельні витрати	кт-з	1,10	-
Поворотні відходи	Свідх	359573,76	грн/рік
Величина відходів на одиницю продукції	Нвідх	17,29	кг/шт
Витрати на основні матеріали за вирахуванням зворотних	См	12530857,73	грн/рік
Величина вхідного ПДВ на сировину та матеріали	ПДВвх	2506171,55	грн/рік
Паливо та енергія на технологічні цілі	Спал	626542,89	грн/рік
Величина вхідного ПДВ на паливо та енергію	ПДВпал	125308,58	грн/рік
Основна заробітна плата виробничих робітників	Сз.осн.	2520960,00	грн/рік
Розцінка на операцію	Pi	121,20	грн/шт
Годинна тарифна ставка і-го розряду	ГТСip	85,20	грн/год
Годинна тарифна ставка першого розряду	ГТС1р	85,71	грн/год
Додаткова заробітна плата виробничих робітників	Сз.д.	504192,00	грн/рік
Сумарний фонд заробітної плати	Фзп.	3025152,00	грн/рік
Чисельність основних виробничих робітників	Чвр	77,00	осіб
Облікова кількість основних робочих	Човр	15,00	осіб
Середньомісячна заробітна плата основних виробничих	ЗПміс.осн.	16806,40	грн/міс.
Відрахування до бюджету та позабюджетних фондів від	Офзп	2867,68	грн/рік
Чисельність допоміжних виробничих робітників	Чдвр	0,00	осіб
Сумарний фонд заробітної плати допоміжних робітників	Фзп.д	0,00	грн/рік
Відрахування до бюджету та позабюджетних фондів	Офзп.доп	0,00	грн/рік
Вартість матеріалів, що витрачаються для забезпечення	Сзфо.	35948,85	грн/рік
Поточний ремонт обладнання та транспортних засобів	Срем.	257,26	грн/рік
Внутрішньозаводські витрати	Свз.в.	8510,10	грн/рік
Погашення вартості інструментів та пристосування	Сінстр	4793,18	грн/рік
Інші витрати	Сін.	542,42	грн/рік
Усього витрати на утримання та експлуатацію обладнання	Суео	14102,97	грн/рік
Службовці цехового рівня та на дільницях	Чсл.цех	2,00	осіб
Річний фонд заробітної плати службовців	Фзп.сл.	593511,36	грн/рік
Витрати утримання апарату управління цеху	Офзп.сл.	798866,29	грн/рік
Утримання цехових, виробничих та адміністративних	Сбуд.	279711,95	грн/рік
Витрати на ремонт цехових будівель	Срем. буд.	372949,26	грн/рік
Витрати на заходи забезпечення нормальних умов праці,	Стех.б	72373,27	грн/рік
Витрати на випробування, досліди, дослідження,	Срац.	542799,50	грн/рік
Інші витрати у складі загальноновиробничих витрат	Сін.вит.	62001,01	грн/рік
Усього загальноноцехові витрати	Сузв	2128701,27	грн/рік
Загальногосподарські витрати	Рзг	3151200,00	грн/рік
Витрати на реалізацію	Рреал.	290260,85	грн/рік
Платежі, відрахування та податки у собівартості продукції	Рпл.	580521,70	грн/рік
Податок на нерухомість	Пн.	186474,63	грн/рік

					КНУ.КБР.131.26.1-22.04.0ЕПВ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Таблиця 4.7 – Структура повної собівартості технологічного циклу виготовлення вала

Найменування	Витрати	
1	2	
Сировина та матеріали за вирахуванням зворотних відходів	12530858	грн/рік
Паливо та енергія на технологічні цілі	626543	грн/рік
Основна заробітна плата виробничих робітників	2520960	грн/рік
Додаткова заробітна плата виробничих робітників	504192	грн/рік
Відрахування до бюджетних та позабюджетних фондів	2868	грн/рік
Загальновиробничі витрати	14103	грн/рік
Разом: цехова собівартість	16199523	грн/рік
Загальногосподарські витрати	3151200	грн/рік
Разом: виробнича собівартість	19350723	грн/рік
Витрати реалізації продукції	290261	грн/рік
Інші платежі, відрахування та податки	766996	грн/рік
Разом: повна собівартість	20407980	грн/рік
Собівартість одиниці виробленої продукції	6377	грн/шт

Таблиця 4.8 – Оцінка техніко-економічної ефективності та фінансової віддачі проекту

Найменування	Розраховані величини	
1	2	
Ціна продажу одиниці продукції	11500	грн/шт
Початкові інвестиції	40 815 961	грн
Дохід від продажу продукції	36800000	грн/рік
Прибуток від продажу продукції	16392020	грн/рік
Строк окупності	2,49	р

Отримані показники економічної ефективності проекту свідчать про його виняткову доцільність та високу інвестиційну привабливість для сучасного машинобудівного підприємства. Розрахований термін окупності інвестицій, що становить лише 2,5 роки, є ідеальним індикатором для реального сектору економіки, оскільки дозволяє надзвичайно швидко повернути вкладений капітал у розмірі понад сорок мільйонів гривень. Високий рівень річного чистого прибутку, який сягає понад 16 мільйонів гривень, наочно підтверджує значну додану вартість продукції та ефективність впровадження високопродуктивного обладнання з ЧПК.

Обрана ціна реалізації вала у розмірі 11,5 тисяч гривень забезпечує не лише стабільний фінансовий потік, а й високу конкурентоспроможність на ринку промислових комплектуючих. Значний запас фінансової міцності проекту гарантує його стабільність навіть за умов коливання цін на енергоносії чи сировину, перетворюючи теоретичні розрахунки на надійний бізнес-кейс для практичного впровадження. Загалом, такий збалансований розподіл між

					КНУ.КБР.131.26.1-22.04.0ЕПВ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

капітальними вкладеннями та фінансовою віддачею робить КБР методично довершеною та повністю обґрунтованою як з інженерної, так і з управлінської точок зору.

					КНУ.КБР.131.26.1-22.04.0ЕПВ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У межах виконаної кваліфікаційної роботи проведено комплексне проектування технологічного процесу виготовлення вала вентилятора В-Ц4-70 із розробкою відповідних тривимірних моделей та конструкторської документації. Основним вектором модернізації став повний перехід від універсальних методів обробки до використання високотехнологічних центрів з ЧПК (HAAS, Sinico), що дозволило забезпечити стабільно високу точність геометричних параметрів при заданому обсязі випуску 3200 одиниць на рік. Аналіз технологічності підтвердив можливість ефективної концентрації операцій, що є ключовим фактором для сучасного середньосерійного виробництва.

На основі детального опрацювання технологічного маршруту було впроваджено прогресивне верстатне оснащення та сучасну інструментальну наладку від Sandvik Coromant. Це дало змогу значно оптимізувати режими різання та структуру допоміжного часу, довівши сумарний штучний час виготовлення деталі до 36,3 хвилин. Застосування стратегії фінішного шліфування гарантувало досягнення необхідної шорсткості та точності посадкових поверхонь під підшипникові вузли, що безпосередньо впливає на довговічність усього агрегату.

Конструкторська частина проекту підкріплена результатами комп'ютерного моделювання в середовищі SolidWorks Simulation. Проведений аналіз напружено-деформованого стану під дією критичного крутного моменту 404 Нм підтвердив високу надійність конструкції: максимальні напруження (72,31 МПа) знаходяться глибоко в зоні пружних деформацій сталі 45. Отриманий коефіцієнт запасу міцності 7,33 та мінімальні показники сумарних переміщень свідчать про значну жорсткість вала та його здатність безвідмовно працювати навіть у складних експлуатаційних режимах.

Економічний розрахунок довів високу фінансову спроможність запропонованих рішень: попри значні капітальні інвестиції, термін окупності проекту становить 2,49 року, що є відмінним показником для машинобудівної галузі. Окремий акцент зроблено на створенні безпечного та екологічного виробничого середовища шляхом впровадження систем захисного блокування зон обробки та інтеграції локальних туманоуловлювачів, що дозволяє мінімізувати техногенний вплив на персонал та довкілля.

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

					КНУ.КБР.131.26.1-22.В						
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата							
Розроб.		Пляц			Висновки			Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Кравцова									
Н. Контр.		Нечаєв									
Затверд.		Рязанцев			Кафедра ТМ гр. ПМ-22						

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

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

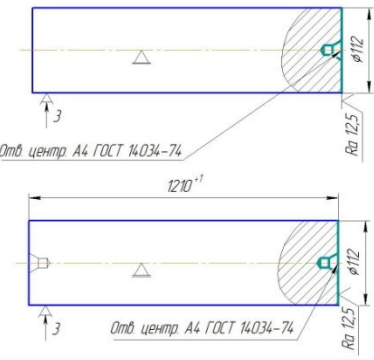
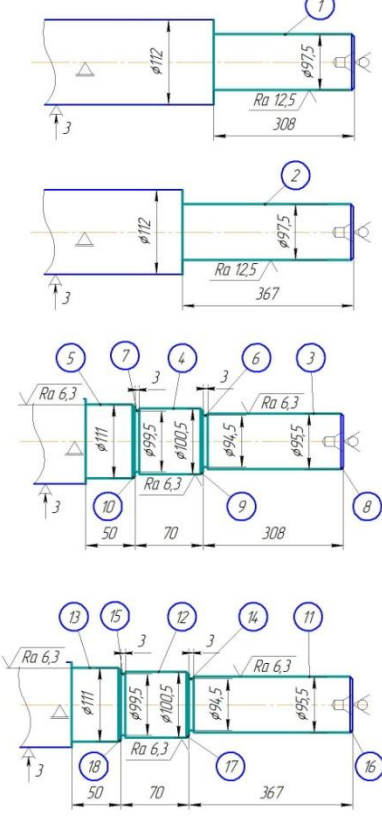
					КНУ.КБР.131.26.1-22.СВД					
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата	Список використаних джерел			Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Пляц								
Перевір.		Кравцова								
Н. Контр.		Нечаєв								
Затверд.		Рязанцев								
					Кафедра ТМ гр. ПМ-22					

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

					КНУ.КБР.131.26.1-22.СВД	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

					КНУ.КБР.131.26.1-22.Д								
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата									
Розроб.		Пляц			Додатки				Літ.		Арк.	Аркушів	
Перевір.		Кравцова											
Н. Контр.		Нечаєв							Кафедра ТМ гр. ПМ-22				
Затверд.		Рязанцев											

№ і назва операції	Модель верстатів та пристосування	Операційний ескіз	Номери і зміст переходів та установок	Різальний інструмент	Вимірвальний інструмент
005 Відрізання	Відрізний верстат моделі 8Г662		Встановити, відрізати та зняти деталь	Пилка 2257-0212 ГОСТ 4,104,7-82	Штангельциркуль ШЦ-I-250-0,05 ГОСТ 166-80 Рулетка ОПК2-2НГ/2 вимірвальна на ГОСТ 7502-89
010 Токарна	Токарно-гвинтарізний верстат моделі 1М63 Трьохшпальковий патрон 7100-0015 ГОСТ 2675-80 Ланет нерухомих		Встановити, закріпити та зняти деталь 1. Підрізати торець 2. Центрувати торець Передстановити, закріпити та зняти деталь 3. Підрізати торець начисто витримуючи розмір 1210±1 4. Центрувати торець	1. Різець 2112-0017 ВК6 ГОСТ 18880-73 2. Свердло 2317-0109 ГОСТ 14952-75	Штангельциркуль ШЦ-I-250-0,05 ГОСТ 166-80 Рулетка ОПК2-2НГ/2 вимірвальна на ГОСТ 7502-89
015 Токарна	Токарно-гвинтарізний верстат моделі 1М63 Трьохшпальковий патрон 7100-0015 ГОСТ 2675-80 Центр, що одертається 7032-0036 ГОСТ 13214-79		Встановити, закріпити та передстановити деталь 1. Точити начисто з $\phi 112$ до $\phi 97,5$ на довжину $L=308$ мм Передстановити, закріпити, вибрити та передстановити деталь 2. Точити начисто з $\phi 112$ до $\phi 97,5$ на довжину $L=367$ мм Передстановити, закріпити, вибрити та передстановити деталь 3. Точити начисто з $\phi 97,5$ до $\phi 95,5$ (0,5 мм припуск на шліфувальну) на довжину $L=308$ мм 4. Точити поверхню з $\phi 112$ до $\phi 100,5$ на довжину $L=70$ мм 5. Точити начисто з $\phi 112$ до $\phi 111$ на довжину $L=50$ мм 6. Точити канавку ширину $B=3$ мм $\phi 94,5$ мм 7. Точити канавку ширину $B=3$ мм $\phi 99,5$ мм 8,9,10. Точити фаску $1 \times 45^\circ$ Передстановити, закріпити, вибрити та зняти деталь 11. Точити начисто з $\phi 97,5$ до $\phi 95,5$ (0,5 мм припуск на шліфувальну) на довжину $L=367$ мм 12. Точити поверхню з $\phi 112$ до $\phi 100,5$ на довжину $L=70$ мм 13. Точити начисто з $\phi 112$ до $\phi 111$ на довжину $L=50$ мм 14. Точити канавку ширину $B=3$ мм $\phi 94,5$ мм 15. Точити канавку ширину $B=3$ мм $\phi 99,5$ мм 16,17,18. Точити фаску $1 \times 45^\circ$	1,2. Різець 2122-0017 ВК6 ГОСТ 18880-73 3,4,5,11,12,13. Різець 2112-0017 ВК6 ГОСТ 18880-73 6,7,14,15. Різець 2130-0105 ВК6 ГОСТ 18884-73 8,9,10,16,17,18. Різець 2102-0059 ВК6 ГОСТ 18877-73	Штангельциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89 Лінійка 500 ГОСТ 427-75
020 Розмітка на	Розмітальний стіл	1. Розмітити 2 пазу 25P9 $L=157$ мм на шпиль 308 мм $L=215$ мм на шпиль 367 мм 2. Маркувати на шпиль 367 мм – РК – робоче колесо на шпиль 308 мм – ШК – шків		Комплект розмітального інструмента	

№ і назва операції	Модель верстатата та пристосування	Операційний ескіз	Начерки і зміст переходів та установок	Різальний інструмент	Вимірний інструмент
025 Вертикальна фрезерна	Вертикальна фрезерний верстат моделі 6550 Лещата 7200-0005 ГОСТ 21168-85		Встановити, закріпити та зняти деталь 1 Фрезерувати канавку В=25 Р9 L=157мм 2 Фрезерувати канавку В=25 Р9 L=215мм	1 Фреза 2235-0065 Φ 25 Р9 ВК8 ГОСТ 9140-78 2 Фреза 2235-0065 Φ 25 Р9 ВК8 ГОСТ 9140-78	Штангельциркуль ШЦ-II-125-0.1 ГОСТ 166-89 Калібр №14499 - ВЦ10.001.00.001
030 Размітання	Размітаний стіл	1 Размітити 2 отвори під М10 з обох сторін на торцях вала з керуючою центрів отворів		Комплект розмітного інструмента	Штангельциркуль ШЦ-II-125-0.1 ГОСТ 166-89
035 Горизонтально розточна	Горизонтально розточний верстат моделі 262Д Підвалний стіл 7931-0468 ГОСТ 74.119-88		Встановити на підвалному столі верстата та закріпити 1 Свердлити 2 отвори Φ 8,5 мм під М10 на глибину 25мм 2 Зенкерувати 2 отвори Φ 10,5 мм Повернути підвалний стіл верстата разом з закріпленою деталлю, зняти деталь 3 Свердлити 2 отвори Φ 8,5 мм під М10 на глибину 25мм 4 Зенкерувати 2 отвори Φ 10,5 мм	1.3 Свердло 2300-0200 Φ 8,5 Р6М5 ГОСТ10902-77 2.4 Зенкер 2300-0212 Φ 10,5 Р6М5 ГОСТ10209-77	Штангельциркуль ШЦ-II-125-0.1 ГОСТ 166-89
040 Кругло шліфувальна	Універсальний-круглошліфувальний верстат моделі 3К12 Поводковий патрон 7203-0235 ГОСТ 2677-80		Встановити в центрах і поводковому патроні 1 Шліфувати пов. 1 2 Шліфувати пов. 2 Перевстановити в центрах і поводковому патроні 3 Шліфувати пов. 3 4 Шліфувати пов. 4	Круг шліфувальний ПП 600х50х305 ГОСТ 2424-83	Контрольна скоба Φ 95h7 Контрольна скоба Φ 100js6
045 Сварна	Сварний стіл		1.Зачистити заусенці. Гострі краї притупити. 2. Нарізати різьбу М10 в 4-ох отворах. 3. Маркувати на шпильку L=308мм - "ШК"-шків на шпильку L=367мм- "РК"-рабоче колесо	1 Напилек 2820-0062, плоский ГОСТ1465-80 2. Мілчик 2621-14.39 М10 ГОСТ3266-81 3. Клеймо "ШК" та клеймо "РК" Малах 7850-0103 Ц15Хр ГОСТ 2310-77	Пробка 8221-3044 ГОСТ 17758-72
050 Контрольна	Стіл ВТК плита 1-1-2500х1600 ГОСТ 10905-75		Перевірити наявність клею. Відповідність розмірів, шліфистість, відсутність дефектів		Зразки шорсткості Ra 12.5, Ra 6.3, Ra 3.2, Ra 1.6 Штангельциркуль ШЦ-II-125-0.1 ГОСТ 166-89 Пробка 8221-3044 ГОСТ 17758-72 Контрольна скоба Φ 95h7 Контрольна скоба Φ 100js6

[illegible]

**АЛЬБОМ КРЕСЛЕНЬ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-
ЗАСВІДЧУЮЧИХ АРКУШІВ**

КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ БАКАЛАВРСЬКОЇ РОБОТИ

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка

на тему: Технологічна підготовка виробництва валу відцентрового
вентилятора В-Ц4-70 зі застосуванням САД/САЕ-систем і верстатів з
ЧПК

Виконав здобувач гр. ПМ-22

(підпис)

Олександр ПЛЯЦ

Керівник КБР

(підпис)

Дар'я КРАВЦОВА

Нормоконтроль

(підпис)

Василь НЕЧАСВ

Завідувач кафедри

(підпис)

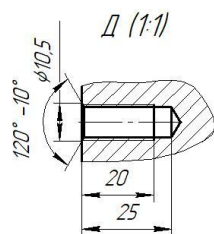
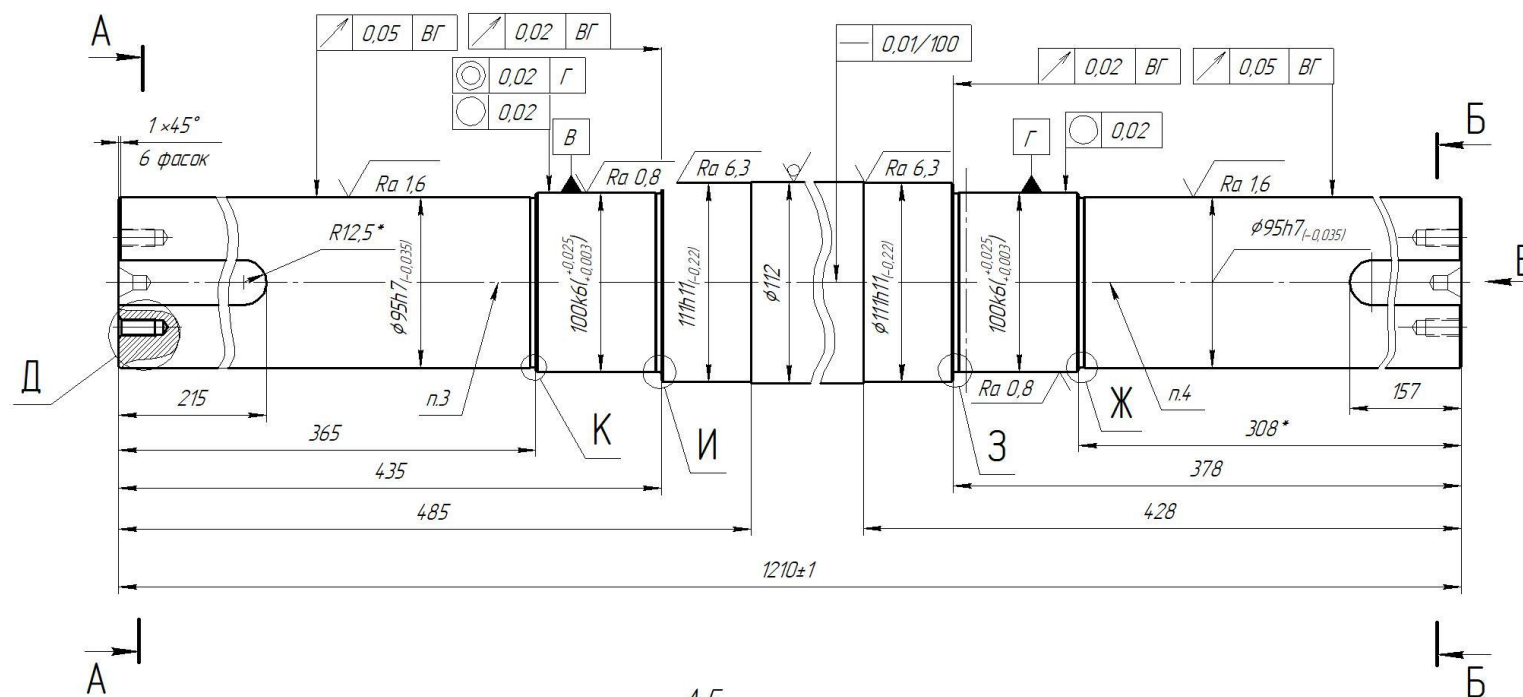
Антон РЯЗАНЦЕВ

Кривий Ріг
2026 р.

ВІДОМІСТЬ ЕЛЕКТРОННИХ ДОКУМЕНТІВ КБР

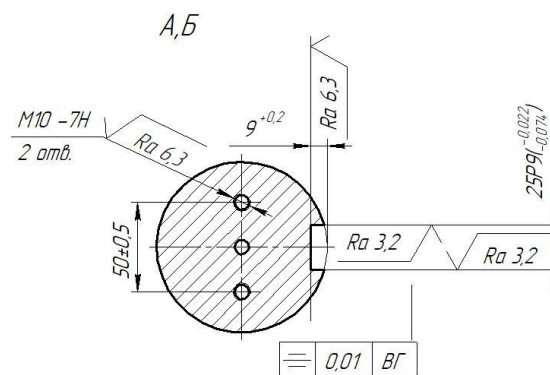
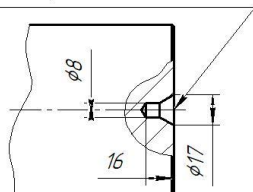
№	Формат	Позначення	Найменування	К-сть листів	Прим.
			<u>Графічні матеріали</u>		
1	A2	КНУ.КБР.131.26.1-22.В	Вал	1	
2	A1	КНУ.КБР.131.26.1-22.ТП	Технологічний процес	2	
3	A1	КНУ.КБР.131.26.1-22.РТК	Розрахунково-технологічна карта	1	
4	A1	КНУ.КБР.131.26.1-22.ПК	Прийняття контрольне (складальне креслення)	1	
5	A2	КНУ.КБР.131.26.1-22.АПР	Аналіз проектних рішень	1	

					КНУ.КБР.131.26.1-22.ВЕД											
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата	Відомість електронних документів КБР						Літ.		Арк.	Аркушів		
Разроб.	Пляц															
Перевір.	Кравцова															
											Кафедра ТМ гр. ПМ-22					
Н. контр.	Нечаєв															
Затверд.	Рязанцев															

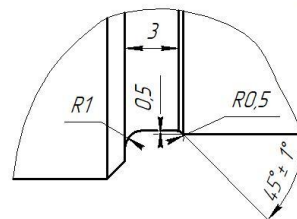


Е

Отв. центр. А8 ДСТУ ISO 866:2018



Ж,З О И,К



- Невказані відхилення: Н14, н14, ±IT14/2.
- *Розміри для довідок.
- Маркувати: РК (робоче колесо).
- Маркувати: ШК (шків).
- НВ 280-320

КНУКБР.131.26.01-22.В					
Вал				Лит	Маса
				Н	61,7
				12	
81-М-112 ДСТУ 8608:2015				Кафедра ТМ	
45-371-М4-ТБ4-К4В-У3-ТО ДСТУ 7809:2015				ПМ-22	
Копія				Формат А2	

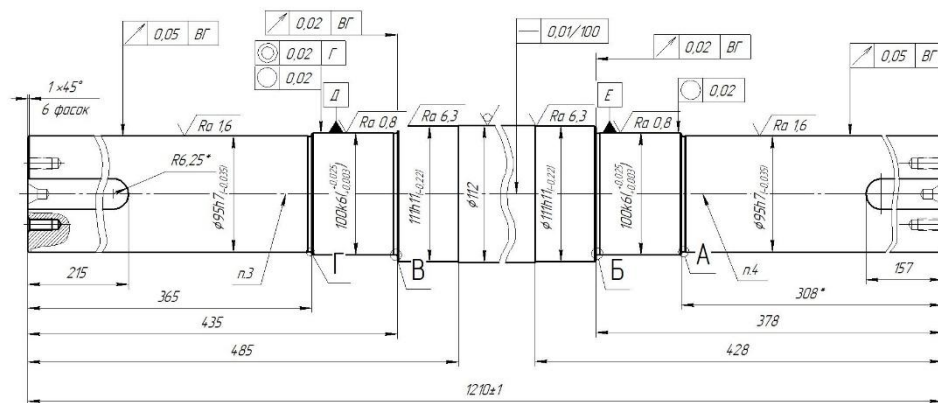
№ і назва операції	Модель верстатата та пристосування	Операційний ескіз	Номери і зміст переходів та установок	Різальний інструмент	Виміральний інструмент
030 Кругло шліфуваль на	Круглошліфувальний верстат з ЧПК Raitaru PCO-32150 Пабодж		Встановити в центрах і пабоджовану патроні Установ 1 1. Шліфувати пав. 1, 2 Перевстановити в центрах і пабоджовану патроні Установ 2 1. Шліфувати пав. 3, 4	1. Круг шліфувальний Norton Quantum 1 – 405x50x127 38A 60 K V	Контрольна скоба $\phi 95h7$ згідно стандарту Контрольна скоба $\phi 100js6$ згідно стандарту Пристосування контрольне КНУКБР.13126.01-22.ПК Зразки шорсткості Ra 12.5, Ra 6.3, Ra3.2, Ra1.6
035 Маркування	Лазерний маркер Keyence MD-X2500		1. Зачистити задирки, гострі кромки притупити 2. Нанести лазерне маркування на шийку 1 «ШК» IL=308 мм. 3. Нанести лазерне маркування на шийку 2 «РК» IL=367 мм.		
040 Контрольна	Повітряна зразкова плита з центрами ваджани Mahg 812		Перевірити наявність клеїна. Відповідність розмірів, шорсткості, відсутності дефектів.		1. Штангенциркуль ШЦ-III-250-0,1 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018 Пабодж Контрольна скоба $\phi 95h7$ згідно стандарту Контрольна скоба $\phi 100js6$ згідно стандарту Пристосування контрольне КНУКБР.13126.01-22.ПК Зразки шорсткості Ra 12.5, Ra 6.3, Ra3.2, Ra1.6

$T=36,3 \text{ хв}$

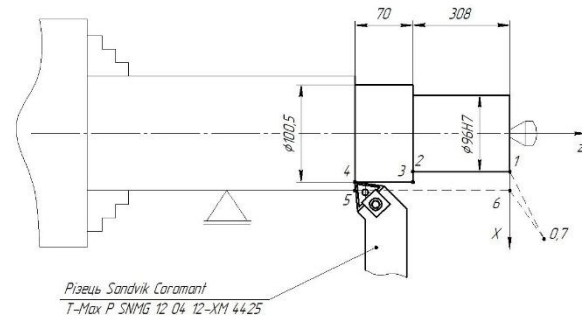
$\Delta T=61,9 \text{ хв}$

Розрахунково-технологічна карта для токарно-фрезерного обробного центру з ЧПК HAAS ST-30L для токарної операції 015

Ескіз деталі



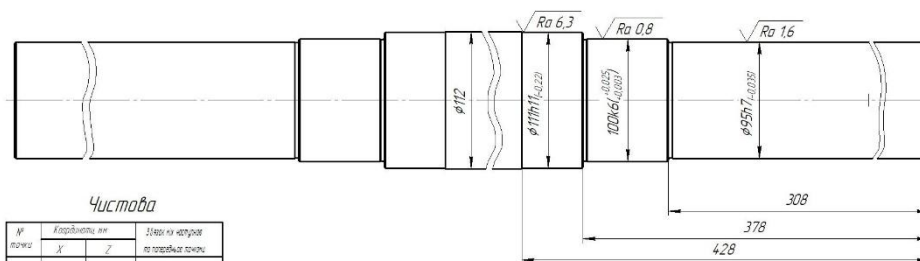
Перехід № 1 (чорнова)



Чорнова

№ точки	Координати мм		Значення швидкості поперечної подачі
	X	Z	
0	60	50	ЛІНІЙНИЙ
1	48	0	ЛІНІЙНИЙ
2	48	-308	ЛІНІЙНИЙ
3	50.5	-308	ЛІНІЙНИЙ
4	50.5	-378	ЛІНІЙНИЙ
5	57	-378	ЛІНІЙНИЙ
6	57	0	ЛІНІЙНИЙ
7	60	50	ЛІНІЙНИЙ

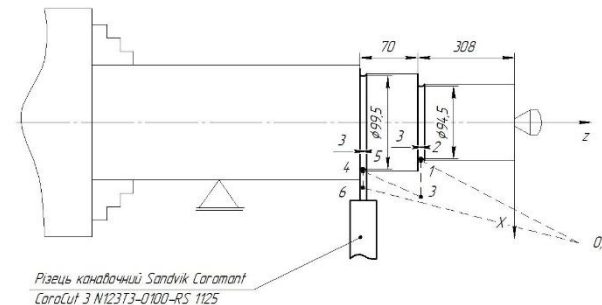
Перероблений ескіз деталі



Чистова

№ точки	Координати мм		Значення швидкості поперечної подачі
	X	Z	
0	60	50	ЛІНІЙНИЙ
1	47.75	0	ЛІНІЙНИЙ
2	47.75	-308	ЛІНІЙНИЙ
3	50.25	-308	ЛІНІЙНИЙ
4	50.25	-378	ЛІНІЙНИЙ
5	55.5	-378	ЛІНІЙНИЙ
6	55.5	-428	ЛІНІЙНИЙ
7	57	-428	ЛІНІЙНИЙ
8	57	-378	ЛІНІЙНИЙ
9	54.5	-378	ЛІНІЙНИЙ
10	55.5	-379	ЛІНІЙНИЙ
11	55.5	-308	ЛІНІЙНИЙ
12	49.25	-308	ЛІНІЙНИЙ
13	50.25	-309	ЛІНІЙНИЙ
14	50.25	0	ЛІНІЙНИЙ
15	46.75	0	ЛІНІЙНИЙ
16	47.75	-1	ЛІНІЙНИЙ
17	60	50	ЛІНІЙНИЙ

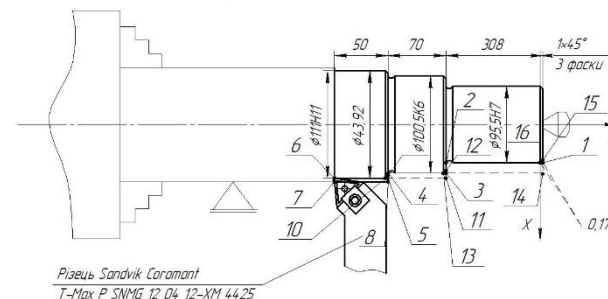
Перехід № 2 (канавки)



Точіння канавки

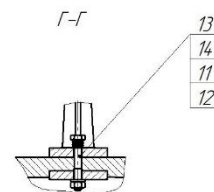
№ точки	Координати мм		Значення швидкості поперечної подачі
	X	Z	
0	60	50	ЛІНІЙНИЙ
1	49	0	ЛІНІЙНИЙ
2	48	-306.5	ЛІНІЙНИЙ
3	46.5	-306.5	ЛІНІЙНИЙ
4	51	-378	ЛІНІЙНИЙ
5	49.75	-378	ЛІНІЙНИЙ
6	49.75	-378	ЛІНІЙНИЙ
7	60	50	ЛІНІЙНИЙ

Перехід № 3 (чистова)



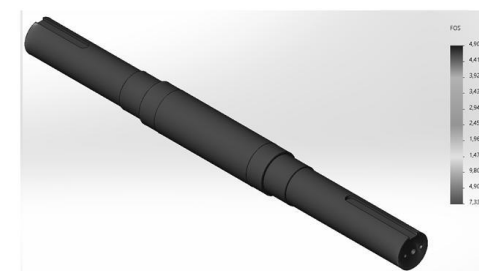
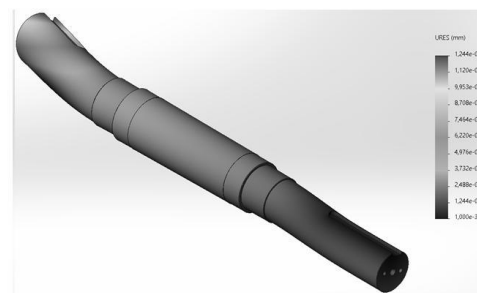
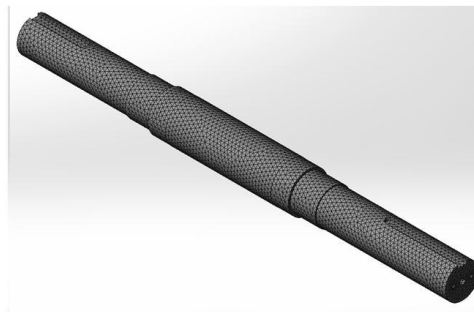
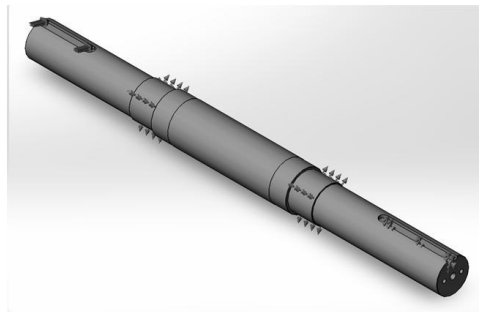
Маршрут руху інструментів:
різець прохідний чорновий - 0-1-2-3-4-5-6-7;
різець канавочний - 0-1-2-3-4-5-6-7;
різець прохідний чистовий- 0-1-2-3-4-5-6-7-8-9
-10-11-12-13-14-15-16-17.

КНУ.КБР.13126.01-22.РТК				
Спр. Тех.	№ докум.	Лист	Всього	Розробник
Розроб.	Внес.			
Перев.	Коректура			
Т.контр.				
Контроль	Внес.			
Згод.	Розробник			
Розрахунково-технологічна карта				Лист 11
Коректура ТМ				Лист 11
ПМ-22				Лист 11



- 1 НН.н14.зТГ4/2.
- 2 *Размери для довідок.
- 3 Контролювати силу розтиску пружини в затворі в межах
350-400 Н
- 4 При перенастрабованні рухомого центра відкрити фіксаторні болти,
настроїти, вибрити, затягнути.
- 5 Забезпечити рух індикаторних стійок " від руки".

				КНУКБР.131.26.1-22ПК			
				Приспосабливання контролю (Складальне креслення)			
Заб. Лек.	№ форми	Ідент.	Випуск	Лист	Місяць	Місяць	Місяць
Розроб.	Помі.			Н	78	12	
Перев.	Коригувальн.			Стор.	Листов		
Коригувальн.				Кафедра ТМ			
Інженер	Начальн.			ПМ-22			
Зроб.	Розробчів						



Играб №	Перв. застос.

№№. № орг.	Підп. і дата	Взам. №№	№№. № з'їздів	Підп. і дата

№№. № орг.	Підп. і дата	Взам. №№	№№. № з'їздів	Підп. і дата

№№. № орг.	Підп. і дата	Взам. №№	№№. № з'їздів	Підп. і дата

№№. № орг.	Підп. і дата	Взам. №№	№№. № з'їздів	Підп. і дата

№№. № орг.	Підп. і дата	Взам. №№	№№. № з'їздів	Підп. і дата

№№. № орг.	Підп. і дата	Взам. №№	№№. № з'їздів	Підп. і дата

					КНУКБР.131.26.01-22.АПР				
					Аналіз проектних рішень		Лит.	Маса	Масшт
Зм	Арк	№ докум.	Підп	Лист			Н		
Розроб.	Плян								
Перед.	Кресло								
Т.контр							Аркш	Аркш	
Кердник					Кафедра ТМ ПМ-22				
Н.контр	Началь								
Затв.	Рязанцев				Формат А2				
Копіював									

					КНУКБР.131.26.01-22.АПР				
					Аналіз проектних рішень		Лит.	Маса	Масшт
Зм	Арк	№ докум.	Підп	Лист			Н		
Розроб.	Плян								
Перед.	Кресло								
Т.контр							Аркш	Аркш	
Кердник					Кафедра ТМ ПМ-22				
Н.контр	Началь								
Затв.	Рязанцев				Формат А2				
Копіював									

					КНУКБР.131.26.01-22.АПР				
					Аналіз проектних рішень		Лит.	Маса	Масшт
Зм	Арк	№ докум.	Підп	Лист			Н		
Розроб.	Плян								
Перед.	Кресло								
Т.контр							Аркш	Аркш	
Кердник					Кафедра ТМ ПМ-22				
Н.контр	Началь								
Затв.	Рязанцев								
					Копіював		Формат А2		

					КНУКБР.131.26.01-22.АПР				
					Аналіз проектних рішень		Лит.	Маса	Масшт
Зм	Арк	№ докум.	Підп	Лист			Н		
Розроб.	Плян								
Перед.	Кресло								
Т.контр							Аркш	Аркш	
Кердник					Кафедра ТМ ПМ-22				
Н.контр	Началь								
Затв.	Рязанцев				Формат А2				
Копіював									

					КНУКБР.131.26.01-22.АПР				
					Аналіз проектних рішень		Лит.	Маса	Масшт
Зм	Арк	№ докум.	Підп	Лист			Н		
Розроб.	Плян								
Перед.	Кресло								
Т.контр							Аркш	Аркш	
Кердник					Кафедра ТМ ПМ-22				
Н.контр	Началь								
Затв.	Рязанцев				Формат А2				
Копіював									

					КНУКБР.131.26.01-22.АПР				
					Аналіз проектних рішень		Лит.	Маса	Масшт
Зм	Арк	№ докум.	Підп	Лист			Н		
Розроб.	Плян								
Перед.	Кресло								
Т.контр							Аркш	Аркш	
Кердник					Кафедра ТМ ПМ-22				
Н.контр	Началь								
Затв.	Рязанцев								
					Копіював		Формат А2		

					КНУКБР.131.26.01-22.АПР				
					Аналіз проектних рішень		Лит.	Маса	Масшт
Зм	Арк	№ докум.	Підп	Лист			Н		
Розроб.	Плян								
Перед.	Кресло								
Т.контр							Аркш	Аркш	
Кердник					Кафедра ТМ ПМ-22				
Н.контр	Началь								
Затв.	Рязанцев								
					Копіював		Формат А2		

5. Перелік графічного матеріалу: 1. Вал. 2. Технологічний процес. 3. Розрахунково-технологічна карта 4. Складальне креслення вузла 5. Результати обчислення вала у SW Simulation.

6. Календарний план:

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

Дата видачі завдання: «26» лютого 2026 р.

Завдання видав керівник КБР _____ / Кравцова Д.Ю. /

Завдання отримав
здобувач освіти _____ / Пляц О.А. /