

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 виготовлення поршня клапана керування гальмами зі застосуванням CAD/CAE-систем і обладнання з ЧПК

Виконав: здобувач групи ПМ-23ск
Матвієнко С.О.

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 виготовлення поршня клапана керування гальмами зі застосуванням CAD/CAE-систем і обладнання з ЧПК

Виконав здобувач гр. ПМ-23ск

_____ (підпис)

Станіслав МАТВІЄНКО

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.131.26.1-06.ПЗ	Пояснювальна записка	48	
			<u>Графічні матеріали</u>		
2	A2	КНУ.КБР.131.26.1-06.ККГ	Клапан керування гальмами	1	
3	A2	КНУ.КБР.131.26.1-06.ПВВ	Поршень верхній великий	1	
4	A2	КНУ.КБР.131.26.1-06.ПВВ3	Поршень верхній великий (заготовка)	1	
5	A1	КНУ.КБР.131.26.1-06.СЗТО	Структура та зміст технологічних операцій обробки	1	
6	A1	КНУ.КБР.131.26.1-06.РТК	Розрахунково- технологічна карта	1	
7	A2	КНУ.КБР.131.26.1-06.ПК	Пристосування контрольне	1	
8	A1	КНУ.КБР.131.26.1-06.АПР	Аналіз проектних рішень	1	

					КНУ.КБР.131.26.1-06.ВМКБР						
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата							
Разроб.		Матвієнко			Відомість матеріалів КБР			Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Кравцова									
Н. контр.		Нечаєв						Кафедра ТМ гр. ПМ-23ск			
Затверд.		Рязанцев									

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА.....	7
1.1 Принцип дії клапана керування.....	7
1.2 Аналіз точності поршня і вузла	8
1.3 Характеристика матеріалів поршня	10
1.4 Характеристика виробничої програми і визначення типу виробництва	11
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	13
2.1 Аналіз технологічності поршня.....	13
2.2 Аналіз діючих технологічних процесів	14
2.3 Обґрунтування методу вибору отримання заготовки поршня.....	15
2.4 Вибір маршрутів обробки поверхонь.....	17
2.5 Обґрунтування вибору верстатів, оснащення та інструменту.....	18
2.6 Вибір верстатних пристосувань.....	21
2.7 Вибір різального інструменту.....	22
2.8 Вибір вимірювальних пристроїв та інструментів	23
2.9 Вибір схем базування.....	24
2.10 Розроблення маршрутів виготовлення поршня	25
2.11 Визначення припусків на обробку та операційних розмірів деталей.....	25
2.12 Нормування операцій.....	28
3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	30
3.1 Перевірка поршня на міцність	30
3.2 Розробка конструкції контрольного пристрою	37
4 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА	39
4.1 Охорона праці та екологія виробництва	39
4.1.1 Забезпечення безпечного виробничого середовища та мінімізація професійних ризиків у технологічному циклі виготовлення поршня	39
4.1.2 Вплив виробництва на довкілля та заходи з його мінімізації	40
4.2 Економічне обґрунтування роботи металообробного підприємства	42
ВИСНОВКИ.....	47
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	48
ДОДАТОК А.....	51

					<i>КНУ.КБР.131.26.1-06.3</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>Матвієнко</i>						
<i>Перевір.</i>		<i>Кравцова</i>						
<i>Н. контр.</i>		<i>Нечаєв</i>				<i>Кафедра ТМ гр. ПМ-23ск</i>		
<i>Затверд.</i>		<i>Рязанцев</i>						

РЕФЕРАТ

У пояснювальній записці до кваліфікаційної бакалаврської роботи викладено результати проекту, що охоплює 49 сторінок тексту, проілюстрований 12 рисунками, 18 таблицями та 7 аркушами графічної частини.

Головною метою дослідження є модернізація технологічного процесу обробки поршня пневматичного шляхом переходу від універсального обладнання до сучасних токарних та фрезерних центрів із числовим програмним керуванням Haas. Це дозволило значно підвищити продуктивність виготовлення для річної програми у 2000 деталей. Крім того, проведено технічний аналіз деталі типу «поршень» із використанням методів скінченно-елементного моделювання, що дозволило оцінити реальні границі міцності та працездатності виробу під впливом робочого пневматичного тиску в 0,8 МПа.

Перший розділ присвячений загальній характеристиці об'єкта дослідження — описано функціональне призначення поршня в системі клапана керування гальмами причепа, технічні вимоги до точності поверхонь та обґрунтовано використання алюмінієвого ливарного сплаву АК12МЗ.

У другому розділі представлено розробку технологічного маршруту виготовлення поршня в умовах серійного виробництва на базі обладнання Haas ST-20 та Haas VF-2. Впроваджено прогресивні схеми базування з використанням механізованих патронів Schunk та пневматичних лежачих блоків, що забезпечило сумарний штучний час обробки на рівні 4,99 хвилини.

У третьому розділі виконано комп'ютерне моделювання навантажень у середовищі SolidWorks Simulation. На основі скінченно-елементної сітки проведено статичний аналіз, за результатами якого побудовано епюри напружень за Мизесом із максимальним показником 64,628 МПа, зафіксовано робочий хід на рівні 10,974 мм та підтверджено коефіцієнт запасу міцності 2,35. Також використано інструментарій Design Insight для оптимізації силового каркаса деталі.

Четвертий розділ зосереджено на питаннях охорони праці та екологічної безпеки, зокрема розроблено стратегію мінімізації професійних ризиків при роботі на верстатах з ЧПК та систему утилізації алюмінієвих відходів. Здійснено розрахунок економічної доцільності, який підтвердив високу ефективність проекту з терміном окупності всього 0,5 року.

ПОРШЕНЬ ПНЕВМАТИЧНИЙ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, ВЕРСТАТИ З ЧПК, SOLIDWORKS SIMULATION, СПЛАВ АК12МЗ, ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ.

					<i>КНУ.КБР.131.26.1-06.P</i>			
<i>Змін.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ Документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Реферат</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Матвієнко</i>						
<i>Перевір.</i>		<i>Кравцова</i>						
<i>Н. Контр.</i>		<i>Нечаєв</i>				<i>Кафедра ТМ гр. ПМ-23ск</i>		
<i>Затверд.</i>		<i>Рязанцев</i>						

ABSTRACT

The explanatory note of the qualifying bachelor's work presents the results of a project covering 49 pages of text, illustrated with 12 figures, 18 tables, and 7 sheets of the graphical part.

The main objective of the study is the modernization of the technological process for manufacturing a pneumatic piston by transitioning from universal equipment to modern CNC turning and milling centers from Haas. This transition significantly increased production productivity for an annual program of 2,000 units. Furthermore, a technical analysis of the "piston" type component was conducted using finite element modeling, which allowed for an evaluation of the actual strength and performance limits of the product under a working pneumatic pressure of 0.8 MPa.

The first section is devoted to the general characteristics of the research object—describing the functional purpose of the piston within the trailer brake control valve system, technical requirements for surface precision, and the justification for using the AK12M3 aluminum casting alloy.

The second section presents the development of the technological route for piston manufacturing in a serial production environment based on Haas ST-20 and Haas VF-2 equipment. Progressive clamping schemes using Schunk mechanized chucks and pneumatic vise blocks were implemented, ensuring a total unit processing time of 4.99 minutes.

The third section performs computer modeling of loads in the SolidWorks Simulation environment. Based on a finite element mesh, a static analysis was conducted, resulting in the construction of von Mises stress plots with a maximum value of 64.628 MPa, a recorded working stroke of 10.974 mm, and a confirmed safety factor of 2.35. Additionally, the Design Insight tool was used to optimize the structural framework of the component.

The fourth section focuses on occupational health and environmental safety, specifically developing a strategy to minimize professional risks when working with CNC machines and a system for aluminum waste disposal. An economic feasibility calculation was performed, confirming the high efficiency of the project with a payback period of only 0.5 years.

PNEUMATIC PISTON, TECHNOLOGICAL PROCESS, CNC MACHINES, SOLIDWORKS SIMULATION, AK12M3 ALLOY, ECONOMIC EFFICIENCY.

					КНУ.КБР.131.26.1-06.Р	Архив
Змін.	Архив	№ Документа	Підпис	Дата		

ВСТУП

Розвиток сучасного машинобудування в Україні є стратегічно важливим фундаментом для забезпечення економічної незалежності та підвищення конкурентоспроможності вітчизняної промисловості на міжнародному ринку. В умовах стрімкої глобалізації та постійного зростання вимог до точності та надійності складних технічних систем, галузь потребує радикального оновлення застарілих виробничих потужностей та впровадження інноваційних технологічних рішень. Особливої актуальності це питання набуває у сфері автомобілебудування та виготовлення компонентів для спеціалізованого транспорту, де якість кожної деталі безпосередньо впливає на безпеку дорожнього руху та довговічність експлуатації складних пневматичних вузлів.

Сучасний етап науково-технічного прогресу вимагає від українських підприємств відмови від традиційних методів обробки на універсальному обладнанні на користь високоефективних центрів із числовим програмним керуванням. Застосування передових технологій обробки дозволяє не лише значно скоротити час виготовлення продукції, а й забезпечити стабільну повторюваність геометричних параметрів, що є критичним для прецизійних деталей гальмівних систем. Водночас, проектування нових технологічних процесів сьогодні неможливе без широкого використання засобів комп'ютерного моделювання, які дають змогу досліджувати поведінку матеріалу під навантаженням ще до етапу запуску реального виробництва. Це дозволяє оптимізувати конструкцію деталей, зменшити матеріаломісткість та гарантувати високий рівень надійності при роботі в складних умовах змінного тиску та вібрацій.

Дана кваліфікаційна робота зосереджена на вирішенні важливого науково-практичного завдання щодо модернізації виробництва поршня пневматичного клапана керування гальмами причепа. Актуальність обраного напрямку дослідження підтверджується потребою вдосконалення технологічних маршрутів виготовлення відповідальних деталей гальмівної апаратури із застосуванням сучасного обладнання Haas та програмних комплексів скінченно-елементного аналізу. Метою роботи є розробка та наукове обґрунтування технологічного процесу, який забезпечує задану програму випуску при одночасному зниженні собівартості та підвищенні якості поверхні під ущільнювальні елементи.

У межах дослідження передбачається проведення детального аналізу конструкції деталі та властивостей ливарного алюмінієвого сплаву, формування оптимального маршруту механічної обробки та вибір високоефективного інструментального оснащення. Важливою складовою проекту є віртуальна перевірка міцності поршня в середовищі SolidWorks Simulation, що дозволяє

					<i>КНУ.КБР.131.26.1-06.B</i>		
<i>Змін.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ Документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Вступ</i>		
<i>Розроб.</i>		<i>Матвієнко</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-23ск</i>		

підтвердити раціональність прийнятих технічних рішень та оцінити запас надійності вузла. Отримані результати мають практичне значення для підвищення ефективності виробничих діляниць та створення передумов для впровадження сучасних стандартів якості на вітчизняних машинобудівних підприємствах. Економічне обґрунтування проекту та аналіз факторів екологічної безпеки завершують комплексну оцінку запропонованої модернізації, підкреслюючи її доцільність у сучасних ринкових умовах.

					КНУ.КБР.131.26.1-06.В	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Принцип дії клапана керування

У розгальмованому стані через канали II та V клапана здійснюється безперервне подавання стисненого повітря, джерелами якого виступають ресивер та ручний кран зворотної дії. Робочий тиск у цей момент одночасно спрямований на верхню площину діафрагми 2 та нижню частину середнього поршня 3, завдяки чому забезпечується стабільне утримання поршня 1 у його крайньому нижньому положенні.

Водночас магістраль, що відповідає за керування гальмівною системою причепа (вивід IV), через внутрішні канали клапана 5 та поршня 1 залишається з'єднаною з атмосферним отвором VI. Коли від секції гальмівного крана до виводу III надходить стиснене повітря, воно змушує поршні 6 та 7 синхронно переміщатися вниз. У процесі цього руху поршень 7 щільно прилягає своїм сидлом до клапана 5, що призводить до ізоляції виводу IV від атмосферного каналу VI, а за подальшого руху відсуває клапан 5 від посадкового місця в поршні 3. Завдяки цьому потоки стисненого повітря спрямовуються від виводу V до виводу IV і далі в керуючу лінію причепа, аж поки зусилля від тиску повітря під поршнями 6 та 7 не зрівняється з тиском, прикладеним до виводу III зверху. У момент досягнення такої рівноваги клапан 5 під дією поворотної пружини 4 сідає на сидло поршня 3, що припиняє подавання повітря з магістралі V до виводу IV. Процес розгальмовування причепа супроводжується падінням тиску на виводі III, внаслідок чого поршні 6 та 7 під впливом енергії пружин 8 і 10, а також тиску повітря з боку виводу IV, повертаються у верхнє положення. Це спричиняє від'єднання сидла поршня 7 від клапана 5, відкриваючи шлях для виходу повітря з магістралі IV в атмосферу через вивід VI.

Під час розгальмовування причепа спостерігається падіння тиску у виводі I та в порожнині під діафрагмою 2, що ініціює зміщення поршнів 1 і 3 у нижній напрям. Внаслідок цього клапан 5 відходить від сидла поршня 7, забезпечуючи пряме сполучення виводу IV з атмосферним каналом VI. Конструктивна схема передбачає можливість паралельного подавання стисненого повітря до входів I та III, що зумовлює синхронний рух поршневої групи 6 і 7 донизу, тоді як елементи 1 та 3 переміщуються вгору. Процеси наповнення керуючої магістралі причепа через вивід IV та подальший випуск робочого середовища відбуваються за принципом, що повністю відповідає раніше розглянутому алгоритму роботи вузла.

У разі надходження стисненого повітря до каналу III (або за умови його одночасного подавання до виводів I та III) у виводі IV, який безпосередньо

					<i>КНУ.КБР.131.26.1-06.01.34</i>			
<i>Змін.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ Документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Загальна частина</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Разроб.</i>		<i>Матвієнко</i>						
<i>Перебір.</i>		<i>Кравцова</i>						
<i>Н. контр.</i>		<i>Нечаєв</i>				<i>Кафедра ТМ гр. ПМ-23ск</i>		
<i>Затверд.</i>		<i>Рязанцев</i>						

з'єднаний із лінією керування гальмами причепа, формується тиск, що перевищує аналогічний показник у каналі ІІІ. Такий конструктивний підхід дозволяє досягти ефекту випереджальної дії гальмівних механізмів причепа. Величина цієї різниці тисків, що зазвичай становить 0,06 МПа, підлягає налаштуванню за допомогою регулювального гвинта 9. Обертання гвинта всередину корпусу призводить до збільшення вихідного тиску, тоді як його викручування забезпечує відповідне зменшення.

Під час активації запасної або стояночної гальмівної системи тягача відбувається падіння тиску стисненого повітря у виводі ІІ, розташованому над діафрагмою 2. Це провокує переміщення поршнів 1 та 3 у верхньому напрямку, в результаті чого клапан 5 щільно сідає на сидло в поршні 7, блокуючи вихід робочого середовища в атмосферний канал VI. При подальшому зміщенні клапан 5 відходить від посадкового місця в поршні 3, ініціюючи перепускання повітря з виводу V до магістралі керування причепом IV. Наповнення системи триває доти, доки зусилля від тиску повітря, прикладене до поршня 3 знизу, не зрівноважиться протидіючим тиском, що діє на цей поршень та діафрагму 2 зверху.

Функціонування вузла реалізується за наступною схемою. У розгальмованому стані зусилля пружини 11 утримує поршень 12 у його верхній позиції. Під час гальмування транспортного засобу стиснене повітря з каналу ІІІ спрямовується в порожнину А, де воно впливає на поршень 12 зверху і, долаючи опір пружини 11, зміщує його вниз. За умови відсутності витоків у керуючій магістралі тиск, що потрапляє в порожнину Б, створює протидію знизу і піднімає поршень у вихідне положення, що зумовлює стан постійного руху деталі 12. Якщо ж магістраль IV втрачає герметичність, у процесі гальмування відбувається стрімке падіння тиску в ній та, відповідно, у порожнині Б. У такому разі під дією керуючого тиску в камері А поршень 12 переміщується до упору вниз, перекриваючи потік стисненого повітря від виводу V до виводу IV, що виключає втрату повітря з ресивера в атмосферу. Одночасно з цим зниження тиску в лінії причепа спричиняє активацію його гальмівних механізмів.

Фіксація клапана керування гальмами причепа з двоконтурним приводом на транспортному засобі реалізується за допомогою двох гайок М8, які нагвинчуються на болти, що скріплюють верхню та нижню секції корпусу пристрою. Апарат монтується випускним отвором донизу, що забезпечує зручний доступ для його налаштування без необхідності зняття з автомобіля. Процес підключення трубопровідної арматури до різьбових каналів М22×1,5 передбачає використання лише гумових ущільнювальних деталей для забезпечення герметичності. Використання сторонніх герметизуючих сполук або рідких ущільнювачів у цих з'єднаннях не дозволяється.

1.2 Аналіз точності поршня і вузла

При проведенні аналізу точнісних параметрів заповнюємо таблицю 1.1, в якій містяться дані про точність виготовлення та вимоги до точності.

					КНУ.КБР.131.26.1-06.01.34	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

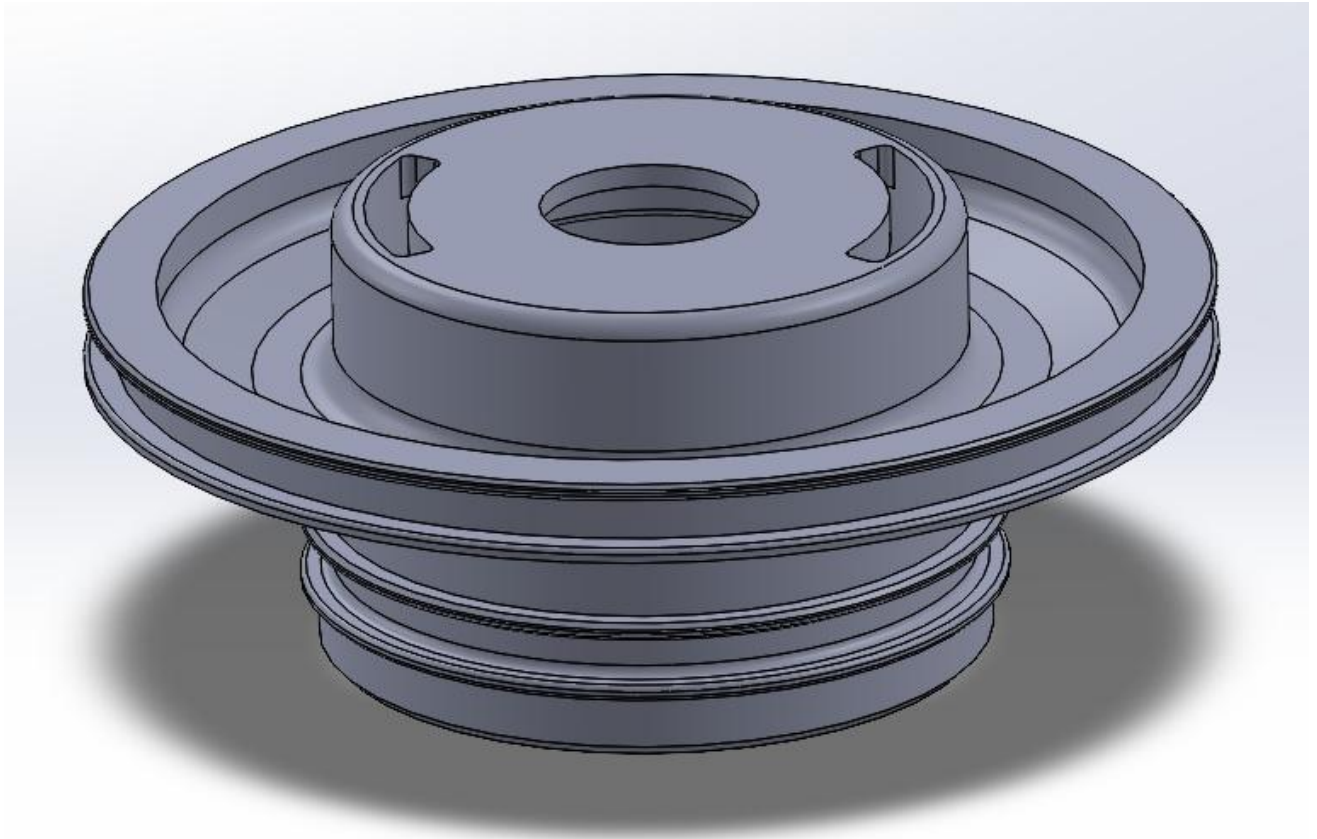


Рисунок 1.1 - Поршень верхній великий (3D-модель)

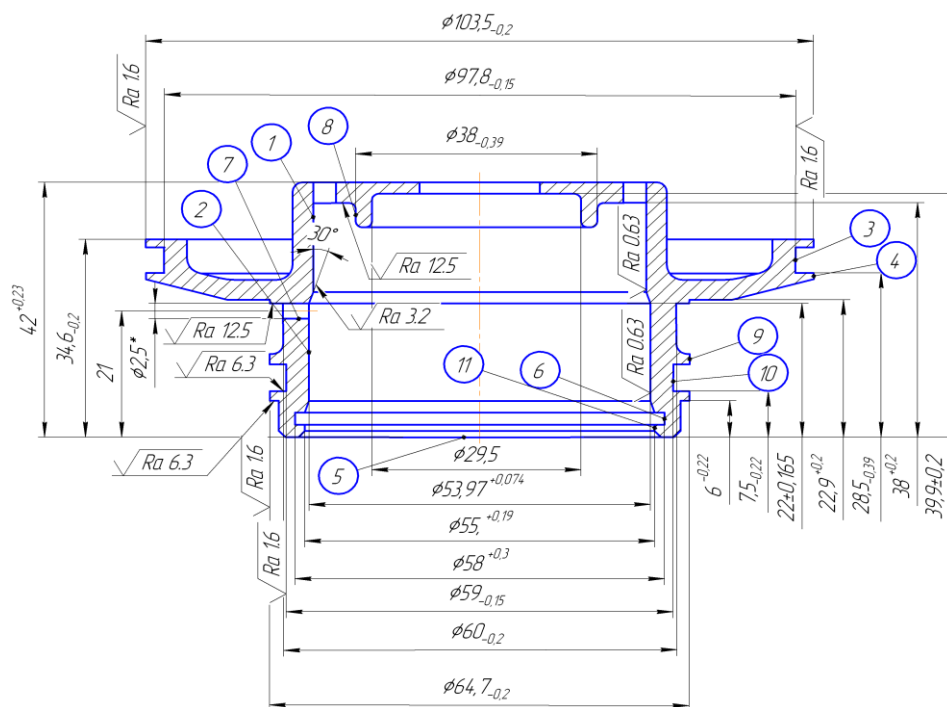


Рисунок 1.2 - Поршень верхній великий (кресленник)

					КНУ.КБР.131.26.1-06.01.34		Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата			

Таблиця 1.1 – Відомості про точнісні параметри поршня верхнього великого

Номер поверхні деталі	Назва поверхні	Розміри з відхиленнями	Квалітет точності	Точність форми	Точність відносного положення	ШорсткістьRa
1	2	3	4	5	6	7
1	Отвір	$\varnothing 51,97^{+0,074}$	H9	-	-	Ra 0.63
2	Отвір	$\varnothing 53,97^{+0,074}$	H9	-	-	Ra 0.63
3	Канавка	$4.4^{+0,2}$	H11	-	-	Ra 1,6
4	Зовнішня пов	$\varnothing 103,5_{-0,2}$	h9	-	-	Ra 1,6
5	Торець	$42^{+0,23}$	H11	-	-	Ra 6,3
6	Канавка	$2^{+0,14}$	H11	-	-	Ra 6,3
7	Отвір	$\varnothing 2,5$	H13	-	-	Ra 12,5
8	Поверхня внутрішня	$\varnothing 38_{-0,39}$	H13	-	-	Ra 12,5
9	Зовнішня поверхня	$\varnothing 64,7_{-0,2}$	h9	-	-	Ra 1,6
10	Внутрішня поверхня	$\varnothing 55^{+0,19}$	H11	-	-	Ra 6,3

1.3 Характеристика матеріалів поршня

Для виготовлення таких відповідальних компонентів великий верхній поршень, застосовуються алюмінієві ливарні сплави марок АК12М2 та АК5М2. Вибір саме сплавів зумовлений тим, що чистий алюміній через свою низьку механічну міцність, яка не перевищує $\sigma < 70$ МПа, практично не використовується в навантажених інженерних конструкціях. Для досягнення необхідних експлуатаційних характеристик метал піддають легуванню такими елементами, як кремній, мідь, магній, марганець, цинк та нікель, сумарна частка яких може сягати 20% від загальної маси. Основними перевагами таких матеріалів залишаються їхня мала питома вага, що становить близько $\rho \approx 2.7$ г/см³, та порівняно низька температура плавлення в межах 660°C, що значно спрощує технологічний процес отримання заготовок. Окрім того, попри високу хімічну активність щодо кисню, алюмінієві сплави демонструють чудову корозійну стійкість завдяки утворенню щільної захисної оксидної плівки на поверхні.

Вибір сплаву АК12М2 для виробництва поршнів є особливо обґрунтованим з погляду теплофізики та технології. Завдяки високому вмісту кремнію, цей сплав належить до групи силумінів, які відзначаються винятковою рідкоплинністю та мінімальною лінійною усадкою під час кристалізації, що дозволяє отримувати складні за формою виливки без внутрішніх дефектів. Для поршня надзвичайно важливою характеристикою є низький коефіцієнт теплового розширення, що властиво саме системі Al-Si. Це дає змогу витримувати стабільні теплові зазори в циліндрі при високих робочих температурах. Наявність міді та магнію в складі АК12М2 забезпечує сплав необхідну жароміцність та твердість, дозволяючи деталі ефективно протистояти механічним ударам та термічній втомі під час роботи двигуна чи компресора. Таке поєднання пластичності та стійкості до

					КНУ.КБР.131.26.1-06.01.34	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

утворення тріщин робить цей матеріал оптимальним для деталей, що працюють в умовах інтенсивного циклічного навантаження. Детальні відомості щодо хімічного складу та основних механічних параметрів матеріалів наведено у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Хімічний склад матеріалу деталі поршень верхній великий

Параметри та властивості	AK12M2 (AL30)	AK6M2
Основні легуючі елементи, %		
Кремній (Si)	11.0 – 13.0	5.0 – 7.0
Мідь (Cu)	1.8 – 3.0	1.5 – 2.5
Магній (Mg)	0.3 – 0.6	0.2 – 0.5
Алюміній (Al)	Основа	Основа
Механічні властивості (не менше)		
Границя міцності σ , МПа	170 – 180	150 – 160
Твердість за Брінеллем, HB	80 – 100	70 – 85
Відносне видовження δ , %	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0
Фізичні та технологічні характеристики		
Густина ρ , г/см ³	2.68	2.72
Температура плавлення, °C	570 – 580	550 – 625
Ливарна усадка, %	0.8 – 1.0	1.1 – 1.2
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К)	125 – 145	130 – 150
Технологічні особливості	Висока рідкоплинність, низьке теплове розширення	Добра оброблюваність різанням, середня рідкоплинність

Сплав AK12M2 є кращим вибором безпосередньо для поршнів завдяки високому вмісту кремнію (евтектичний склад). Це забезпечує мінімальний коефіцієнт термічного розширення, що критично для збереження зазорів у парі «поршень-циліндр». У свою чергу, AK6M2 має дещо вищу пластичність і краще піддається механічній обробці, тому його часто застосовують для корпусних деталей, де вимоги до жароміцності та циклічних температурних розширень дещо нижчі.

1.4 Характеристика виробничої програми і визначення типу виробництва

Вибір параметрів виробничої програми є фундаментальним етапом проектування, оскільки він визначає всю подальшу структуру технологічного

					КНУ.КБР.131.26.1-06.01.34	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

процесу та економічну доцільність дільниці. Встановлений річний обсяг випуску у кількості 2000 одиниць дозволяє впевнено віднести дане виробництво до категорії середньосерійного. Такий масштаб забезпечує необхідну стабільність технологічних операцій і одночасно дозволяє зберігати гнучкість, яка потрібна для періодичного переналагодження обладнання.

Таблиця 1.3 – Вихідні дані та розрахункові параметри режиму роботи дільниці

Параметр	Позначення	Одиниці виміру	Значення / Формула	
Вхідні дані				
Річна виробнича програма	N	шт.	2000	
Робочих днів у році	Дроб	дні	251	
Тривалість зміни	Тзм	год.	12	
Кількість змін	m	-	1	
Коефіцієнт втрат на	крем	-	0,97	
Штучний час на операцію	Тшт	хв.	25	
Розрахункові показники				
Номінальний фонд часу	Fn	год.	Дроб·Тзм·m	3012,0
Ефективний фонд часу	Feф	год.	Fn·крем	2921,6
Такт випуску	t	хв./шт.	(Feф·60)/N	87,6
Розрахункова кількість	Ср	-	(N×Тшт)/(60*Feф	0,3
Прийнята кількість	Спр	-	Округлення Ср	1,0
Коефіцієнт завантаження	η	%	(Ср/Спр)*100	28,5

Обраний дванадцятигодинний графік роботи в одну зміну демонструє прагнення до інтенсивного використання робочого часу, що є раціональним з точки зору управління персоналом та енерговитрат. Розрахований дійсний фонд часу роботи обладнання з урахуванням планових зупинок на технічне обслуговування та ремонти створює надійну базу для безумовного виконання плану. Оскільки використання високотехнологічних верстатів із програмним керуванням дозволяє значно сконцентрувати операції та прискорити обробку, фактична потреба в обладнанні виявляється мінімальною.

Отриманий показник завантаження верстата свідчить про наявність значного резерву потужності. В умовах сучасного виробництва такий запас є стратегічною перевагою, адже він дозволяє без порушення графіку виконувати регламентні роботи, проводити заміну інструменту або використовувати вільний час для виготовлення інших деталей. Таким чином, спроектований режим роботи забезпечує стабільне функціонування дільниці з високим ступенем надійності та можливістю подальшого розширення виробництва без залучення додаткових одиниць техніки.

					КНУ.КБР.131.26.1-06.01.34	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Аналіз технологічності поршня

Аналіз технологічності конструкції виробу є критичним етапом проектування, який розпочинається безпосередньо після встановлення типу виробництва, адже саме масштаб випуску визначає вибір методів отримання заготовок та стратегію їхньої подальшої обробки. Якісна оцінка технологічності передбачає комплексне вивчення властивостей матеріалу, складності геометричної форми, вимог до точності поверхонь, а також раціональності схеми проставлення розмірів і доступних способів виготовлення напівфабрикатів. Паралельно з цим проводиться кількісне оцінювання за допомогою системи абсолютних і відносних показників, де базовими критеріями виступають коефіцієнт використання матеріалу, досяжний рівень точності та шорсткості, а також прогнозована трудомісткість і технологічна собівартість виготовлення.

Під час поглибленого аналізу конструкції поршня верхнього великого основна увага зосереджується на можливості оптимізації форми для зменшення металомісткості та спрощення доступу різального інструменту до робочих зон. Створення максимально жорсткої конструкції є пріоритетним завданням, оскільки достатня статична та динамічна жорсткість дозволяє реалізувати потенціал сучасних верстатів із ЧПК, застосовуючи найбільш продуктивні та швидкісні режими обробки. Раціоналізація проекту також передбачає скорочення кількості та загальної протяжності поверхонь, що підлягають механічній зміні, що безпосередньо впливає на час циклу виготовлення.

Важливим інженерним аспектом є наявність розвинених і зручних базуючих поверхонь, а за їхньої відсутності — передбачення допоміжних технологічних баз у вигляді спеціальних поясків чи бобишок, які забезпечують надійне закріплення деталі. Конструкція має дозволяти формування найкоротших технологічних розмірних ланцюгів, що є запорукою високої точності при мінімальних витратах. При цьому вибір методу отримання заготовки повинен гарантувати не лише високий коефіцієнт використання металу, а й мінімізацію припусків на подальшу обробку.

Окрему увагу приділяють елементам конструкції, що підлягають термічній обробці, де необхідно забезпечити таку симетрію та конфігурацію, яка б мінімізувала ризики короблення або виникнення внутрішніх напружень під час температурних циклів. Таким чином, досягнення високої технологічності полягає у вдалому поєднанні суворих експлуатаційних характеристик поршня з вимогами до максимально продуктивного та економічно виправданого виробничого процесу. Усі підсумкові дані та результати проведеної оцінки для розглянутого вузла систематизовані та наведені у таблиці 2.1.

					КНУ.КБР.131.26.1-06.02.ТЧ					
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата	Технологічна частина			Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Матвієнко								
Перевір.		Кравцова								
Н. контр.		Нечаєв						Кафедра ТМ гр. ПМ-23ск		
Затверд.		Рязанцев								

Оскільки поршень виготовляється зі сплаву АК12М2 (силумін), висока рідкоплинність цього матеріалу дозволяє отримувати заготовки з мінімальними припусками, що значно підвищує загальний показник технологічності за рахунок зменшення обсягів стружки.

Таблиця 2.1 - Аналіз технологічності

№ п/п	Назва деталі	Показники технологічності	Висновки по показниках технологічності	Дії по поліпшенню технологічності
1	2	3	4	5
1	Поршень	Наявність зручних баз, що забезпечують необхідну орієнтацію та надійне закріплення деталі	Так, технологічно	—
2		Чи необхідні додаткові ребра жорсткості	Ні, технологічно	—
3		Наявність глухих отворів	Ні, технологічно	—
4		Наявність отворів глибиною більше 8d	Ні, технологічно	—
5		Чи можлива багатошпіндельна та багатоінструментальна обробка	Ні, нетехнологічно	Виготовлення цієї деталі не потребує великих затрат часу
6		Чи є скоси або пази під кутом відмінним від 45°	Ні, технологічно	—
7		Чи є отвори неперпендикулярні поверхні	Ні, технологічно	—
8		Чи є великі перепади ступінчатості даної деталі	Ні, технологічно	—

Проведений аналіз конструкторської документації дозволив встановити, що виріб має високий рівень технологічності, повною мірою адаптований до вимог серійного виробництва. Конструктивне виконання поршня забезпечує оптимальний баланс між витратами на підготовку та переналагодження верстатного парку, що у поєднанні з раціональною матеріаломісткістю гарантує суттєву економію сировини та значне скорочення тривалості виробничого циклу. Завдяки продуманій геометрії та точності заданих параметрів, процес виготовлення характеризується високою економічною ефективністю при безумовному дотриманні всіх експлуатаційних вимог.

2.2 Аналіз діючих технологічних процесів

У цьому розділі виконується детальний аналіз існуючої технології виробництва поршня на Полтавському автоагрегатному заводі з метою обґрунтування шляхів її докорінної модернізації. На сьогодні основним методом отримання заготовки для даного вузла є лиття в кокіль, що хоч і вважається

					КНУ.КБР.131.26.1-06.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

перевіреним способом для серійного випуску, проте вже не відповідає сучасним вимогам щодо точності та мінімізації припусків. Порівняно з цією технологією, впровадження лиття під тиском для поршнів зі сплаву АК12М2 дозволяє отримувати виливки з високим квалітетом точності та значно кращою якістю поверхні, що автоматично зменшує обсяг подальшої механічної обробки. Завдяки високому тиску під час кристалізації металу забезпечується щільна та дрібнозерниста структура матеріалу, що підвищує міцнісні характеристики поршня та його опірність термічним навантаженням.

Традиційна схема механічної обробки на підприємстві, яка базується на використанні застарілих універсальних та агрегатних верстатів, є малоефективною через велику кількість перевстановлень деталі. Це не лише збільшує тривалість виробничого циклу, а й створює ризики виникнення похибок базування, що негативно впливає на співвісність та геометричну точність канавок під кільця та отворів бобишок. У запропонованому проекті ця проблема вирішується шляхом переходу на сучасні токарні та фрезерні оброблювальні центри з ЧПК. Таке обладнання дозволяє реалізувати принцип концентрації операцій, коли за один установ виконується повний цикл обробки зовнішнього профілю, включаючи складну бочкоподібну геометрію юбки та проточування всіх функціональних канавок.

Вирішальним фактором підвищення продуктивності в новому технологічному процесі є застосування прогресивного різального інструменту компанії Sandvik Coromant. Використання спеціалізованих твердосплавних пластин із сучасними зносостійкими покриттями дозволяє впровадити режими високошвидкісного різання, значно перевершуючи можливості стандартного інструментарію. Це забезпечує не лише радикальне скорочення штучного часу на кожну операцію, а й досягнення еталонної шорсткості поверхонь, що критично важливо для пари тертя поршень-циліндр. У результаті комплексне поєднання лиття під тиском, інтелектуального керування ЧПК та інструментальних рішень Sandvik дозволяє створити високоефективну дільницю, яка забезпечує мінімальну собівартість виготовлення при суттєвому зростанні експлуатаційного ресурсу поршня.

2.3 Обґрунтування методу вибору отримання заготовки поршня

Технологія отримання заготовки методом лиття під тиском базується на примусовому заповненні сталевої прес-форми розплавом під значним зовнішнім зусиллям, яке безперервно підтримується до моменту повного завершення кристалізації виливка. Такий підхід гарантує не лише ідеальну заповнюваність порожнини форми, а й забезпечує високу геометричну точність при мінімальних показниках шорсткості поверхні. Однією з ключових переваг методу є формування щільної дрібнозернистої структури металу, що зумовлено високою швидкістю відведення тепла та тиском, який ефективно перешкоджає виникненню усадочних раковин або мікропористості. Оскільки під дією зовнішнього стиснення розчинені у сплаві гази залишаються у твердому стані,

					КНУ.КБР.131.26.1-06.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

відпадає потреба у проектуванні складних систем прибутків, що суттєво підвищує вихід придатного металу та спрощує подальшу обробку. Спроможність методу формувати виливки складної конфігурації з товщиною стінок до 0,5 мм та точними отворами діаметром від 1 мм відкриває широкі можливості для проектування високонавантажених деталей.

Для поршня верхнього великого вибір лиття під тиском є технічно обґрунтованим рішенням, враховуючи жорсткі вимоги до точності та специфіку його геометрії. Наявність у конструкції тонких перетинів товщиною лише 1,5 мм робить неможливим якісне наповнення форми при використанні традиційних гравітаційних методів лиття, тоді як робота під тиском гарантує відсутність недоливів та дефектів структури. Висока функціональна відповідальність поршня як рухомого елемента вузла потребує мінімальних припусків, що дозволяє повною мірою реалізувати переваги цього способу отримання заготовки.

При розгляді альтернативного варіанта, а саме лиття за моделями, що виплавляються, було відзначено здатність цього методу забезпечувати надвисоку точність, яка дозволяє скоротити обсяги механічної обробки на 80–100% та суттєво зменшити витрати дорогоцінного сплаву. Висока якість поверхні у такому разі досягається завдяки відсутності роз'ємів у формі та формувальних ухилів. Однак цей технологічний процес передбачає використання виключно разових форм, що зумовлює його надзвичайну трудомісткість та високу собівартість одиниці продукції. В умовах середньосерійного виробництва, де пріоритетом є продуктивність та стабільність параметрів у межах всієї партії, використання одноразового оснащення є економічно невиправданим. Натомість лиття під тиском із застосуванням багаторазових прес-форм забезпечує необхідний темп випуску виробів та оптимальну вартість виготовлення, що робить цей метод найкращим вибором для даного проекту.

Вартість виливка поршня верхнього великого визначаємо за формулою:

$$S = \frac{C_i}{1000} Q \cdot K_T \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_M \cdot K_P - \frac{(Q-q) \cdot S_{\text{відх}}}{1000}$$

Зважаючи на використання методу лиття під тиском, який характеризується високою прецизійністю та мінімальними технологічними напусками, маса вихідної заготовки Q приймається рівною 0.165 кг. Таке значення є цілком обґрунтованим, оскільки припуски на подальшу механічну обробку на верстатах із ЧПК для таких деталей є незначними, а коефіцієнт використання металу залишається високим.

Для подальшого економічного розрахунку вартості заготовки обрано систему коригуючих коефіцієнтів, що базуються на промислових стандартах. Базова ціна однієї тонни виливків C_i встановлюється на рівні 82000 грн/т, що відповідає ринковій вартості серійного лиття з алюмінієвих сплавів. Коефіцієнт точності K_T приймається рівним 1.0, оскільки лиття під тиском забезпечує високий клас точності за замовчуванням і не потребує додаткових витрат на виправлення геометричних дефектів. Складність конструкції поршня, що має внутрішні

					КНУ.КБР.131.26.1-06.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

бобишки та кільцеві канавки, зумовлює вибір коефіцієнта складності K_c на рівні 1.25. Коефіцієнт ваги K_v обирається як 1.6, що пояснюється підвищеною питомою трудомісткістю обробки легких деталей вагою до одного кілограма. Показник матеріалу K_m дорівнює 1.15 через наявність у складі сплаву АК12М2 міді та кремнію, що здорожчують суміш порівняно зі звичайними силумінами. Оскільки обсяг виробництва становить 2000 одиниць на рік, що відповідає середньосерійному типу, коефіцієнт серійності K_p становить 1.0. Вартість алюмінієвих відходів $S_{відх}$ приймається на рівні 26000 грн/т, що дозволяє коректно розрахувати компенсацію за повернення стружки у виробничий цикл. Це забезпечує повну базу даних для фінального обчислення собівартості заготовки за наведеною формулою.

Фінальна вартість заготовки «Поршня верхнього великого» визначається як різниця між витратами на лиття та вартістю відходів, а саме, 30,65 грн/шт.

2.4 Вибір маршрутів обробки поверхонь

Проектування технологічного маршруту механічної обробки є складним багатоваріантним завданням, де ключовою роллю технолога є критичний аналіз та вибір оптимальної стратегії виготовлення поршня. Головним критерієм при цьому виступає досягнення найвищої економічної ефективності, що полягає у забезпеченні заданої точності та якості поверхонь при мінімальній собівартості та найкоротшому виробничому циклі. Сучасний підхід до формування маршруту базується на відмові від традиційної розгалуженої структури операцій на користь їхньої максимальної концентрації, що стає можливим завдяки використанню багатофункціональних верстатів із ЧПК.

Фундаментальним правилом при складанні плану обробки є орієнтація на типові технологічні процеси, що дозволяє значно скоротити час та витрати на технічну підготовку виробництва та уніфікувати оснащення. Особлива увага приділяється раціональному вибору обладнання: проектування ведеться з розрахунком на серійні моделі верстатів із ЧПК, що виключає залежність від унікальних одиниць техніки та підвищує надійність виробничої системи. Висока геометрична точність поршня та стабільність його розмірів гарантується реалізацією обробки за мінімальну кількість установів, що нівелює похибки, пов'язані з багаторазовим перебезуванням деталі.

Для обчислення маршруту обробки виноситься отвір $\varnothing 52H9$. Для визначення ступенів обробки використовують формулу:

$$n = \lg \varepsilon / 0,46$$

де n - кількість переходів; ε - уточнення.

Для визначення уточнення ε :

$$\varepsilon = \frac{T_{заг.}}{T_{дет.}}$$

					КНУ.КБР.131.26.1-06.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

де Тзаг. – допуск заготовки; Тдет. – допуск готової деталі.

Розрахуємо кількість переходів обробки для поверхні Ø52Н9. Допуск заготовки становитиме $T_{\text{заг}} = 0,74$ мм, допуск деталі за 9-м квалітетом становитиме $T_{\text{дет}} = 0,074$ мм. Уточнюємо:

$$\varepsilon = \frac{0,74}{0,074} = 9,46;$$

Тоді кількість переходів отримаємо:

$$n = \lg 9,46/0,46 = 1,31;$$

Приймаємо 2 переходи. Детальний розрахунок обробки отвору поршня верхнього великого показано в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Зведена таблиця технологічних маршрутів обробки отвору поршня верхнього великого

Ø52	1	Позначення поверхні
9	2	Квалітет точності за кресленням
0,074	3	Допуск за кресленням δд, мм
1,6	4	Шорсткість за кресленням Ra
0,74	5	Допуск заготовки δз, мм
13	6	Припустимий квалітет заготовки
10	7	Загальне уточнення εзаг=δз/δд
1	8	Номер маршрутного переходу
2	9	Перехід МОП
Чистове точіння	10	Квалітет після обробки
11	11	Досягнений допуск δі, мм
0,19	12	Прів ат коеф.уточнень εі=δі-1/δі
3,89	13	Загальне уточнення ε=Πεі
2,567	10	
0,074		

2.5 Обґрунтування вибору верстатів, оснащення та інструменту

Докорінна модернізація технологічного процесу виготовлення поршня базується на переході від застарілих методів обробки та лиття до використання інтелектуальних систем із числовим програмним керуванням (ЧПК) та високоефективного інструментарію. Першочерговим етапом переоснащення є заміна ливарної машини моделі A71109 на автоматизовану камеру холодного пресування типу Buhler Carat 400, що є технологічно обґрунтованим кроком для забезпечення високої щільності металу та мінімізації газової пористості. Це

дозволяє отримувати виливки з точністю за IT7-IT9 класами, що суттєво скорочує припуски на наступні етапи та підвищує коефіцієнт використання матеріалу.

У секторі механічної обробки заміна універсального токарного верстата 16K20 на сучасний оброблювальний центр Haas ST-20 дозволяє реалізувати принцип повної концентрації операцій. На відміну від традиційного обладнання, верстат Haas забезпечує автоматизоване формування складного овально-бочкоподібного профілю юбки поршня за один робочий установ, що нівелює ризики виникнення похибок базування та гарантує ідеальну співвісність кільцевих канавок.

Робочий простір токарного центру Haas ST-20 не просто достатній, а навіть надлишковий для деталі з габаритами 105 на 40 мм, що є великим плюсом для стабільності процесу. При максимальному діаметрі обробки у 381 мм та довжині до 533 мм, цей верстат дозволяє розмістити поршень із величезним запасом для маневрування револьверної головки. Таке співвідношення розмірів деталі та потужності верстата гарантує високу жорсткість системи, що критично важливо для отримання ідеальної геометрії юбки поршня та чистоти поверхні при роботі інструментом Sandvik на високих швидкостях.

Використання при цьому прогресивного різального інструменту компанії Sandvik Coromant серій CoroTurn та CoroCut дозволяє впровадити стратегію високошвидкісного різання, що забезпечує стабільну шорсткість поверхні на рівні Ra 0.63 при значному скороченні основного технологічного часу.

Запас простору в діаметрі дозволяє безперешкодно використовувати приводний інструмент для свердління отворів під палець, оскільки навіть довгі свердла Sandvik CoroDrill матимуть достатньо місця для відходу від деталі під час зміни інструменту. Оскільки довжина вашого поршня становить лише близько 105 мм, у робочій зоні залишається понад 400 мм вільної довжини, що повністю виключає ризик зіткнення задньої бабки або елементів захисту шпинделя з інструментальним блоком. Використання сучасного патрона Schunk ROTA NCK plus діаметром 210 мм також гармонійно вписується в цю конфігурацію, забезпечуючи надійне захоплення деталі без обмеження доступу різців до всієї довжини поршня за один установ.

Для реалізації концепції активного контролю розмірів у межах операції 010 на верстат Haas ST-20 встановлено вимірювальну систему Renishaw OMP40-2. Це дозволяє автоматизувати вимірювання критичних параметрів поршня безпосередньо в процесі обробки, замінюючи ручні заміри штангенциркулем ШЦ-1-125-01-1 та забезпечуючи автоматичну корекцію інструменту в закритому циклі.

Для промислового очищення поршнів у серійному виробництві найбільш доцільним вибором є професійна ультразвукова машина моделі TierraTech MOT-75. Це обладнання розроблене спеціально для потреб автомобільної та агрегатної промисловості, що ідеально вписується в контекст виготовлення деталей двигунів.

TierraTech MOT-75 — це ультразвукова ванна об'ємом 75 літрів, що дозволяє обробляти поршні партіями, забезпечуючи високу продуктивність дільниці.

					КНУ.КБР.131.26.1-06.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Завдяки кавітаційному ефекту ультразвуку, машина видаляє залишки МОР, дрібну алюмінієву стружку та нагар навіть із найбільш важкодоступних зон, таких як вузькі канавки під поршневі кільця та внутрішні порожнини бобишок. На відміну від механічного очищення, ультразвук діє делікатно, не пошкоджуючи прецизійні поверхні, оброблені інструментом Sandvik з високим класом точності. Модель оснащена цифровою панеллю керування, що дозволяє програмувати час обробки та температуру мийного розчину, забезпечуючи стабільність результату для всієї серії виробів. Наявність вбудованої системи відділення масла дозволяє значно подовжити термін служби мийного розчину, що знижує експлуатаційні витрати та покращує екологічність виробництва. Використання такої установки дозволяє повністю відмовитися від ручного промивання в тарі, яке було передбачено у застарілій технології, та забезпечує ідеальну чистоту деталей перед операціями фінішного контролю та розкатування.

Вибір вертикального оброблювального центру Naas VF-2 для виконання операції розкатування (обкатки) отворів поршня є технологічно обґрунтованим рішенням, спрямованим на досягнення еталонних показників точності та шорсткості поверхні. На відміну від застарілого вертикально-свердлильного верстата моделі 24050, що використовувався у базовому технологічному процесі, модель VF-2 забезпечує виняткову жорсткість шпиндельного вузла та станини. Це є критично важливим фактором для процесу розкатування, оскільки цей метод базується на пластичному деформуванні мікронерівностей поверхневого шару під значним радіальним тиском, що вимагає стабільності системи «верстат-пристосування-інструмент-деталь» для запобігання вібраціям та дробленню.

Висока точність позиціонування та повторюваності Naas VF-2 дозволяє повністю відмовитися від використання громіздких фізичних кондукторів, які були обов'язковими для фіксації координат у традиційній схемі. Програмне керування забезпечує ідеальну співвісність розкатки відносно попередньо виконаного отвору, що гарантує рівномірність зміцнення металу по всьому периметру бобишок поршня. Можливість прецизійного налаштування частоти обертання шпинделя та швидкості подачі з дискретністю до мікрона дозволяє технологі оптимізувати режим обробки під конкретні властивості сплаву АК12М2, забезпечуючи стабільне досягнення шорсткості Ra 0.63 та якості точності IT6–IT7.

Додатковою перевагою використання Naas VF-2 є можливість інтеграції в робочий цикл інтелектуальних систем моніторингу навантаження на шпиндель. Це дозволяє в реальному часі контролювати зусилля розкатування, що виключає ризик перенаклепу або розриву поверхневого шару алюмінію, забезпечуючи стабільно високу якість дзеркала отвору. Поєднання високої динаміки верстата з сучасним гідравлічним оснащенням Schunk перетворює фінішну операцію на високоефективний етап, що значно перевершує можливості універсального обладнання за продуктивністю та надійністю вихідних параметрів деталі. Таким чином, впровадження Naas VF-2 дозволяє не лише підвищити ресурс поршня за рахунок створення сприятливих залишкових напружень у металі, а й суттєво

					КНУ.КБР.131.26.1-06.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

знизити відсоток браку, характерний для ручного або напівавтоматичного обкатування.

Контрольний етап також підлягає цифровій трансформації. Для забезпечення прецизійного контролю геометричних параметрів поршня верхнього великого в умовах сучасного цифрового виробництва найдоцільнішим є впровадження координатно-виміральної машини (КВМ) моделі Zeiss DuraMax. Ця машина відноситься до класу цехових КВМ, що дозволяє розміщувати її безпосередньо поруч із оброблювальними центрами Haas, виключаючи необхідність транспортування деталей до спеціалізованих лабораторій та забезпечуючи миттєвий зворотний зв'язок для корекції параметрів обробки. Вибір Zeiss DuraMax обумовлений її здатністю ефективно замінити цілий арсенал застарілих механічних засобів вимірювання, таких як штангенциркулі ШЦ-1-125-01-1, калібр-пробки та спеціалізовані скоби, що використовувалися у традиційному технологічному процесі. Завдяки системі сканування Zeiss VAST XXT, машина з високою точністю контролює не лише лінійні розміри, а й складні параметри форми, зокрема овалність та бочкоподібність юбки поршня, а також точне взаємне розташування канавок під кільця та отворів бобишок. Технологічна перевага цієї моделі полягає в її стійкості до температурних коливань виробничого середовища, що гарантує стабільність результатів вимірювань без використання кліматичних камер. Програмне забезпечення Zeiss CALYPSO дозволяє автоматизувати процес контролю для всієї серії виробів, створюючи цифрові протоколи якості, які повністю замінюють ручне заповнення журналів контрольних операцій. Таким чином, впровадження КВМ Zeiss DuraMax завершує формування повністю інтегрованого та високотехнологічного ланцюжка виробництва, де кожен етап — від лиття під тиском до фінальної перевірки — відповідає вимогам індустрії 4.0.

Таблиця 2.3 – Верстати для обробки деталей поршень верхній великий

№ п/п	Номер операції	Верстат / обладнання
1	2	3
1	005 Ливарна	Машина лиття під тиском Buhler Carat 400
2	010 Токарна	Токарний центр Haas ST-20
3	015 Мийна	Ультразвукова мийна машина TierraTech MOT-75
4	020 Розкатувальна	Оброблювальний центр Haas VF-2
5	025 Випробувальна	Пневматичний стенд з ЧПК
6	030 Контрольна	КВМ Zeiss DuraMax

2.6 Вибір верстатних пристосувань

Замість застарілого кондуктора 7364-4010 та підставки 7362-4037 для операції 020 впроваджується сучасне автоматизоване пристосування — пневматичний центруючий лещатний блок Schunk KSP plus. Це оснащення

					КНУ.КБР.131.26.1-06.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

забезпечує постійне зусилля затискання та ідеальне центрування поршня відносно осі шпинделя, що є критичним для операції розкатування. Використання спеціальних фасонних губок, які повторюють геометрію поршня, дозволяє рівномірно розподілити тиск, запобігаючи деформації тонкостінних елементів деталі.

З боку інструментального оснащення для фіксації розкати в шпинделі Naas VF-2 замість стандартних патронів доцільно використовувати прецизійний гідропатрон Schunk TENDO. Гідравлічна система кріплення забезпечує максимальне гасіння мікрівібрацій та виключає радіальне биття інструменту, що дозволяє досягти стабільної шорсткості Ra 0.63 та точності отвору за якітетом IT6–IT7 при значно вищій швидкості подачі. Така інтеграція пневматичного затискного блоку та гідропатрона повністю усуває людський фактор при базуванні, скорочує час на встановлення деталі та перетворює розкатування на високоефективну фінішну операцію, інтегровану в загальну цифрову стратегію виробництва.

Таблиця 2.4 – Оснащення верстатів для обробки деталі поршень верхній великий

№ п/п	Номер операції	Оснащення / обладнання
1	2	3
1	005 Ливарна	Прес-форма з жароміцної сталі
2	010 Токарна	Прецизійний механізований патрон Schunk ROTA NCK plus 210, приводна револьверна головка (BMT65 або VDI), контактний вимірювальний щуп Renishaw OMP40-2
3	015 Мийна	—
4	020 Розкатувальна	Пневматичний centruючий лещатний блок Schunk KSP plus, прецизійний гідропатрон Schunk TENDO
5	025 Випробувальна	—
6	030 Контрольна	—

2.7 Вибір різального інструменту

Впровадження інструментального оснащення від світового лідера Sandvik Coromant є стратегічно обґрунтованим рішенням, яке базується на використанні передових марок твердих сплавів, спеціально оптимізованих для обробки алюмінієвих сплавів.

Висока ефективність обробки поршня верхнього великого досягається завдяки застосуванню пластин марок H10 та X2BL, що характеризуються винятковою гостротою різальної кромки та спеціалізованою геометрією стружколомів типу AL. Це запобігає налипанню в'язкого матеріалу на інструмент та гарантує стабільне досягнення шорсткості на рівні Ra 1.6 та Ra 6.3 згідно з вимогами технологічного процесу.

					КНУ.КБР.131.26.1-06.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Розрахунки, проведені в системі CoroPlus ToolGuide, демонструють, що машинний час обробки більшості елементів вимірюється ліченими секундами, що дозволяє повною мірою реалізувати динамічний потенціал верстатів Haas ST-20. Згідно з економічними звітами, використання даного інструменту забезпечує надзвичайно високий ресурс, що перевищує 10 000 функціональних елементів на одну пластину (а для деяких операцій — понад 60 000), мінімізуючи витрати на одиницю продукції та скорочуючи допоміжний час на переналагодження.

Окрім техніко-економічних показників, вибір Sandvik Coromant підтверджує орієнтацію виробництва на екологічність та енергоефективність, забезпечуючи низькі показники викидів вуглекислого газу та енерговитрат на кожен виготовлений компонент.

Таблиця 2.5 – Різальний інструмент для обробки деталі поршень верхній великий

№ Оп.	№ та зміст переходу	Інструментальний комплект	Час обробки (To), хв
1	2	3	4
010	1. Підрізання торця	Тримач SSDCR 2020K 09; Пластина SCGX 09 T3 08-AL H10	0,0033
010	2. Розточування отворів	Адаптер 570-20 40 283; Головка 570-SDXCR-40-11; Пластина DCGX 11 T3 08-AL H10	0,0568
010	3. Розточування отворів начисто		0,0051
	4. Точіння фаски		
010	5. Точіння профілю	Тримач SVVBN 2525M 16; Пластина VCGX 16 04 12-AL H10	0,0251
	6. Точіння фаски		
010	7. Точіння канавки	Тримач RF123T06-2020BM; Пластина N123T3-0200-RS 1125	0,0019
010	8. Розточування канавки	Тримач RF123T06-2020BM; Пластина N123T3-0300-RS 1125	0,0013
	9. Точіння фаски		
010	10. Свердління отвору	Мікросвердло 8621-2500-300A1-GM X2BL (CoroDrill 862)	0,0028

2.8 Вибір вимірювальних пристроїв та інструментів

Вибір засобів контролю базується на поєднанні оперативності та високої точності: штангенциркуль ШЦП-125-01-1 забезпечує перевірку припусків виливків на операції 005, тоді як контактний щуп Renishaw OMP40-2 автоматизує вимірювання безпосередньо в робочій зоні верстата Haas на операції 010. Для критичних етапів — розкатування (020) та фінального приймання (030) — впроваджено KBM Zeiss DuraMax, яка за допомогою сканувальної головки VAST ХХТ здійснює прецизійний 3D-аудит форми та взаємного розташування

					КНУ.КБР.131.26.1-06.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

поверхонь. Контроль герметичності на операції 025 реалізується через манометр М 0,6, що дозволяє візуально підтвердити цілісність металу під тиском. Такий комплексний підхід забезпечує повний перехід від ручного інструменту до цифрової системи управління якістю.

Таблиця 2.6 – Вимірюваний інструмент для обробки деталі поршень верхній великий

№ п/п	Номер операції	Оснащення / обладнання
1	2	3
1	005 Ливарна	Штангенциркуль ШЦП-125-01-1 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018
2	010 Токарна	Контактний вимірювальний щуп Renishaw OMP40-2
3	015 Мийна	—
4	020 Розкатувальна	Контрольно-вимірювальна машина (КВМ)Zeiss DuraMax Сканувальнаголовка Zeiss VAST XXT та набір прецизійних щупів
5	025 Випробувальна	Манометр М 0,6 ДСТУ EN 837-1: 2004
6	030 Контрольна	Контрольно-вимірювальна машина (КВМ)Zeiss DuraMax Сканувальнаголовка Zeiss VAST XXT та набір прецизійних щупів

2.9 Вибір схем базування

Визначення та обґрунтування технологічних баз є одним із фундаментальних та найбільш відповідальних етапів проектування технологічних процесів. Розроблення схем базування здійснюється відповідно до встановленої послідовності виконання операцій, суворо дотримуючись принципів єдності та сталості баз для забезпечення заданої точності обробки.

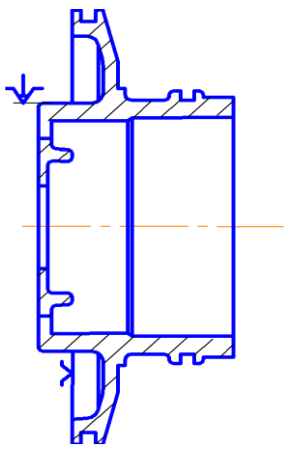
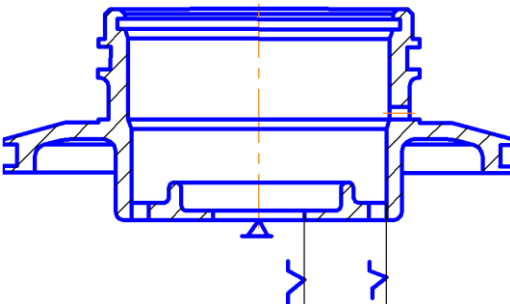
Проектування теоретичних схем базування виконано згідно з вимогами чинних державних стандартів (ДСТУ). При виборі первинної (чорнової) технологічної бази пріоритет надавався забезпеченню рівномірного розподілу припуску на найбільш відповідальні та прецизійні поверхні деталі.

Вибір схем базування та закріплення обґрунтовано аналізом нормативно-технічної та спеціалізованої довідникової літератури. Графічне представлення обраних рішень наведено у таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Схема базування поршня верхнього великого

Номер операції	Схема базування
----------------	-----------------

					КНУ.КБР.131.26.1-06.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

1	2
010 Токарна	
020 Розкатувальна	

2.10 Розроблення маршрутів виготовлення поршня

Проектування технологічного маршруту виготовлення поршня ґрунтується на інтеграції методів обробки окремих поверхонь з урахуванням серійності, обраних схем базування та кінематичного потенціалу сучасних оброблювальних центрів із ЧПК. Структура процесу представлена детермінованою послідовністю операцій із деталізованим описом змісту робіт та переліком технологічних переходів. Такий підхід забезпечує системну організацію виробничого циклу, гарантуючи високу технологічність та обґрунтованість запропонованої стратегії обробки. Повна структура ТП представлена у альбомі креслень КНУ.КБР.131.26.01-06.СЗТО.

2.11 Визначення припусків на обробку та операційних розмірів деталей

Ø

У машинобудівній практиці для визначення припусків на обробку використовують розрахунково-аналітичний та табличний методи. У даному проекті для найбільш відповідальної поверхні Ø52Н9 поршня верхнього великого припуск встановлено розрахунково-аналітичним методом, що дозволяє науково обґрунтувати точність обробки на обладнанні Naas. Припуски на решту поверхонь деталі визначено за нормативними довідниковими таблицями відповідно до розробленого технологічного маршруту.

					КНУ.КБР.131.26.1-06.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Згідно з розрахунково-аналітичним методом, величину мінімального міжопераційного припуску для кожного технологічного переходу обчислюють за наступною залежністю:

$$2Z_{\min} = 2(R_{z-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2});$$

де, R_{z-1} - висота мікронерівностей на попередньому переході; T_{i-1} - глибина дефектного шару; ρ_{i-1} - просторові відхилення; ε_{yi} - похибка установки, яка обчислюється:

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_0^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{np}^2}$$

де, ε_0 - похибка базування заготовки, ε_3 - похибка закріплення заготовки, ε_{np} - похибка пристосування.

Розрахунок припуску на механічну обробку поверхонь деталі «Поршень верхній великий» виконується з урахуванням її конструктивно-технологічної специфіки. Параметри розрахункової формули визначаються для заготовки, виготовленої методом лиття під тиском.

Для заготовки: R_{z-1} - 20 мкм; T_{i-1} - 140 мкм. Разом значення просторових відхилень становить:

$$\rho = \sqrt{\rho_1^2 + \rho_2^2};$$

де ρ_1 - питоме короблення отвору заготовки, мкм, ρ_2 - сумарне зміщення отвору виливка, мкм.

$$\rho_1 = \sqrt{(k \cdot d)^2 + (k \cdot l)^2}$$

де $k=0,7$ мкм/мм - питоме короблення виливка, $d=52$ мм – діаметр отвору, $l=12,6$ – довжина отвору, $\rho_1 = \sqrt{(0,7 \cdot 52)^2 + (0,7 \cdot 12,6)^2} = 321$ мкм, $\rho_2 = 250$ мкм. Тоді : $\rho = \sqrt{321^2 + 250^2} = 406,9$ мкм

Решта просторових відхилень будуть рівні: точіння напівчистове $\rho_1 = 0,06 \cdot \rho = 0,06 \cdot 406,9 = 25$ мкм, точіння чистове $\rho_2 = 0,05 \cdot \rho = 0,05 \cdot 406,9 = 21$ мкм.

Похибка встановлення тоді обчислюється:

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_0^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{np}^2}$$

де ε_0 – похибка базування; ε_3 – похибка закріплення; ε_{np} – похибка пристрою.

Таблиця 2.8 – Операційні припуски на обробку поверхні Ø52Н9

					КНУ.КБР.131.26.1-06.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Технологічний перехід	Елементи припуску				Z_{min} , мкм	Розрахунковий розмір заготовки d_p , мм	Допуск на розмір, δ , мм	Граничний розмір заготовки, мм		Граничне значення припуску, мм	
	Rz	T	ρ	ϵ				d_{min}	d_{max}	$2Z_{min}$	$2Z_{max}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Заготовка	20	140	406,9	-	-	50,795	0,74	50,055	50,795	-	-
Точіння напівчистове	18	30	24,41	0	1334	51,929	0,3	51,63	51,93	1,134	1,574
Точіння чистове	15	20	20,35	0	145	50,074	0,07	52,00	52,07	0,145	0,371
Усього										1,279	1,945

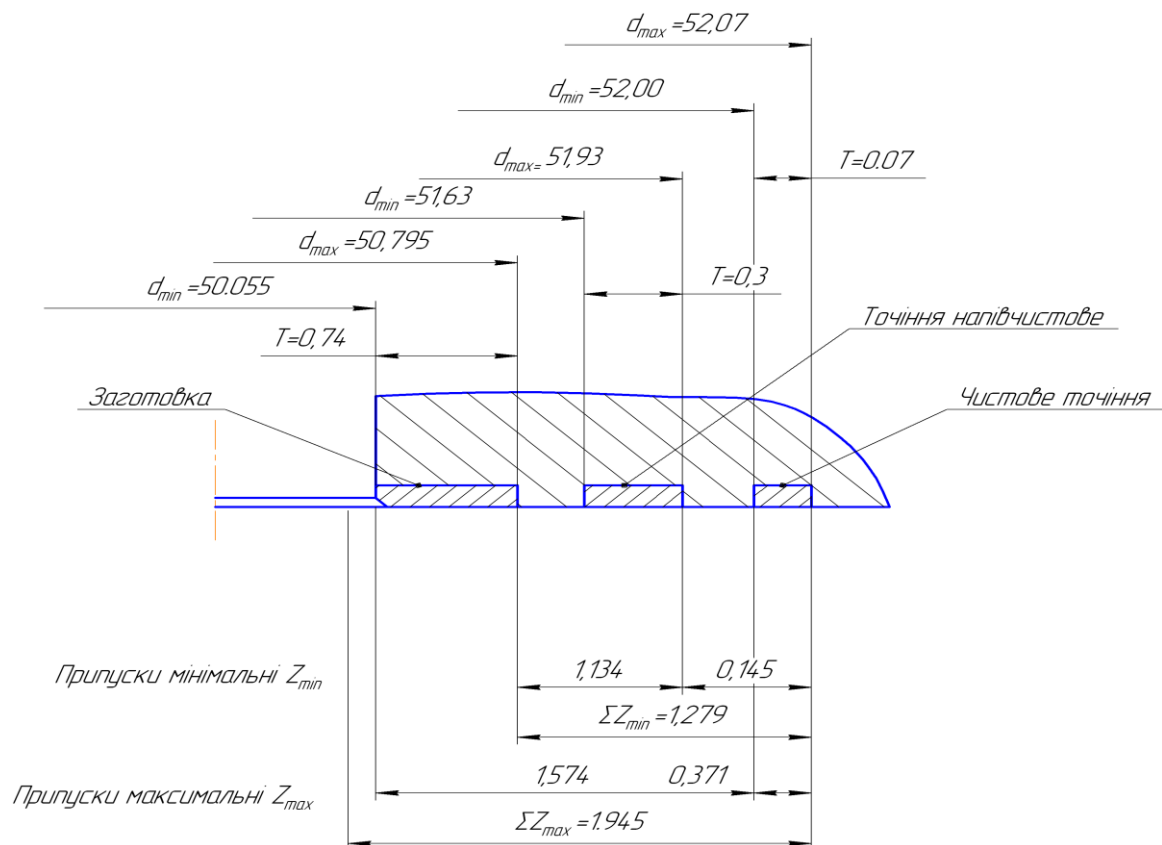


Рисунок 2.1 – Схема графічного розташування припусків і допусків на обробку поверхні поршня верхнього великого Ø52Н9

При обробці на верстаті з ЧПК деталь встановлюється в трикулачковий патрон, тому похибка базування $\epsilon_\delta = 0$. Похибка закріплення $\epsilon_z = 50$ мкм.

У середньосерійному виробництві вважається, що пристосування вчасно контролюється і підлягає ремонту, тому $\epsilon_{pr} = 0$. Виходячи з цього похибка встановлення $\epsilon_u = 50$ мкм. Результати розрахунків занесені до таблиці 2.9.

					КНУ.КБР.131.26.1-06.02.ТЧ		Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата			

Верифікація розрахунків здійснюється шляхом порівняльного аналізу різниці допусків на розмір та різниці граничних значень припусків. Повний збіг показника різниці допусків у 0,666 мм із відповідною різницею між максимальним та мінімальним значеннями припуску свідчить про методичну коректність проведених обчислень. Графічну інтерпретацію отриманих результатів для поверхні 52Н9 наведено на схемі рисунка 2.1.

Таблиця 2.9 – Припуски на обробку поверхонь поршня верхнього великого

Поверхня		Технологічний перехід	Припуск, мм
1	2	3	4
Отвір	Ø52Н9	Точіння напівчистове	0,7
		Точіння чистове	0,3
Отвір	Ø54Н9	Точіння напівчистове	1
		Точіння чистове	0,7
Канавка	4,4Н11	Точіння чистове	0,6
Зовнішня поверхня	Ø103,5h9	Точіння чистове	0,6
Торець	42h11	Точіння чистове	0,4
Канавка	2Н11	Точіння чорнове	2
Зовнішня поверхня	64,7Н9	Точіння чистове	0,4
Внутрішня поверхня	55Н11	Точіння чистове	0,5

2.12 Нормування операцій

Таблиця 2.10 – Норми часу на обробку поршня

Назва операції / Група переходів	Основний час T _{осп} , хв	Допоміжний час T _{доп} , хв	Штучний час T _{шт} , хв
1	2	3	4
010 Токарна з ЧПК (Haas ST-20)	0.096	1.50	1.72
015 Мийна (TierraTech MOT-75)	0.15	0.05	0.22
020 Розкатувальна (Haas VF-2)	0.58	0.80	1.49
025 Випробувальна (Пневмостенд)	1.00	0.40	1.51
030 Контрольна (Zeiss DuraMax)	0.035	0.012	0.05

Перехід до стратегії вибіркового контролю у сучасному серійному виробництві дозволяє значно оптимізувати часові витрати без втрати якості продукції. Застосування координатно-виміральної машини Zeiss DuraMax для операції 030 базується на принципах статистичного керування процесами (SPC), де детальна перевірка геометрії проводиться лише для однієї деталі з певної вибірки (наприклад, 1:100). Такий підхід зумовлений високою стабільністю

					КНУ.КБР.131.26.1-06.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

роботи верстатів Haas ST-20 та передбачуваністю зносу інструменту Sandvik Coromant, що дозволяє рівномірно розподілити час одного повного циклу вимірювання на всю партію. Подібна логіка застосована і до мийної операції 015, де ультразвукова машина TierraTech MOT-75 обробляє деталі групами, що суттєво знижує питому частку часу на один поршень.

Сумарний штучний час обробки деталі за оновленою методикою становить 4.99 хв, що відображає реальну продуктивність сучасної автоматизованої дільниці.

					КНУ.КБР.131.26.1-06.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Перевірка поршня на міцність

Застосування методів комп'ютерного моделювання та скінченно-елементного аналізу дозволяє отримати детальну картину напружено-деформованого стану виробу без необхідності виготовлення та випробування дороговартісних натурних прототипів. Це значно прискорює процес проектування та дає можливість виявити потенційні слабкі місця в конструкції ще на ранніх етапах розробки. Традиційні інженерні методи розрахунку часто не враховують складну конфігурацію поршня, яка містить численні переходи діаметрів, внутрішні порожнини та спеціальні канавки під ущільнювальні манжети. Саме в таких зонах зміни геометрії зазвичай виникають концентратори напружень, які можуть призвести до втомного руйнування або пластичної деформації матеріалу під дією пневматичного тиску.

Використання SolidWorks Simulation надає можливість змоделювати реальні умови взаємодії поршня з іншими компонентами клапана, зокрема врахувати супротив поворотної пружини та обмежувальні властивості корпусу. Розрахунок дозволяє підтвердити раціональність використання обраного алюмінієвого ливарного сплаву та переконатися, що при заданому робочому тиску напруження в тілі деталі не наближаються до небезпечних меж. Таким чином, віртуальне дослідження стає необхідним етапом для наукового підтвердження технічних рішень та гарантування довговічності вузла при пневматичних навантаженнях.

Вибір матеріалу 356.0-T6 (рис. 3.1) із вбудованої бібліотеки для моделювання поршня зі сплаву АК12МЗ є цілком прийнятним завдяки високій подібності їхніх ключових фізико-механічних властивостей. Обидва метали належать до класу ливарних алюмінієво-кремнієвих сплавів і мають майже ідентичні показники модуля пружності та коефіцієнта Пуассона, що критично важливо для правильного відтворення поведінки деталі під дією тиску. Показник межі текучості обраного аналога, який складає 152 МПа, максимально наближений до верхньої межі характеристик вітчизняного сплаву АК12МЗ, що дозволяє отримати достовірні результати при аналізі напружень та визначенні коефіцієнта запасу міцності. Така заміна в програмному середовищі вважається стандартною інженерною практикою, оскільки вона забезпечує необхідну точність розрахунку та дозволяє об'єктивно оцінити працездатність конструкції пневмоклапана без внесення суттєвих похибок у кінцеві результати симуляції.

Для науково обґрунтованого обчислення поршня було сформовано систему граничних умов, що максимально повно відтворюють кінематику та динаміку роботи реального пневматичного вузла.

					<i>КНУ.КБР.131.26.1-06.03.КЧ</i>			
<i>Змін.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ Документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Конструкторська частина</i>			
<i>Розроб.</i>	<i>Матвієнко</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-23ск</i>		

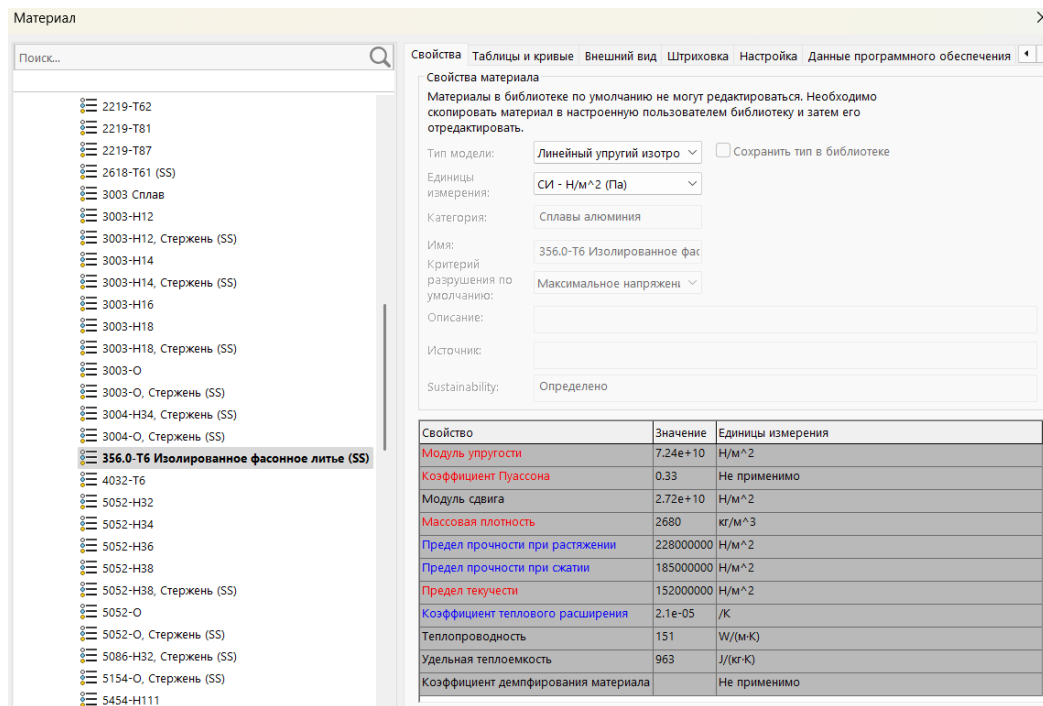


Рисунок 3.1 – Властивості матеріалу обраного в SolidWorks із метою обчислення

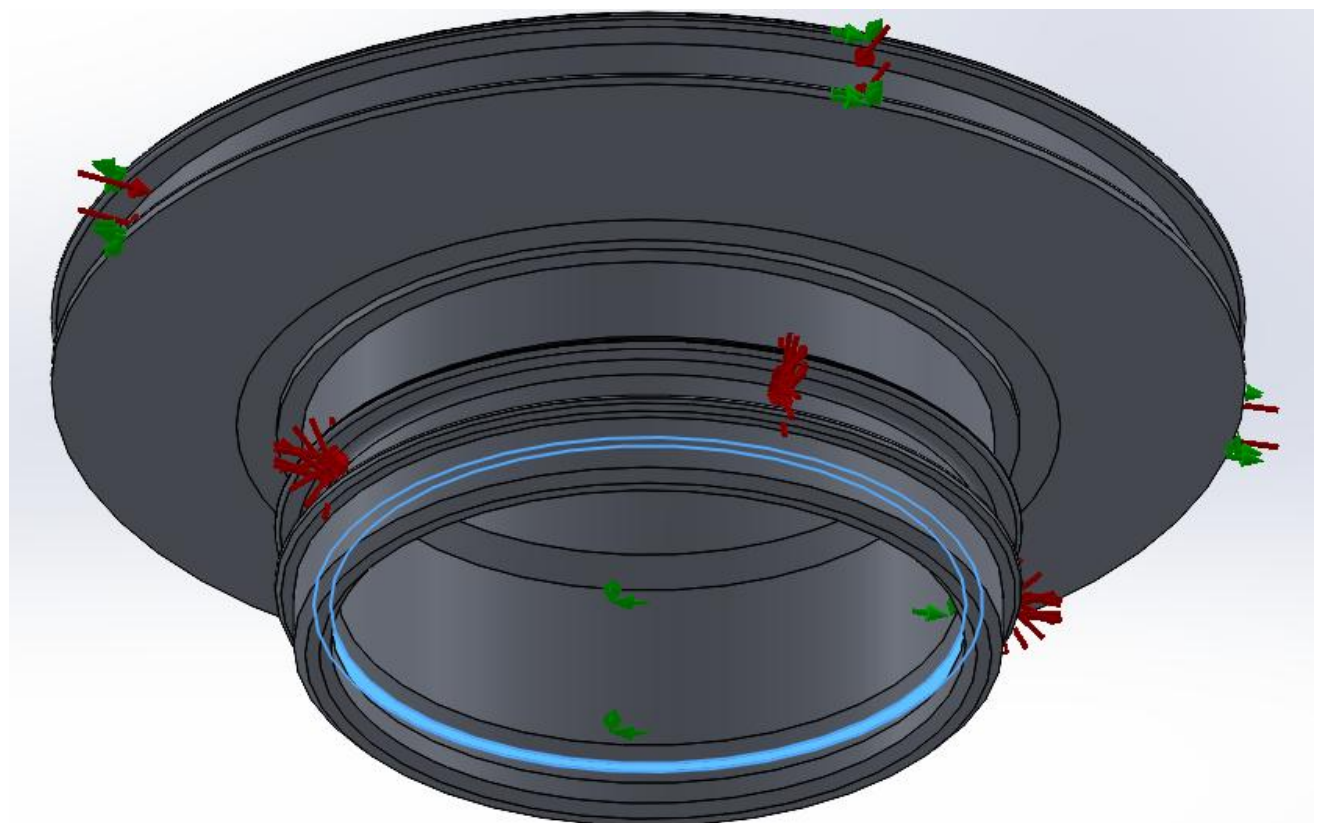


Рисунок 3.2 – Кріплення в SolidWorks. Блакитна площина – Elastic Support, на циліндричних гранях – зелені стрілочки

Основним елементом, що забезпечує рівновагу системи під дією пневматичного тиску, є пружна гранична умова типу Elastic Support (рис. 3.2) із заданою питомою жорсткістю $1,62 \cdot 10^6$ (Н/м)/м². Ця опора локалізована на нижній

горизонтальній кільцевій площині канавки, призначеної для встановлення упорного кільця, що дозволяє адекватно моделювати передачу реактивного зусилля від поворотної пружини на корпус деталі. Таке розміщення пружного елемента відповідає фізичній взаємодії компонентів у зборі та забезпечує коректний розподіл стискальних напружень у нижній частині поршня.

Для виключення ступенів вільності, що не відповідають робочому процесу, та забезпечення статичної визначеності математичної моделі було використано спеціалізовані кріплення «На циліндричних гранях». Зокрема на зовнішній поверхні юбки поршня та на внутрішній циліндричній поверхні центрального отвору, яким деталь базується на штоку, було повністю обмежено радіальне зміщення та кутове обертання навколо головної осі. Це дозволило змоделювати напрямну функцію корпусу та штока, гарантуючи суворе осьове центрування поршня в процесі його деформації. Поєднання пружної опори на торцевій поверхні та жорсткої фіксації радіальних рухів на напрямних гранях створило умови, за яких деталь сприймає навантаження як реальний рухомий елемент пневмопривода, що забезпечує високу достовірність отриманих значень внутрішніх напружень та переміщень.

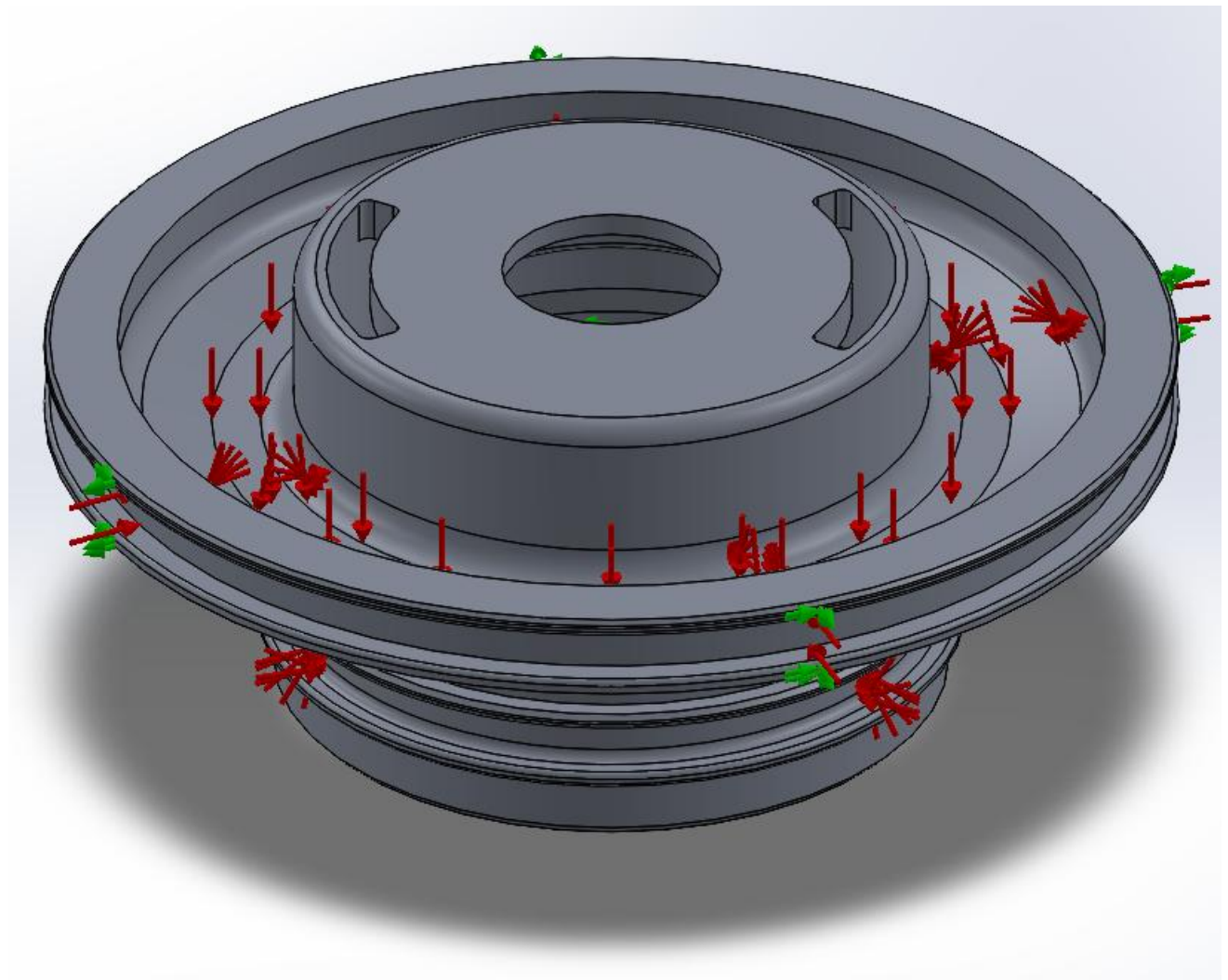


Рисунок 3.3 – Навантаження тиску (червоні стрілочки)

					КНУ.КБР.131.26.1-06.03.КЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Основним зовнішнім чинником, що зумовлює виникнення напружень та переміщень у досліджуваній моделі, є активне пневматичне навантаження (рис. 3.3), яке імітує реальні умови роботи вузла під час гальмування. Це навантаження було реалізовано у вигляді рівномірно розподіленого тиску, прикладеного до верхніх робочих поверхонь поршня, що безпосередньо контактують із порожниною стиснутого повітря в корпусі клапана. Відповідно до регламентованих параметрів випробувань та технічних характеристик апарата, значення тиску було прийнято рівним 800 МПа, що відповідає номінальному робочому тиску пневматичної системи транспортного засобу.

Вектори прикладання сили спрямовані перпендикулярно до обраних граней, що дозволяє програмі максимально точно розрахувати результувальне зусилля, яке намагається перемістити поршень уздовж його головної осі. Окрім основної верхньої площини, тиск було також поширено на допоміжні кільцеві поверхні виступів, що знаходяться вище зон ущільнення, оскільки стиснуте повітря заповнює весь об'єм над манжетами. Така схема навантаження створює умови для стискання матеріалу та одночасного вигину периферійної частини поршня відносно його центральної осі, яка спирається на поворотну пружину.

Взаємодія прикладеного пневматичного тиску із раніше описаними граничними умовами дозволила змодельовати стан динамічної рівноваги, де зовнішня сила повітря врівноважується реакцією пружної опори. Це забезпечило можливість аналізу напружено-деформованого стану поршня не просто як статичної деталі, а як функціонального елемента, що сприймає силовий вплив робочого тіла у процесі виконання своєї основної технологічної функції. Отримані результати підтверджують, що обрана величина тиску спричиняє деформації, які залишаються в межах пружної зони матеріалу, що є ключовим показником надійності конструкції при тривалій експлуатації.

Study name	Static 1* (-Default-)
DetailsMesh type	Solid Mesh
Mesher Used	Blended curvature-based mesh
Jacobian points for High quality mesh	4 points
Max Element Size	6,04901 mm
Min Element Size	0,302451 mm
Mesh quality	High
Total nodes	317455
Total elements	188130
Maximum Aspect Ratio	98,672
Percentage of elements with Aspect Ratio < 3	95,6
Percentage of elements with Aspect Ratio > 10	0,00372
Percentage of distorted elements	0,0117
Number of distorted elements	22
Reuse mesh for identical bodies	Off
Number of bodies that have reused mesh	0
Time to complete mesh(hh:mm:ss)	00:00:23

Рисунок 3.4 — Параметри та статистичні дані скінченно-елементної сітки поршня

					КНУ.КБР.131.26.1-06.03.КЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

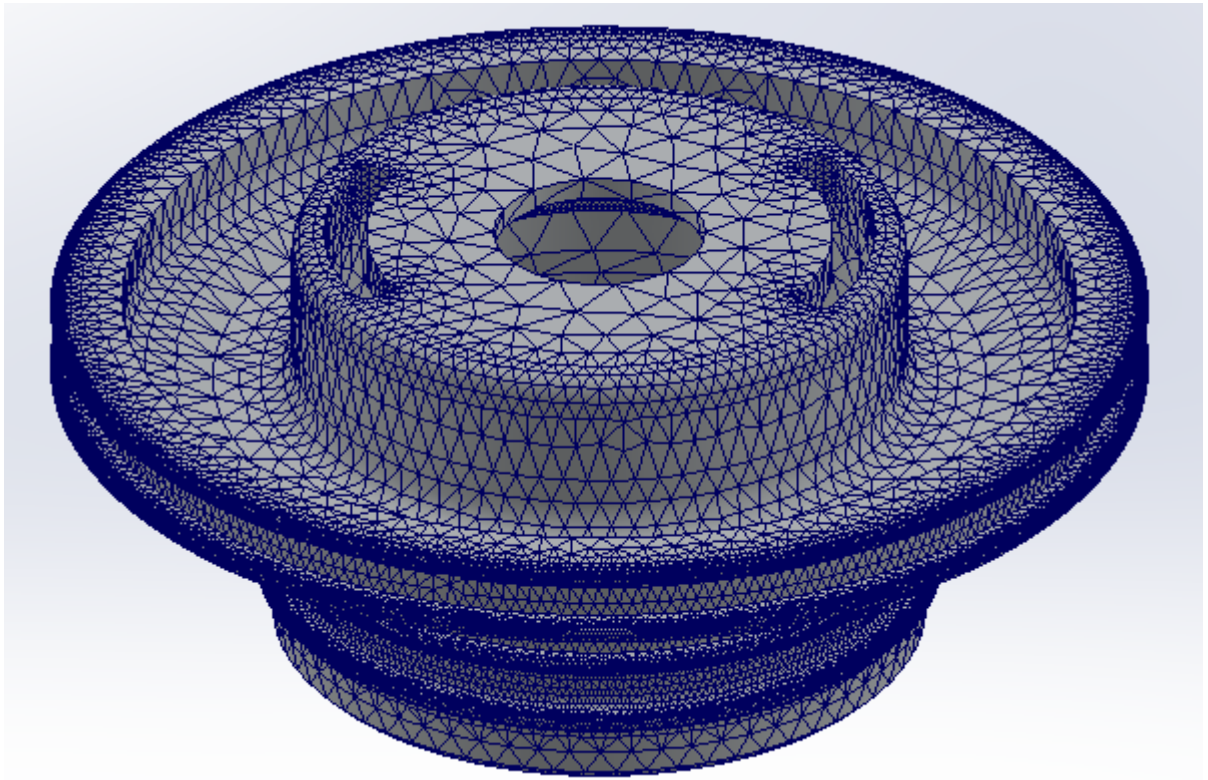


Рисунок 3.5 — Візуалізація дискретизації 3D-моделі поршня скінченно-елементною сіткою

Скінченно-елементна сітка побудована з використанням алгоритму на основі змішаної кривини, що дозволяє максимально точно відтворити складну геометрію поршня з його численними скругленнями та технологічними канавками. Загальна кількість вузлів перевищує 317 тисяч, а кількість елементів сягає майже 190 тисяч, що забезпечує високу роздільну здатність розрахунку та гарантує стабільну збіжність результатів.

Аналіз геометричних показників свідчить про високу якість сітки, оскільки понад 95% елементів мають оптимальне співвідношення сторін, а кількість спотворених елементів є мізерною відносно загального масиву. Така щільна та регулярна структурна розрахункової моделі дозволяє детально дослідити зони концентрації напружень у радіусах переходів, забезпечуючи високу достовірність отриманих даних про міцність виробу.

Згідно з отриманою епюрою (рис. 3.6), максимальне значення еквівалентних напружень за Мизесом становить 64,628 МПа, що локалізується в зонах внутрішніх радіусних переходів та біля центрального отвору. Враховуючи, що межа текучості обраного алюмінієвого сплаву складає 152 МПа, виникаючі напруження є значно нижчими за критичний поріг, що гарантує відсутність пластичних деформацій у металі.

Переважна частина об'єму деталі знаходиться в зоні низьких напружень, що становить менше 15% від допустимої межі, забезпечуючи високу жорсткість конструкції при виконанні робочого ходу. Розрахунковий коефіцієнт запасу міцності за результатами симуляції становить 2,35, що є оптимальним показником

					КНУ.КБР.131.26.1-06.03.КЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

для апаратів гальмівної системи. Такий рівень запасу дозволяє компенсувати можливі динамічні перевантаження в пневмолініях та враховує природну неоднорідність ливарної структури сплаву АК12М3, підтверджуючи повну придатність поршня до експлуатації в складі клапана управління гальмами причепа.

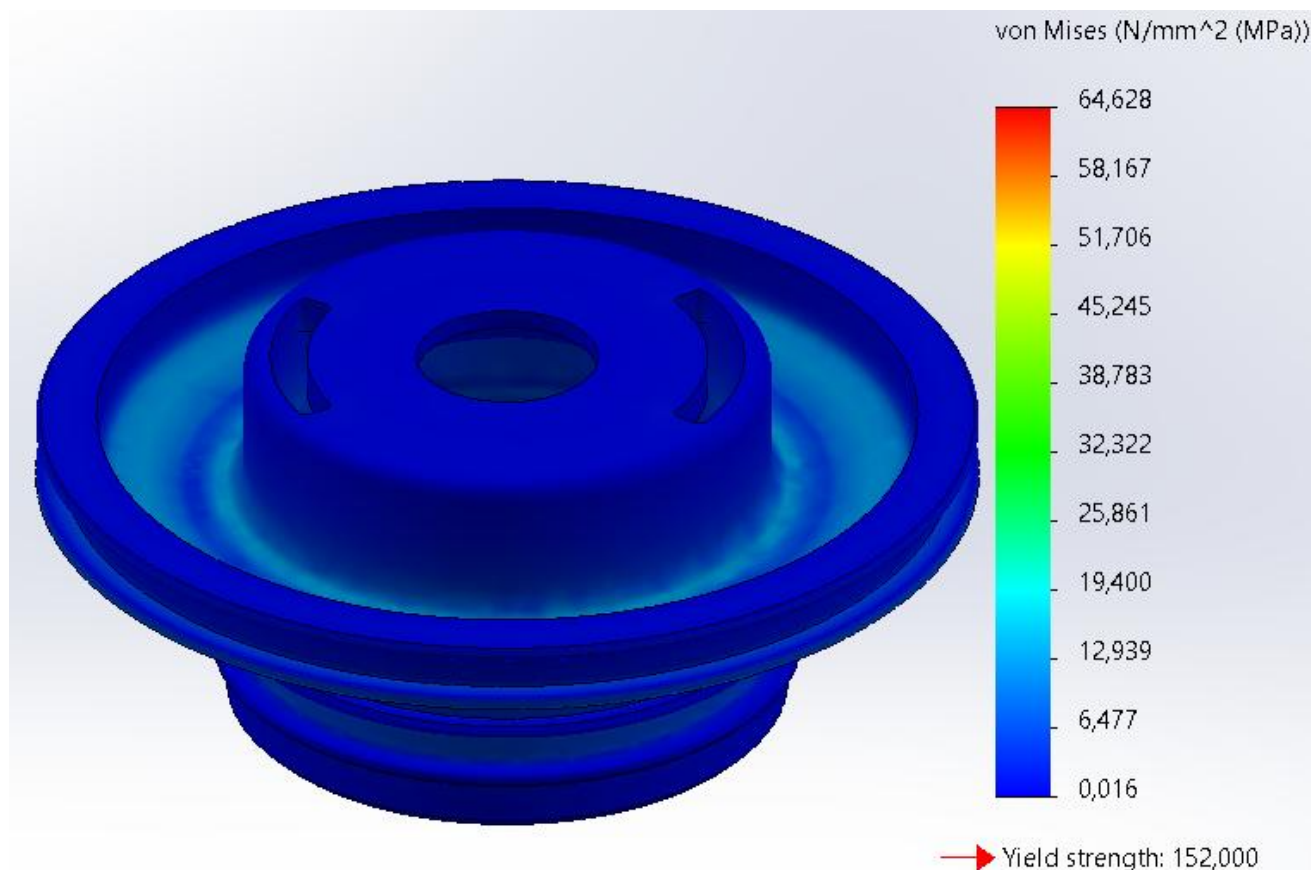


Рисунок 3.6 — Епюра розподілу еквівалентних напружень за Мізесом у тілі поршня

Аналіз результатів переміщень (рис. 3.7) дозволяє оцінити відповідність математичної моделі реальній кінематичній схемі роботи гальмівного апарата. Максимальне значення сумарного переміщення становить 10,974 мм, що практично повністю збігається з конструктивним робочим ходом поршня, передбаченим технічною документацією на клапан керування гальмами причепа. Отримане значення підтверджує, що зусилля від пневматичного тиску в 0,8 МПа повністю врівноважується опором поворотної пружини, забезпечуючи стабільний стан рівноваги в кінцевій точці ходу.

Характер розподілу кольорових зон на епюрі вказує на рівномірне осьове зміщення деталі без виражених перекосів. Слід звернути увагу, що різниця між максимальним та мінімальним значеннями переміщень у тілі поршня становить лише 0,009 мм, що свідчить про надзвичайно високу власну жорсткість конструкції. Це означає, що деталь переміщується в просторі практично як жорстке ціле, а її власна деформація є мізерною порівняно з величиною загального ходу. Така стабільність геометричної форми гарантує правильне функціонування

					КНУ.КБР.131.26.1-06.03.КЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

ущільнювальних манжет у канавках та забезпечує високу точність спрацьовування всього пневматичного механізму в реальних умовах експлуатації.

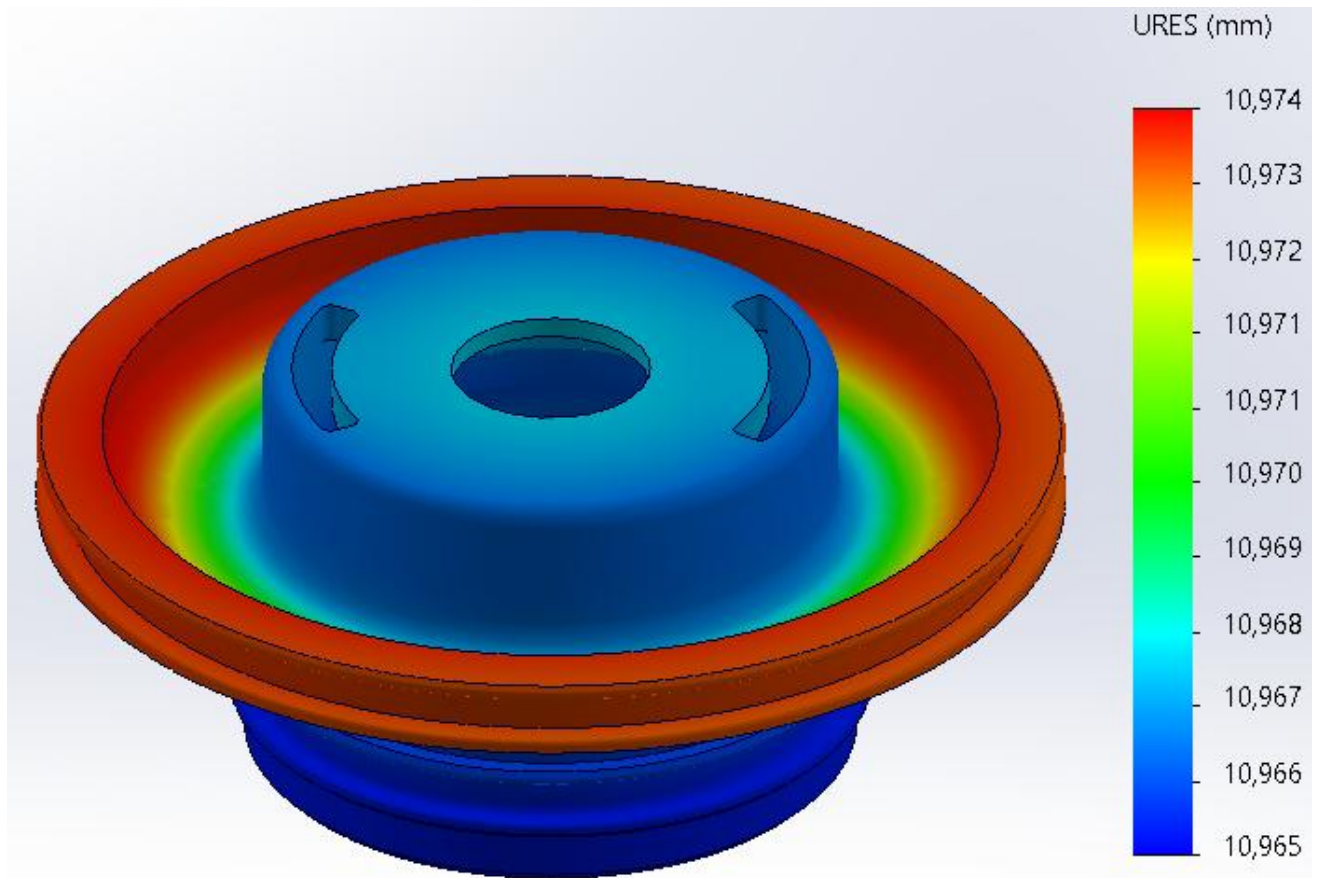


Рисунок 3.7 — Епюра сумарних переміщень поршня під дією робочого навантаження

Епюра Design Insight дозволяє візуалізувати найбільш навантажені ділянки об'єму деталі, які формують основний «силовий каркас» конструкції. У даному випадку синім кольором виділено зони, через які передається переважна частина зусиль від пневматичного тиску до опорних елементів. Аналіз зображення показує, що критичний шлях навантаження зосереджений у кільцевій зоні переходу від верхнього днища поршня до його нижньої циліндричної частини. Це підтверджує раціональність обраної геометричної форми, оскільки саме в цій області матеріал працює найбільш ефективно, забезпечуючи передачу зусилля від робочого тіла до поворотної пружини.

Наявність неперервного синього кільця свідчить про рівномірний розподіл напружень по периметру поршня та відсутність небезпечних локальних концентраторів, що могли б призвести до руйнування. Напівпрозорі ділянки моделі, які не увійшли до виділеної зони, сприймають значно менші навантаження, що теоретично відкриває можливості для подальшої оптимізації маси виробу. Однак, враховуючи технологію виготовлення методом лиття зі сплаву АК12МЗ, поточні товщини стінок є обґрунтованими з точки зору ливарних властивостей та необхідної загальної жорсткості вузла. Дана епюра є важливим

					КНУ.КБР.131.26.1-06.03.КЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

науковим підтвердженням того, що конструкція поршня спроектована з дотриманням принципів рівномірності та ефективного використання матеріалу.

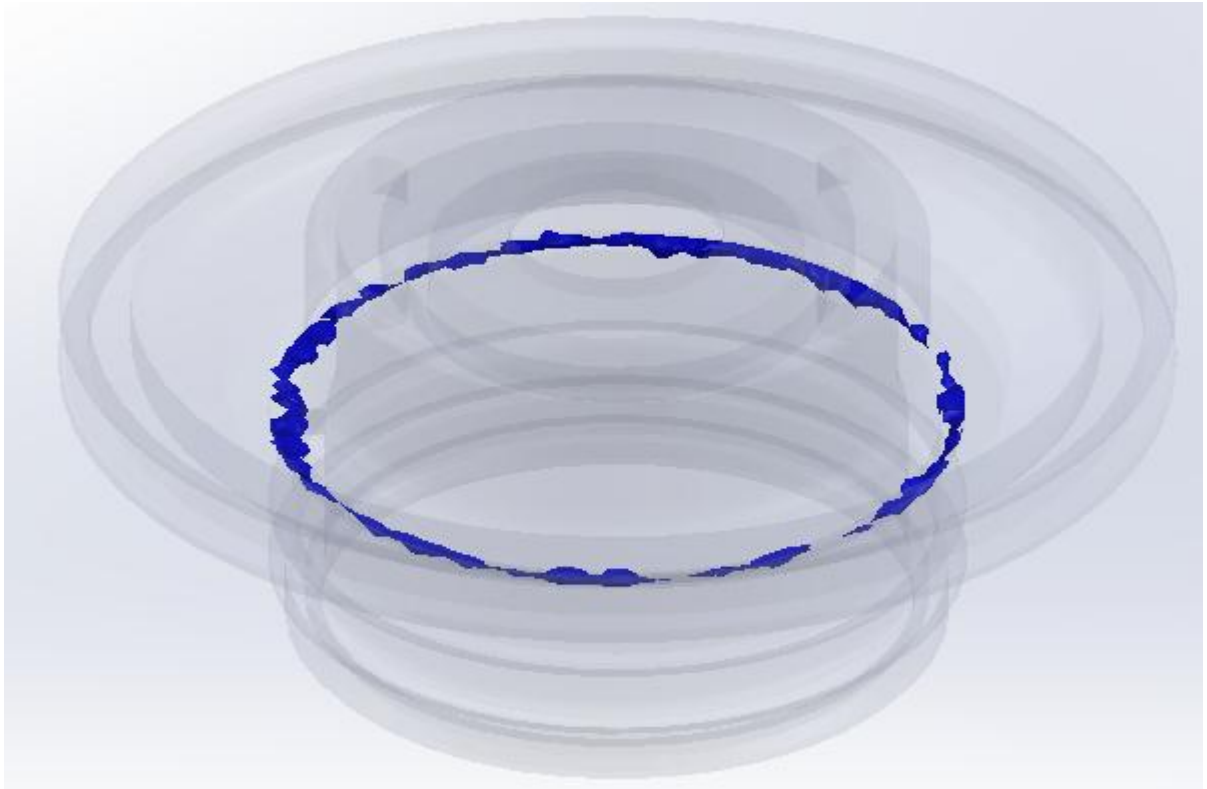


Рисунок 3.8 — Епюра Design Insight розподілу навантаження у тілі поршня

Підсумовуючи результати проведеного аналізу, можна стверджувати про повну конструктивну відповідність поршня функціональним вимогам пневматичної системи. Виявлений характер розподілу внутрішніх зусиль та величина стабільного робочого ходу свідчать про те, що обрана товщина стінок та конфігурація радіусних переходів є оптимальними для сприйняття робочих навантажень. Сформована розрахункова модель довела, що поєднання ливарного сплаву з даною геометричною формою створює надійний механічний бар'єр проти руйнування, зберігаючи при цьому високу геометричну стабільність, необхідну для забезпечення герметичності вузла. Таким чином, результати віртуальних випробувань повністю верифікують прийняті інженерні рішення та підтверджують здатність деталі гарантувати безперебійну роботу клапана керування гальмами в реальних умовах експлуатації.

3.2 Розробка конструкції контрольного пристрою

Пристосування КНУ.КБР.131.26.1-06.ПК було розроблено для контролю радіального биття деталі поршень верхній великий.

					КНУ.КБР.131.26.1-06.03.КЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

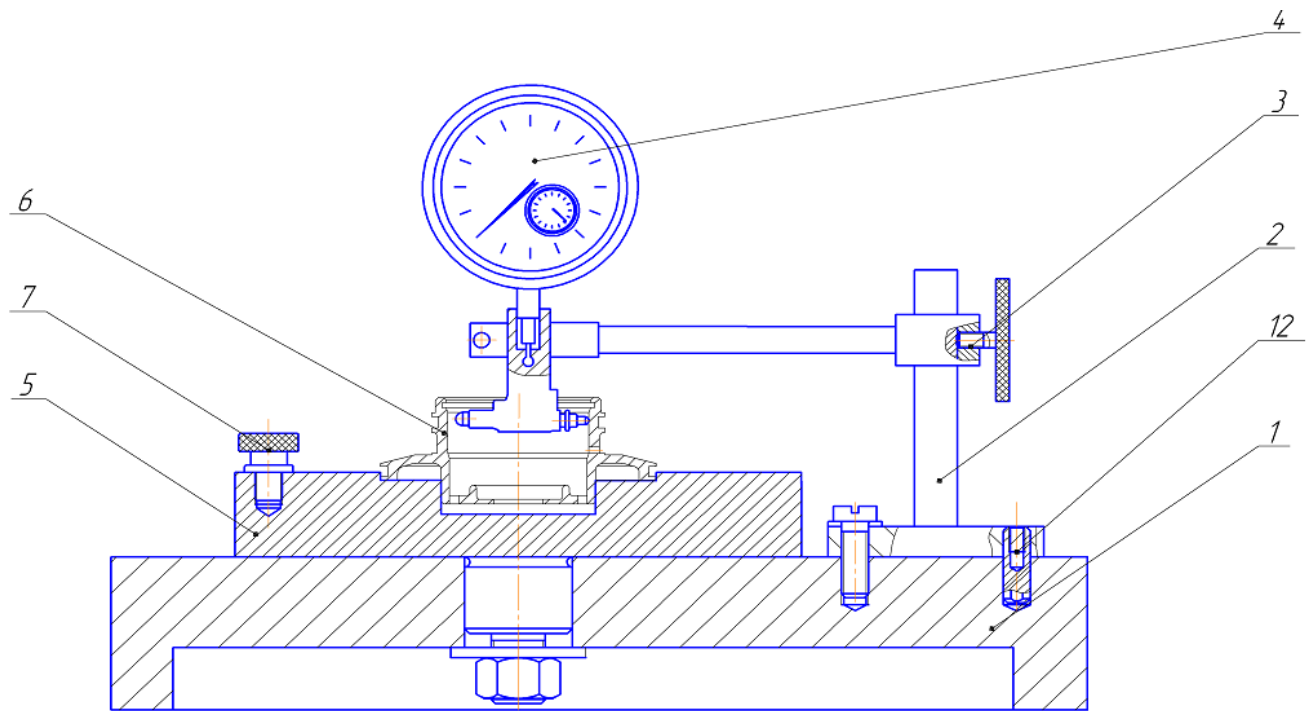


Рисунок 3.9 – Контрольне пристосування

Конструктивне виконання даного контрольного пристрою базується на основі 1, яка слугує фундаментом для монтажу вертикальної стійки 2, оснащеної спеціальним фіксатором 3. Саме на цій стійці розміщується вимірювальний вузол, до складу якого входить індикатор 4 та супутнє обладнання для аналізу точності поверхонь. Для забезпечення базування об'єкта контролю на основі 1 передбачена плита 5, а ручне приведення деталі в рух реалізується через рукоятку 7.

Методика експлуатації пристосування передбачає встановлення досліджуваного виробу в робочу зону плити 5, де забезпечується його стабільне обертання навколо власної осі за допомогою маніпуляцій з ручкою 7. Під час цього процесу вимірювальний наконечник індикатора 4 безперервно контактує з верхньою циліндричною поверхнею великого діаметра, що дозволяє зафіксувати відхилення та визначити фактичне радіальне биття поршня. Після фіксації результатів перевірки виріб вилучається з плити, а на його місце монтується наступна деталь для проведення аналогічного вимірювального циклу, що забезпечує безперервність процесу контролю в умовах виробництва.

Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата

КНУ.КБР.131.26.1-06.03.КЧ

Аркуш

4 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА

4.1 Охорона праці та екологія виробництва

4.1.1 Забезпечення безпечного виробничого середовища та мінімізація професійних ризиків у технологічному циклі виготовлення поршня

Організація сучасного високотехнологічного виробництва поршнів для пневматичних систем потребує системного підходу до формування безпечних умов праці, що базується на детальному аналізі взаємодії персоналу з автоматизованим обладнанням. Процес механічної обробки заготовок із алюмінієвого сплаву АК12МЗ на токарних та фрезерних центрах з числовим програмним керуванням Haas ST-20 та VF-2 супроводжується впливом низки фізичних чинників, серед яких провідне місце посідає небезпека механічного травмування рухомими частинами верстатів. Висока швидкість обертання шпинделя та значні сили різання створюють високу кінетичну енергію, тому базовим заходом безпеки є використання повністю закритих робочих зон із електричним блокуванням дверей, що унеможливорює доступ оператора до зони різання під час виконання керуючої програми. Окрему увагу слід приділити процесу утворення та відведення алюмінієвої стружки, яка через свою гостроту та високу температуру в момент відриву може спричинити серйозні пошкодження шкіри та очей, що вимагає безперебійної роботи систем стружковидалення та використання спеціалізованих захисних екранів.

Поряд із механічними загрозами, значний вплив на стан здоров'я працюючих мають хімічні чинники, пов'язані з інтенсивним використанням мастильно-охолоджувальних рідин. У процесі високошвидкісної обробки алюмінію відбувається термічне розкладання та розпилення компонентів технологічних середовищ, що призводить до утворення в повітрі робочої зони дрібнодисперсного масляного туману та парів. Постійне вдихання таких аерозолів без належної фільтрації може спричинити захворювання дихальних шляхів, тому передбачається обов'язкове встановлення локальних систем очищення повітря безпосередньо на верстатах та підтримання ефективного повітрообміну через загальноцехову припливно-витяжну вентиляцію. Крім того, прямий контакт шкіри оператора з хімічними агентами при встановленні заготовок або обслуговуванні обладнання потребує застосування засобів індивідуального захисту у вигляді спеціальних рукавиць та захисних кремів, що запобігають виникненню професійних дерматитів.

Важливим аспектом безпеки на дільниці є контроль фізичних параметрів середовища, зокрема рівнів шуму та вібрації, що генеруються приводом шпинделя та роботою компресорної установки. Тривалий вплив акустичного тиску, який

					КНУ.КБР.131.26.1-06.04.0ЕПВ					
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата						
Разроб.		Матвієнко			Організаційно-економічна підготовка виробництва			Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Кравцова								
Н. Контр.		Нечаєв						Кафедра ТМ гр. ПМ-23ск		
Затверд.		Рязанцев								

перевищує встановлені норми, призводить до швидкої втомлюваності персоналу та зниження уваги, що створює передумови для аварійних ситуацій. Для нейтралізації цього чинника застосовуються засоби колективного захисту у вигляді звукоізолюючих кожухів верстатів та індивідуальні антифони для персоналу, який перебуває у зоні роботи обладнання протягом тривалої зміни. Особливу специфіку має експлуатація ультразвукової мийної машини Tierra Tech MOT-75, де крім хімічного впливу миючих розчинів, виникає ризик впливу на організм високочастотних коливань та можливих опіків при контакті з підігрітою рідиною, що вимагає суворого дотримання регламенту завантаження деталей у кошики та використання термічно стійкого спецодягу.

Електробезпека при роботі з промисловим обладнанням Haas та Zeiss, що живиться від трифазної мережі з напругою 400 Вольт, є критичним елементом охорони праці. Будь-яке порушення ізоляції або відсутність надійного заземлення корпусів верстатів може призвести до ураження електричним струмом, тому стратегія захисту передбачає регулярне проведення вимірювань опору ізоляції та встановлення пристроїв захисного вимкнення, які миттєво знеструмлюють систему при виявленні струмів витоку. Крім того, організаційні заходи передбачають чітке розмежування доступу до електроцитів та проведення інструктажів для персоналу щодо дій у разі виникнення позаштатних ситуацій з електрообладнанням.

У контексті ергономіки виробничого процесу варто зазначити необхідність раціональної організації робочих місць для мінімізації статичного навантаження на опорно-руховий апарат операторів ЧПК. Постійне спостереження за процесом через оглядове вікно та маніпуляції з панеллю керування потребують оптимального розміщення органів управління та використання антивібраційних килимків у робочій зоні. Завершальним етапом системи охорони праці є впровадження суворого протоколу вхідного та періодичного медичного контролю, а також постійне навчання персоналу методам безпечного виконання робіт, що у сукупності з технічними засобами захисту забезпечує досягнення нульового рівня травматизму на дільниці з виготовлення поршнів. Такий комплексний підхід гарантує не лише збереження здоров'я працівників, але й стабільно високу якість виготовлення деталей пневмоапаратів через відсутність людського чинника в аварійних ситуаціях.

4.1.2 Вплив виробництва на довкілля та заходи з його мінімізації

Сучасне машинобудівне підприємство, що спеціалізується на випуску прецизійних деталей пневматики, повинно базувати свою діяльність на принципах екологічної відповідальності та мінімізації техногенного впливу на навколишнє природне середовище. У процесі виготовлення поршня з алюмінієвого ливарного сплаву АК12М3 на базі оброблювальних центрів Haas ST-20 та VF-2, основна екологічна стратегія спрямована на впровадження безвідходних технологій та замкнених циклів використання ресурсів. Такий підхід дозволяє значно знизити антропогенне навантаження на екосистему регіону, одночасно підвищуючи економічну ефективність виробничої дільниці.

					КНУ.КБР.131.26.1-06.04.0ЕПВ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Особливої уваги потребує поводження з твердими промисловими відходами, зокрема алюмінієвою стружкою та дрібними уламками, які утворюються у значних обсягах під час токарної та фрезерної обробки на верстатах з числовим програмним керуванням. Оскільки алюміній є матеріалом, що піддається практично стовідсотковій вторинній переробці без втрати фізико-хімічних властивостей, на дільниці організовується суворий роздільний збір металевих відходів. Стружка, вилучена з робочих зон Haas ST-20, проходить етап попереднього очищення від залишків мастильно-охолоджувальних рідин у спеціалізованій ультразвуковій машині Tierra Tech MOT-75, після чого піддається механічному брикетуванню. Це не лише дозволяє зменшити об'єм відходів для транспортування, але й мінімізує окислення металу при подальшому переплаві на спеціалізованих підприємствах, замикаючи цикл кругової економіки та зменшуючи потребу у видобутку первинної сировини.

Найбільш складним аспектом екологічної безпеки металообробного цеху є раціональне використання та утилізація змащувально-охолоджувальних технологічних засобів, які є невід'ємною частиною процесу високошвидкісного різання. Замість традиційних методів повної заміни відпрацьованих емульсій, проєктована технологія передбачає використання сучасних систем безперервного очищення та регенерації. Забруднені рідини з оброблювальних центрів проходять через каскад механічних фільтрів та відцентрових сепараторів, де відокремлюються сторонні масла, металеві частки та бактеріальні забруднення. Після відновлення хімічного складу та стабілізації концентрації, очищений розчин повертається в систему циркуляції верстатів, що дозволяє в кілька разів скоротити обсяги утворення рідких токсичних відходів, які потребують спеціалізованої переробки за межами підприємства.

Захист атмосферного повітря в зоні механічної обробки реалізується через інтеграцію високоефективних систем фільтрації масляного туману безпосередньо у внутрішній простір кабін верстатів Haas. Під час роботи шпинделя на високих обертах утворюється дрібнодисперсний аерозоль, який без належного контролю міг би забруднювати повітряний басейн цеху та навколишню територію. Використання локальних модулів очищення забезпечує видалення до дев'яноста дев'яти відсотків часток масла та парів хімічних сполук, забезпечуючи повернення очищеного повітря у виробниче приміщення або його безпечний викид в атмосферу. Це критично важливо для підтримки належної якості повітря та запобігання випаданню жирів на поверхні ґрунту та споруд навколо підприємства.

Екологічна складова процесу миття деталей у машині Tierra Tech MOT-75 базується на використанні біологічно розкладних миючих засобів та системі закритого водопостачання. Відпрацьована вода після очищення поршнів проходить багатоступеневу фільтрацію та сорбційне очищення, де відокремлюються нафтопродукти та тверді домішки. Осад, що накопичується у фільтрах, передається на утилізацію спеціалізованим ліцензованим організаціям, що виключає потрапляння шкідливих речовин у міську каналізаційну мережу та

					КНУ.КБР.131.26.1-06.04.0ЕПВ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

відкриті водойми. Таким чином, підприємство виконує жорсткі вимоги природоохоронного законодавства щодо захисту водних ресурсів.

Енергоефективність обраного парку обладнання, включаючи контрольно-вимірювальну машину Zeiss DuraMax, також відіграє вагомий роль у зниженні загального вуглецевого сліду виробництва. Сучасні цифрові системи керування дозволяють оптимізувати режими різання таким чином, щоб споживання електроенергії на одиницю продукції було мінімальним. Більше того, висока точність вимірювань, яку забезпечує обладнання Zeiss, гарантує мінімальний відсоток виходу бракованих деталей. Це безпосередньо впливає на екологію, оскільки зменшує марні витрати матеріалів, електроенергії та людських ресурсів на виготовлення некондиційної продукції, яка згодом потребувала б повторної переробки.

Комплексна реалізація зазначених екологічних заходів дозволяє позиціонувати виробничу дільницю як сучасне еко-орієнтоване підприємство, що відповідає вимогам міжнародних стандартів серії ISO 14001. Поєднання високої продуктивності токарної та фрезерної обробки з дбайливим ставленням до природних ресурсів забезпечує довгострокову стабільність виробництва та мінімізує екологічні ризики для довкілля. Такий підхід є не лише вимогою часу, а й запорукою конкурентоспроможності продукції на міжнародних ринках, де екологічне маркування та «чистота» технологічного процесу стають вирішальними чинниками для замовників складних пневматичних компонентів.

4.2 Економічне обґрунтування роботи металообробного підприємства

Із метою обчислити собівартість виготовлення поршня було уточнено вартість верстатів станом на 2026 рік (табл. 4.2).

Таблиця 4.1 – Вартість верстатного обладнання

Операція	Обладнання	Модель верстата	Орієнтовна ціна в грн
1	2	3	4
010	Токарний центр із ЧПК	Haas ST-20	~3 070 000 грн
015	Ультразвукова мийна машина	Tierra Tech MOT-75	~580 000 грн
020	Оброблювальний центр	Haas VF-2	~4 020 000 грн
030	Вимірювальна машина (KBM)	Zeiss DuraMax	~3 050 000 грн

Для визначення загального обсягу фінансових витрат на оплату праці виробничого персоналу було систематизовано ключові економічні та часові показники, наведені у таблиці 4.2. Розрахункова модель спирається на плановий обсяг випуску у кількості двох тисяч виробів та враховує фактичну трудомісткість механічної обробки і складання кожної одиниці продукції. Встановлені параметри погодинної тарифної ставки та залучення допоміжного персоналу дозволяють сформувати об'єктивну базу для подальшого обчислення сумарного фонду заробітної плати дільниці.

					КНУ.КБР.131.26.1-06.04.0ЕПВ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Таблиця 4.2 – Вихідні дані для планування фондів зарплати

Наіменування	Позначення	Кількісний показник	Одиниці вимірювання
1	2	3	4
Ставка одного працівника першого розряду	Счас.1	106,46	грн/год
Трудовісткість виготовлення одного виробу	тсб	0,1	год
Трудовісткість механічних операцій на один виріб	тм	0,0831	год
Планова кількість одиниць продукції	Nзап	2000	шт
Чисельність допоміжних робітників	Чдоп	1	осіб

Для здійснення комплексного розрахунку собівартості виготовлення деталей та визначення техніко-економічних показників виробництва було згруповано вихідні дані, наведені у табл. 4.3. Сформований перелік показників включає параметри матеріальних витрат, вартісні характеристики основних засобів та нормативи часу на виконання технологічних операцій. Встановлені значення річної програми випуску та тарифних ставок дозволяють забезпечити необхідну точність подальших обчислень амортизаційних відрахувань та фонду оплати праці персоналу дільниці.

Таблиця 4.3 – Вихідні дані для планування собівартості

Наіменування	Позначення	Кількісний показник	Одиниці вимірювання
1	2	3	4
Норма витрати основного матеріалу на деталь	Нм	0,06	кг/шт
Ціна заготовок з урахуванням методу їх отримання	Цм	82000	грн/т
Річний обсяг виробництва продукції	N	2000	шт
Маса заготовки	Вчр	0,165	кг
Маса деталі	Вчст	0,05435	кг
Ціна відходів матеріалу	Цвідх	26000	грн/т
Місячна тарифна ставка першого розряду	МТС1р	15000	грн/міс.
Тарифний коефіцієнт i-го розряду	ктар.i	1,78	-
Штучний час виконання i-ї операції	Тшт.i	4,99	хв/шт
Кількість верстатів, що обслуговуються одним робітником	-	1	шт
Кількість операцій	Ко	2	шт
Первісна вартість машин та обладнання	Кмио	10500000	грн
Первісна вартість технологічного оснащення	Ктр	280367	грн
Первісна вартість будівлі	Кбуд	18647463	грн

За результатами проведених економічних розрахунків, виконаних із дотриманням методичних рекомендацій Постанови Кабінету Міністрів України № 1706 від 28.10.1998 р. та у повній відповідності до регламентів Закону України «Про бухгалтерський облік та фінансову звітність в Україні», було сформовано

					КНУ.КБР.131.26.1-06.04.0ЕПВ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

підсумкові показники фінансової ефективності проектованої ділянки. Отримані дані дозволяють об'єктивно оцінити структуру витрат на виготовлення поршнів та визначити ключові економічні результати, що зведені у табл. 4.4 та 4.5. Дані показники є нормативним підтвердженням доцільності впровадження запропонованого технологічного процесу та свідчать про його відповідність чинним державним стандартам фінансової звітності.

Таблиця 4.4 – Обчислений фонд зарплати

№п/п	Посада	Кількість штатних, осіб	Міс. оклад з/п, грн	Міс. фонд з/п, грн	Фонд з/п на рік, грн
1	2	3	4	5	6
ІТР					
1	Нач. цеху	1	40000	40000	452000
2	Заст. нач. цеху	1	37000	37000	418100
3	Ст. майстер	2	18000	36000	406800
4	Змінний майстер	5	17000	85000	960500
5	Нач. тех. бюро	1	28000	28000	316400
6	Інж.-технолог 1 кат.	1	32000	32000	361600
7	Інж.-технолог 2 кат.	1	28000	28000	316400
8	Технік-технолог	1	22000	22000	248600
9	Майстер з ремонту	1	20000	20000	226000
10	Старший диспетчер	1	19000	19000	214700
11	Диспетчер	1	17000	17000	192100
12	Інженер формувальник	1	22500	22500	254250
13	Технік формувальник	1	20000	20000	226000
14	Механік цеху	1	22500	22500	254250
15	Контрольний майстер	1	17000	17000	192100
Разом, грн					5039800
Службовці					
1	Бухгалтер	1	20000	20000	226000
2	Зав. складом	1	20000	20000	226000
3	Старший рахівник	1	20000	20000	226000
4	Касир	1	16000	16000	180800
5	Старший табельщик	1	17000	17000	192100
6	Машиністка	1	16000	16000	180800
7	Табельщик	1	16000	16000	180800
Разом, грн					1412500
МОП					
1	Прибиральники	2	10000	20000	226000
2	Ліфтер, вахтер	2	12000	24000	271200
Разом, грн					497200

Таблиця 4.5 – Обчислена собівартість

Найменування	Витрати	
1	2	
Сировина та матеріали за вирахуванням зворотних відходів	4565	грн/рік
Паливо та енергія на технологічні цілі	228	грн/рік
Основна заробітна плата виробничих робітників	241934	грн/рік
Додаткова заробітна плата виробничих робітників	48387	грн/рік
Відрахування до бюджетних та позабюджетних фондів	275	грн/рік
Загальновиробничі витрати	133631	грн/рік
Разом: цехова собівартість	429021	грн/рік
Загальногосподарські витрати	302418	грн/рік
Разом: виробнича собівартість	731439	грн/рік
Витрати реалізації продукції	10972	грн/рік
Інші платежі, відрахування та податки	208418	грн/рік
Разом: повна собівартість	950828	грн/рік
Собівартість одиниці виробленої продукції	475	грн/шт
Ціна продажу одиниці продукції	1200	грн/шт
Початкові інвестиції	1 901 656	грн
Дохід від продажу продукції	2400000	грн/рік
Прибуток від продажу продукції	1449172	грн/рік
Строк окупності	1,31	р

Комплексний аналіз розрахованих техніко-економічних показників свідчить про надзвичайно високу фінансову ефективність та інвестиційну привабливість запропонованого проекту модернізації технологічного процесу виготовлення поршня. Основним індикатором успішності розроблених рішень є досягнутий рівень повної собівартості річного обсягу продукції, який становить 950828 грн., що при плановому доході від реалізації у розмірі 2 400 000 грн забезпечує отримання чистого прибутку на рівні 1449172 грн на рік. Порівняльний аналіз вартісних характеристик одиниці продукції демонструє значний економічний потенціал, оскільки при собівартості виробництва одного поршня у 398 гривень його ринкова ціна реалізації складає 1200 грн, що формує високий рівень рентабельності та дозволяє підприємству гнучко реагувати на можливі коливання ринкової кон'юнктури.

Структура витрат показує, що основна частка капіталовкладень спрямована на початкові інвестиції в обладнання та оснащення, загальний обсяг яких становить 1 591 806 гривень. Попри значну суму первинних витрат, проект характеризується коротким терміном окупності 1,3 роки, що є вагомим аргументом для впровадження даної технології в умовах реального виробництва. Такий результат став можливим завдяки оптимізації трудомісткості операцій та раціональному вибору верстатного парку, що дозволило мінімізувати витрати на енергоносії та сировину, які в сумі не перевищують п'яти тисяч гривень на рік. Отримані дані підтверджують, що перехід на механізовану обробку заготовок із використанням сучасних центрів з числовим програмним керуванням є економічно доцільним кроком, який забезпечує швидке повернення інвестованого капіталу та створює надійну базу для подальшого фінансового розвитку

					КНУ.КБР.131.26.1-06.04.0ЕПВ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

підприємства. Економічна стійкість проекту підкріплюється значним запасом міцності між повною собівартістю та ціною продажу, що гарантує стабільне отримання прибутку навіть за умови зростання загальногосподарських або виробничих витрат у майбутніх періодах.

					КНУ.КБР.131.26.1-06.04.0ЕПВ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У межах даної бакалаврської роботи було сформовано комплект конструкторської документації, що включає просторову модель та креслення пневматичного поршня разом із графічним відображенням вузла клапана керування. Основним вектором вдосконалення стала повна трансформація технологічного ланцюжка через впровадження високопродуктивних центрів Naas, що дозволило відійти від застарілих універсальних методів обробки. Це рішення забезпечило необхідну точність виготовлення деталей для серійної програми обсягом дві тисячі одиниць на рік.

Проектування оновленого маршруту виготовлення базувалося на застосуванні сучасного верстатного оснащення, зокрема механізованих патронів Schunk та спеціалізованих пневматичних блоків, завдяки чому вдалося досягти стабільного базування та скорочення допоміжних витрат часу. Застосування токарних і фрезерних можливостей верстатів Naas ST-20 та VF-2 у поєднанні з раціональними режимами різання дозволило оптимізувати тривалість обробки, встановивши сумарний штучний час на позначці 4,99 хвилини. Програмне забезпечення процесу було доповнено розробкою керуючого коду для виконання основної токарної операції в автоматичному режимі.

Валідація міцнісних характеристик поршня здійснювалася шляхом проведення числового моделювання в аналітичному середовищі SolidWorks Simulation. Статичні випробування моделі зі сплаву АК12М3 під дією пневматичного тиску 0,8 МПа підтвердили працездатність деталі, продемонструвавши рівень напружень 64,628 МПа та осьовий хід 10,974 мм. Досягнутий коефіцієнт запасу міцності на рівні 2,35 разом із даними модуля Design Insight засвідчили високу надійність та геометричну досконалість обраної конструкції.

Аналіз фінансових показників засвідчив високу окупність запропонованих інновацій, оскільки термін повернення інвестицій у модернізацію дільниці склав лише 1,3 року. Соціально-екологічний аспект роботи був реалізований через впровадження систем локальної фільтрації повітря та налагодження циклу переробки металевої стружки, що забезпечило відповідність сучасним стандартам безпеки праці та охорони довкілля. Завдання, визначені технічним запитом на розробку, виконані в повному обсязі, що підтверджує готовність проєкту до практичної реалізації.

					<i>КНУ.КБР.131.26.1-06.B</i>			
<i>Змін.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ Документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Висновки</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Матвієнко</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-23ск</i>		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. <https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/tools/coroplus-toolguide>
2. Каталог та технічний посібник Seco 2020: "Токарна обробка"
3. Каталог абразивного інструмента LUCABRASIV 2015
4. Каталог зубообробного інструмента FETTE 2015
5. ДСТУ 2675:2008 "Патрони самоцентруючі трикулачкові. Основні розміри"
6. ANDRE Абразивный инструмент
7. Кіяновський М.В., Цивінда Н.І., Цівко Ф.В. Довідник нормувальника машинобудівного виробництва. Кривий Ріг: Видавничий центр КТУ, 2008.
8. Технологія обробки типових деталей (курсове проектування) Григурко О.І, Брендюля 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.

					КНУ.КБР.131.26.1-06.СВД					
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата	Список використаних джерел			Літ.	Арк.	Аркуші
Разроб.	Матвієнко									
Перевір.	Кравцова									
Н. Контр.	Нечаєв									
Затверд.	Рязанцев				Кафедра ТМ гр. ПМ-23ск					

22. Закон України Про охорону навколишнього природного середовища, 1991 року зі змінами № 554-IX від 13.04.2020
23. Закон України Про охорону праці, нова редакція, м. Київ, 21 листопада 2002 року, № 341-IX 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.131.26.1-06.СВД	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

					КНУ.КБР.131.26.1-06.Д									
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата										
Розроб.		Матвієнко			Додатки				Літ.		Арк.	Аркушів		
Перевір.		Кравцова												
Н. Контр.		Нечаєв												
Затверд.		Рязанцев												
Кафедра ТМ гр. ПМ-23ск														

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
Перв. застосов.						
				<u>Документація</u>		
	A1		КНУ.КБР.131.26.01-06.ККГ	Складальне креслення	1	
Справ. №				<u>Складальні одиниці</u>		
		4		Клапан	1	
		8		Клапан обриву	1	
				<u>Деталі</u>		
		1		Корпус нижній	1	
		2		Корпус середній	1	
		3		Корпус верхній	1	
		5		Поршень верхній малий	1	
		6	КНУ.КБР.131.26.01-06.ПВВ	Поршень верхній великий	1	
		7		Регулюючий гвинт	1	
		9		Поршень нижній	1	
		10		Діафрагма	1	
		11		Втулка	1	
		12		Втулка	2	
		13		Табличка	1	
		14		Тарілка пружини	1	
		15		Пружина	1	
		16		Пружина	1	
		17		Тарілка пружини	1	
		18		Пружина	1	
		19		Кільце спеціальне	2	
		20		Кільце спеціальне	1	
Підп. і дата						
Інв. №						
Зам. інв. №						
Підп. і дата						
Інв. № ориг.						

КНУ.КБР.131.26.01-06.ККГС				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.	Матвієнко			
Перев.	Кравцова			
Керівник.				
Н.контр.	Нечаєв			
Затв.	Рязанцев			

Клапан керування гальмами причепа з двохконтурним приводом та клапаном обриву		
Літ.	Аркцш	Аркцшів
н	1	2
Кафедра ТМ ПМ-23ск		

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
		21		Кільце спеціальне	1	
		22		Кільце спеціальне	1	
		23		Кільце упорне спеціальне	1	
		24		Кільце спеціальне	1	
		25		Поршень середній	1	
		26		Кільце спеціальне	2	
		27		Кільце спеціальне	1	
		28		Кільце стопорне спеціальне	1	
		29		Кільце спеціальне	1	
		30		Гайка спеціальна	1	
		31		Шайба діафрагми	1	
		32		Кільце ущільнюоче		
				спеціальне	1	
		33		Кільце спеціальне	1	
				Стандартні вироби		
		34		Болт М8-6d×55.58.018		
				згідно стандарту	2	
		35		Болт М8-6d×55.58.016		
				згідно стандарту	4	
		36		Болт М6-6d×12.68.016		
				згідно стандарту	2	
		37		Болт М8-6d×30.68.016		
				згідно стандарту	4	
		38		Гайка М8 згідно стандарту	4	
		39		Шайба 8.03.019		
				згідно стандарту	4	
		40		Шайба 6.02.019.		
				згідно стандарту	2	
		41		Шайба 12.02.019.		
				згідно стандарту	1	
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	КНУ.КБР.131.26.01-06.ККГС	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист	
					2	

**АЛЬБОМ КРЕСЛЕНЬ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-
ЗАСВІДЧУЮЧИХ АРКУШІВ**

КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ БАКАЛАВРСЬКОЇ РОБОТИ

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка

на тему: Технологічна підготовка виготовлення поршня клапана керування гальмами зі застосуванням CAD/CAE-систем і обладнання з ЧПК

Виконав здобувач гр. ПМ-23ск

(підпис)

Станіслав МАТВІЄНКО

Керівник КБР

(підпис)

Дар'я КРАВЦОВА

Нормоконтроль

(підпис)

Василь НЕЧАЄВ

Завідувач кафедри

(підпис)

Антон РЯЗАНЦЕВ

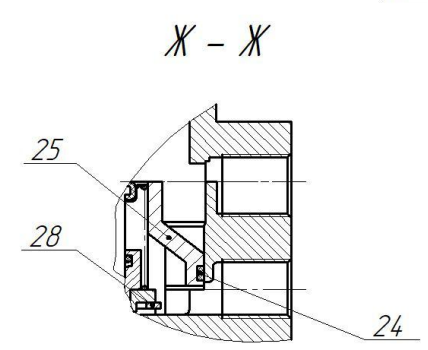
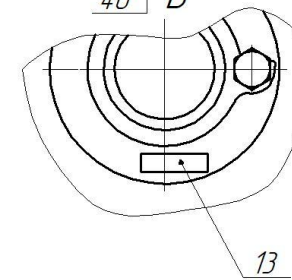
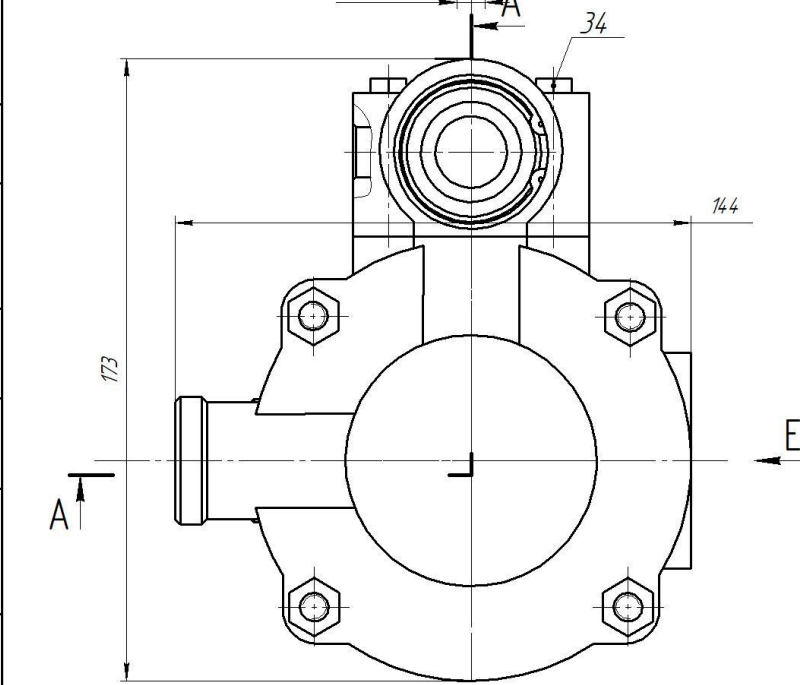
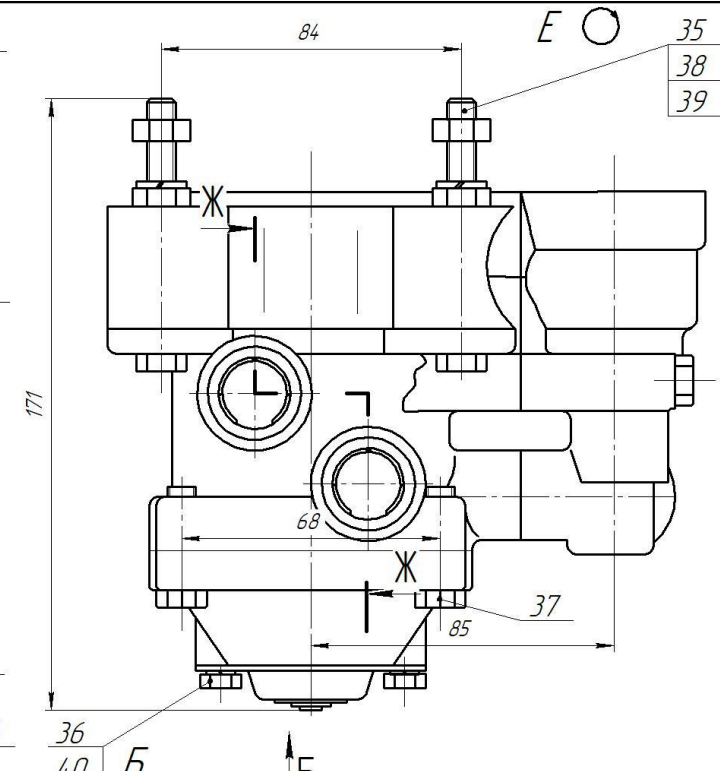
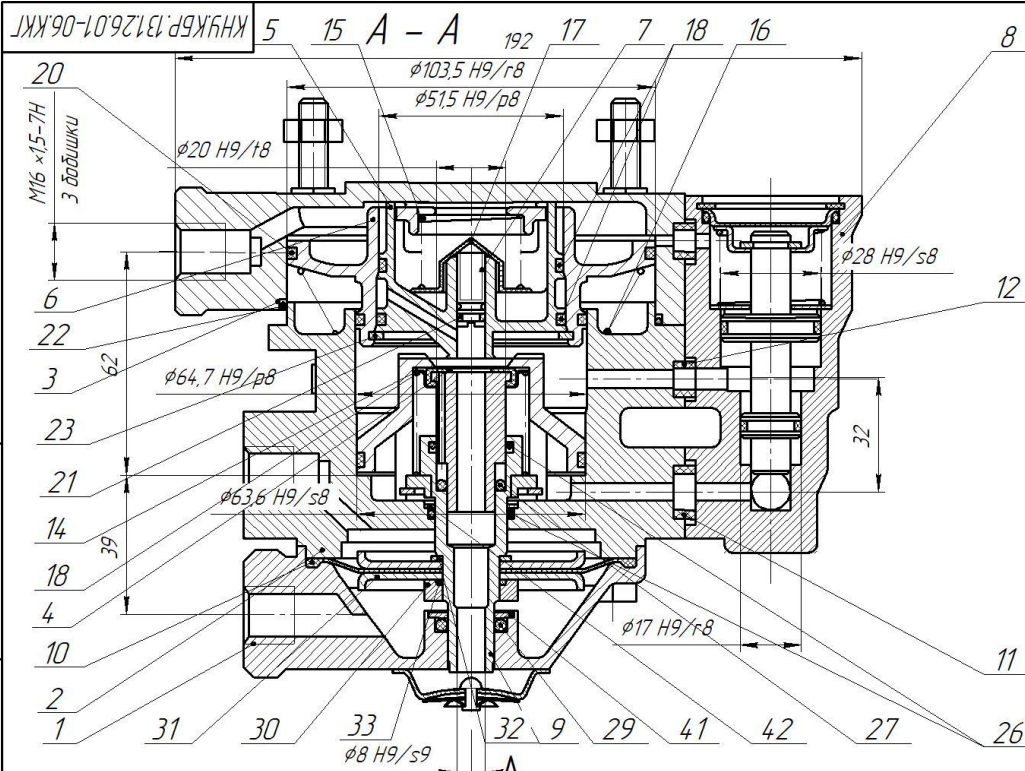
Кривий Ріг
2026 р.

ВІДОМІСТЬ ЕЛЕКТРОННИХ ДОКУМЕНТІВ КБР

№	Формат	Позначення	Найменування	К-сть листів	Прим.
			<u>Графічні матеріали</u>		
1	A2	КНУ.КБР.131.26.1-06.ККГ	Клапан керування гальмами	1	
2	A2	КНУ.КБР.131.26.1-06.ПВВ	Поршень верхній великий	1	
3	A2	КНУ.КБР.131.26.1-06.ПВВ3	Поршень верхній великий (заготовка)	1	
4	A1	КНУ.КБР.131.26.1-06.СЗТО	Структура та зміст технологічних операцій обробки	1	
5	A1	КНУ.КБР.131.26.1-06.РТК	Розрахунково- технологічна карта	1	
6	A2	КНУ.КБР.131.26.1-06.ПК	Пристосування контрольне	1	
7	A1	КНУ.КБР.131.26.1-06.АПР	Аналіз проектних рішень	1	

					КНУ.КБР.131.26.1-06.ВЕД						
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата	Відомість електронних документів КБР			Літ.	Арк.	Аркушів	
Розроб.	Матвієнко										
Перевір.	Кравцова										
								Кафедра ТМ гр. ПМ-23ск			
Н. контр.	Нечаєв										
Затверд.	Рязанцев										

КНУ.КБР.131.26.01-06.ККГ



Технічна характеристика

1. Робочий тиск, МПа (кгс/см²), не більше -0,8 (8,0)
- 2.Прієднувальні різьби під шлангу - М22х1,5
- 3.Температурний інтервал, °С - від мінус 45 до плюс 60
- 4.Габритні розміри,мм - а хбхг, 173х144х171
- 5.Маса, кг - 2,6

Технічні вимоги

1. Випробувати у відповідності з програмою та методикою випробувань11.3522008ПМ.
2. Момент затяжки дет. поз 34 - 10,78 Нм (1,1 кгс/м) тіл, дет. поз. 36-6,86 Нм (0,7 кгс/м). Технічні вимоги до затягування згідно стандарту.
3. Маркувати місяць і останні дві цифри року випуску шрифтом 3-Прз згідно стандарту.
4. Деталь поз.13 наклеїти після кінцевого складання і випробувань.

						КНУ.КБР.131.26.01-06.ККГ				
						Клапан керування гальмами причепа з двохкантурним привадам та клапаном одрибу				
Зм.	Арк.	№ ваким.	Підп.	Дат.		Лит	Маса	Масштаб		
Розроб.		Матвієнко					2,6	11		
Перев.		Крайнова				Аркш		Аркшів 1		
Т.контр.						Кафедра ТМ ПМ-23ск				
Керівник										
Н.контр.		Нечасов								
Затв.		Рязанцев				Крайнов				
						Формат А2				

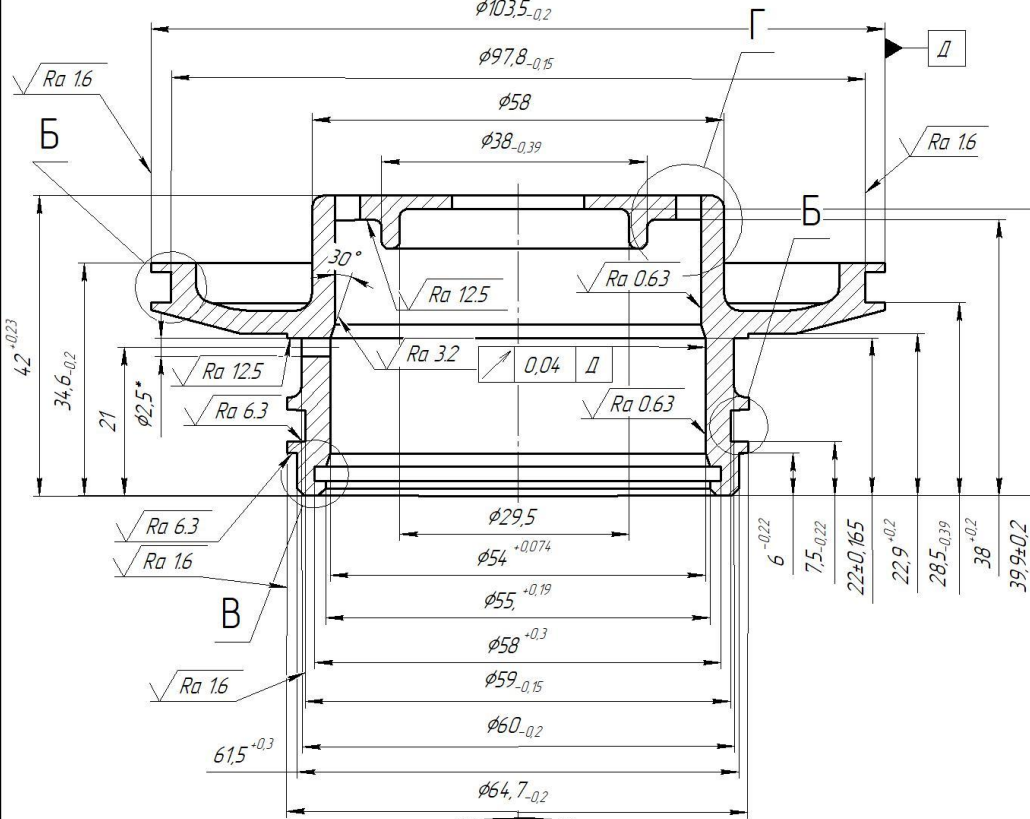
Копія

Формат А2

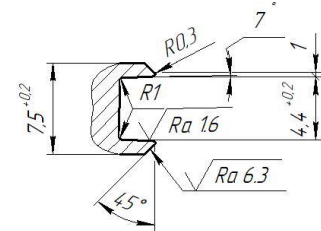
КНУКБР.131.26.01-06.ПВВ

A-A

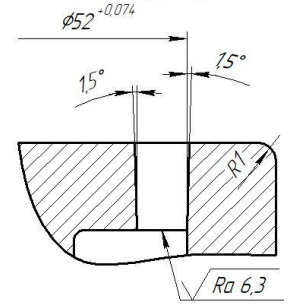
✓ Ra 2.5 (✓)



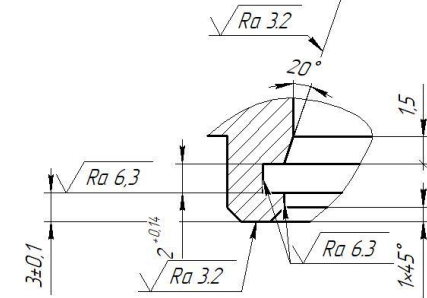
Б (4:1)



Г (4:1)



В (4:1)



- Невказані граничні відхилення IT 7.
- Забезпечити герметичність до тиску повітря 0,65...0,8 МПа (6,5...8 кгс/см²).
- На поверхні $\phi 54_{+0.074}^{+0.074}$ і $\phi 54_{+0.074}^{+0.074}$ допускається покриття з наступним розкатуванням.
- Допускається застосування деталі з розміром 34,6 замість $34,6_{-0.2}^{+0.2}$.
- * Розмір забезпечити інструментом.
- Покриття: Хім. Окс. Хром. крім поверхонь $\phi 52_{+0.074}^{+0.074}$ і $\phi 54_{+0.074}^{+0.074}$.

КНУКБР.131.26.01-06.ПВВ					
Зм.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата	
Розроб.	Матвієнко	Підп.	Дата		
Перев.	Кришова				
Т.контр.					
Керівник					
Н.контр.	Нечасов				
Затв.	Рязанцев				
Паршень верхній великий					Лит. Маса Масштаб
Алюмінієвий сплав АК12М2					Н 0,14 2:1
ДСТУ 2839-94					Аркшиф Аркшиф 1
Копія					Копія ТМ ПМ-23ск Формат А2

Перв. застос.

Стар. №

Підп. і дата

Лит. № док.

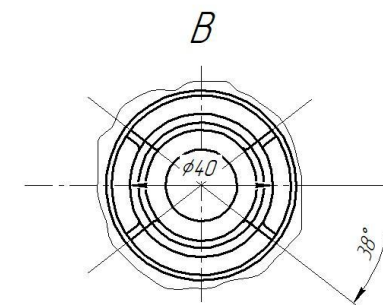
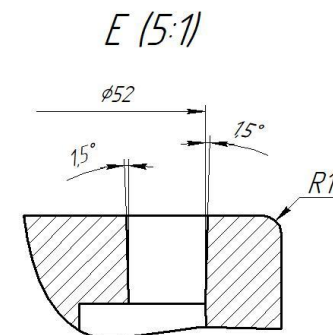
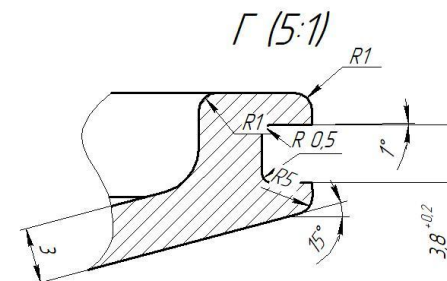
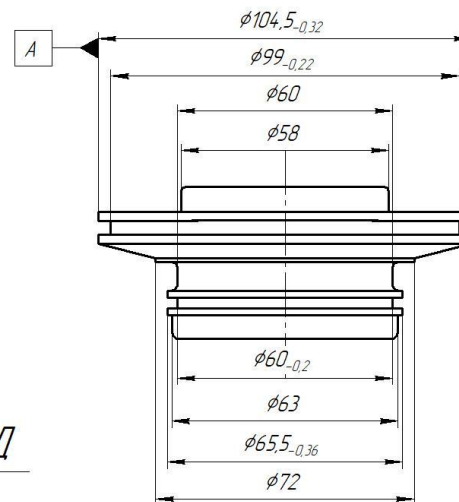
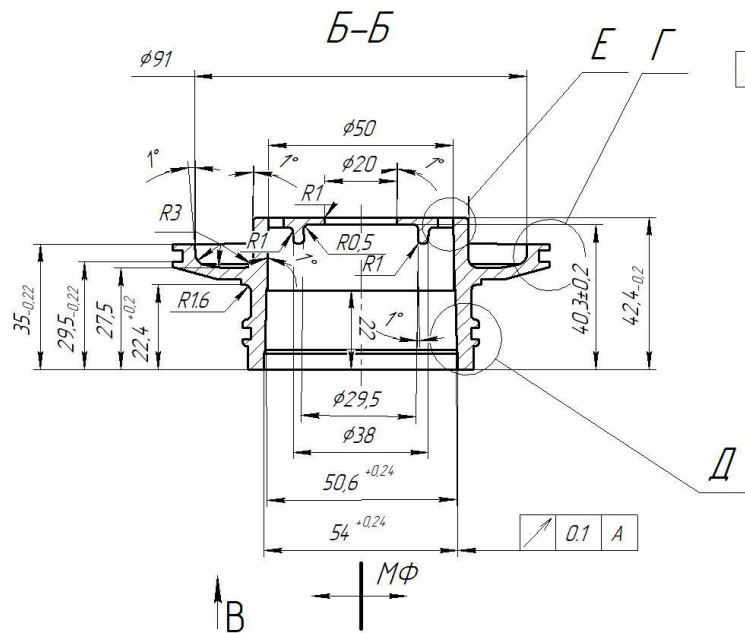
Взам. №

Підп. і дата

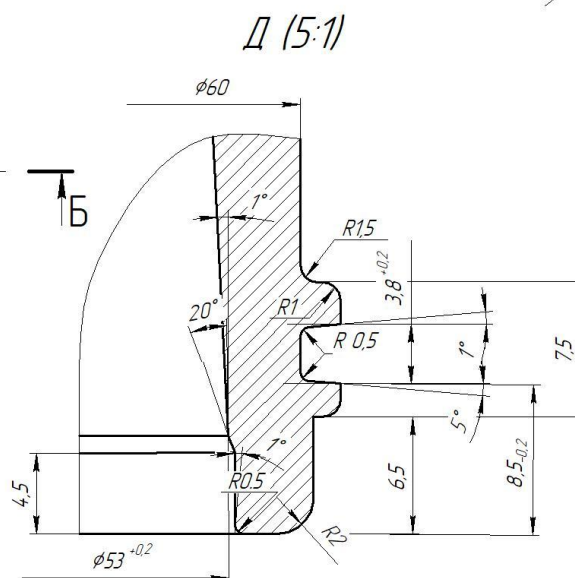
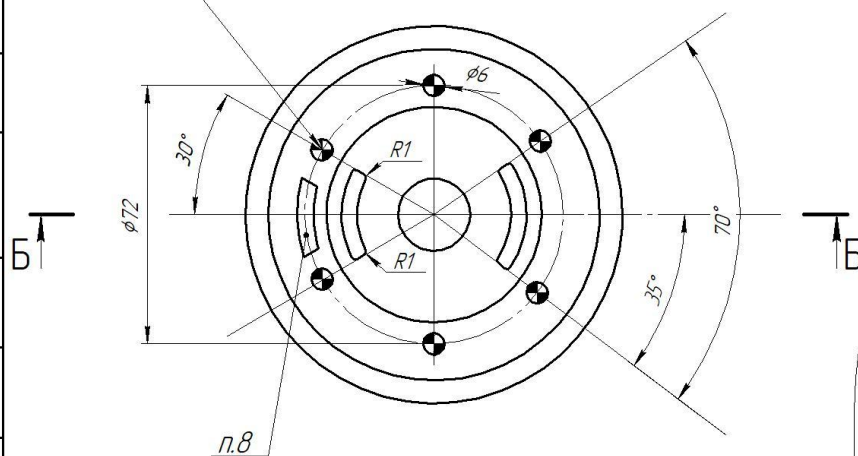
Лит. № док.

КНУКБР.131.26.1-06.ПВВ3

$\sqrt{Ra\ 2.5\ (\sqrt{V})}$



Сліди від виштампувачів заглиблені на 0,2 мм



1. Лиття під тиском.
2. Невказані граничні відхилення IT 14.
3. Невказані ливарні ухили не більше 1°.
4. Невказані ливарні радіуси не більше 1,6 мм.
5. Максимальна величина заливів по лінії роз'єму 0,2 мм.
6. Товщина плівки від стику рухомих і нерухомих частин пресформи не більше 0,2 мм.
7. Точність виливка 5-0-0-7 згідно стандарту з симетричним полем допуску.
8. Виливок повинен забезпечити герметичність обробленої деталі до тиску повітря 0,65...0,8 МПа (6,5...8 кгс/см²)

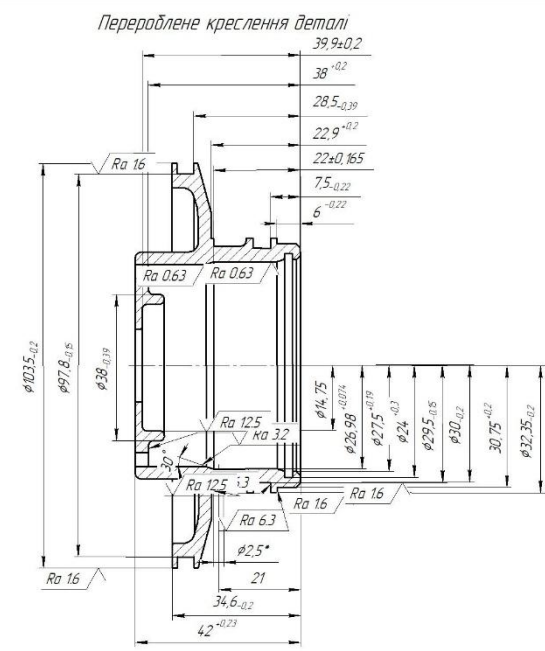
					КНУ.КБР.131.26.1-06.ПВВ3				
				</					

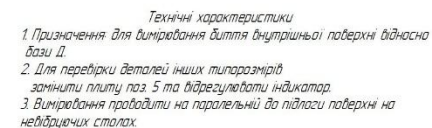
КНЧКБР131261-06С3Т0

№ 2706	Дата: 1997	Возраст: 19	№ 2706	Дата: 1997	Возраст: 19
№ 2707	Дата: 1997	Возраст: 19	№ 2707	Дата: 1997	Возраст: 19

						КНУКБР.13126.1-06.Є370		
						Структура та зміст		
						технологічних операцій аеродифу		
						Лист	Маса	Посилка
						№		11
						Архив	Архив	Т
						Кафедра ТМ ІМ-23с		

						КНУКБР.131.26.1-06.РТК			
						Разрабочнко-техналогична			
						карта			
						лет	Месе	Месегарт	
лет	арк	М.Факс	Парт	Месе		И			11
Факс		Месе							
Месе		Картон							
Гарант						Актан	Архив		Г
Картон						Картон ТМ			
Уконт		Месе				ПМ-23ск			
Зак		Разрабоч				Форман А1			

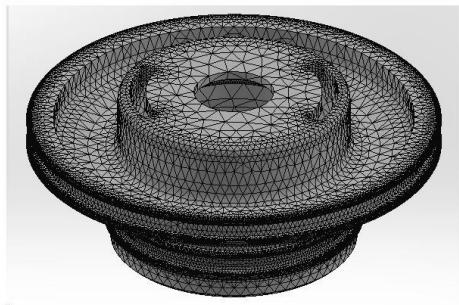




Технічні вимоги

1. Контролювати придатність пристосування через кожні 100 замірів.
2. Допуск на паралельність поверхонь Б і В 0,01 мм.
3. При зносі поверхні А більше 0,025 провести ремонт пристосування.
4. Ручку повертати плавно, без ривків.

					КНУКБР.131.26.1-06.ПК		
					Приспособування		
					контрольне		
					Лист	Дата	Всього
					11	18	11
					Категорія ТМ		
					ПМ-233к		
					Всього 11		



Сітка для обчислень методом кінцевих елементів

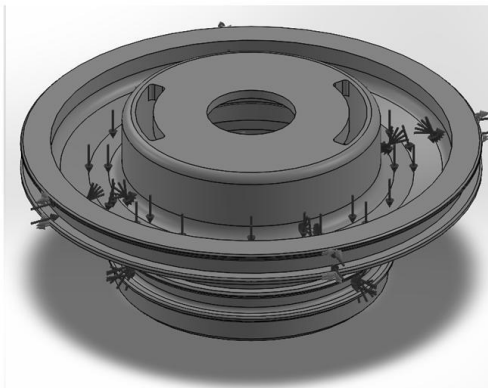


Схема прикладання зовнішнього навантаження (тиск 800 МПа)

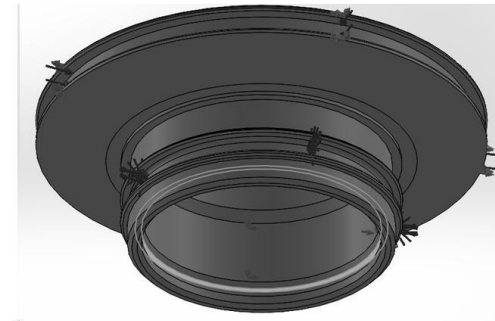
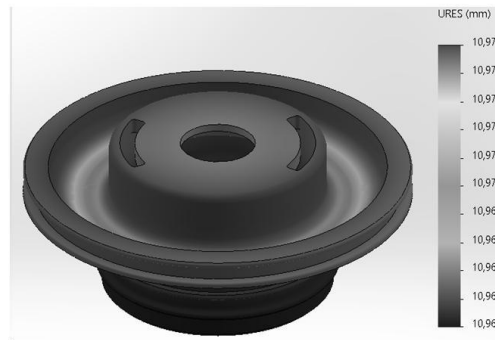


Схема прикладання граничних умов



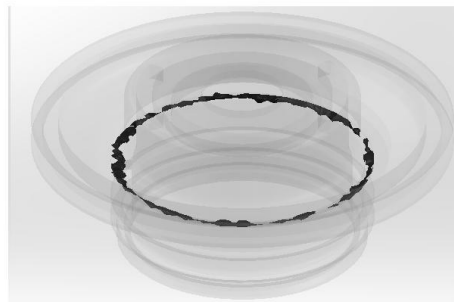
Розподіл внутрішніх напружень при навантаженні



Епюра переміщень



Епюра коефіцієнту запасу міцності



Результати аналізу «Design Insight»

Період застос.
Спроб. №

Лист № ориє.
Лист № змін.
Варіант №
Міс. № змін.
Лист № змін.
Лист № змін.

КНУ.КБР.131.26.01-06.АТР					
Аналіз проектних рішень					
Зм.	Арк.	№ варіант.	Підп.	Дата	Лист
Розроб.	Матвієнко				Маса
Перев.	Кравцова				Масштаб
Т.контр.					Аркш.
Керівник					Аркш.
Н.контр.	Нечасов				1
Затв.	Рязанцев				Кафедра ТМ
Копіював					
Формат А2					

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

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

(підпис)

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну бакалаврську роботу

Здобувача групи ПМ-23ск Матвієнка Станіслава Олексійовича

1. Тема: Технологічна підготовка виготовлення поршня клапана керування гальмами зі застосуванням CAD/CAE-систем і обладнання з ЧПК

Керівник проекту: доц., к.фіз.мат.н. Кравцова Д.Ю.

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

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

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

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

5. Перелік графічного матеріалу: 1. Клапан керування гальмами. 2. Поршень верхній великий. 3. Поршень верхній великий (заготовка). 4. Структура та зміст технологічних операцій обробки. 5. Розрахунково-технологічна карта 6. Пристосування контрольне. 7. Аналіз проектних рішень

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 (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

/ Матвієнко С.О. /