

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка

на тему: Технологічна підготовка виробництва втулки розпірної штанги
зі застосуванням CAD/CAE-систем і верстатів з ЧПК

Виконав: здобувач групи ПМ-22
Олексієнко С.Д.

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

Кривий Ріг
2026 р.

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

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ БАКАЛАВРСЬКОЇ РОБОТИ**

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка

на тему: Технологічна підготовка виробництва втулки розпірної штанги
зі застосуванням CAD/CAE-систем і верстатів з ЧПК

Виконав здобувач гр. ПМ-22

(підпис)

Семен ОЛЕКСІЄНКО

Керівник КБР

(підпис)

Дар'я КРАВИЦОВА

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.131.26.1-20.ПЗ	Пояснювальна записка	39	
			<u>Графічні матеріали</u>		
2	A1	КНУ.КБР.131.26.1-20.РШ	Розпірна штанга	1	
3	A3	КНУ.КБР.131.26.1-20.В	Втулка	1	
4	A3	КНУ.КБР.131.26.1-20.ВП	Втулка (поковка)	1	
5	A1	КНУ.КБР.131.26.1-20.ТП	Технологічний процес	1	
6	A1	КНУ.КБР.131.26.1-20.РТК	Розрахунково-технологічна карта	1	
7	A2	КНУ.КБР.131.26.1-20.АПР	Аналіз проектних рішень	1	

					КНУ.КБР.131.26.1-20.ВМКБР										
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата											
Розроб.	Олексієнко				Відомість матеріалів КБР					Літ.		Арк.		Аркушів	
Перевір.	Кравцова														
Н. контр.	Нечаєв														
Затверд.	Рязанцев														
					Кафедра ТМ гр. ПМ-22										

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА.....	6
1.1 Характеристика і призначення, умови експлуатації вузла і деталі.....	6
1.2 Аналіз параметрів точності деталі.....	9
1.3 Аналіз матеріалу деталі	11
1.4 Характеристика виробничої програми. Визначення типу виробництва за укрупненими показниками	12
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	16
2.1 Аналіз технологічності втулки	16
2.2 Техніко-економічне обґрунтування виготовлення заготовки	17
2.3 Вибір маршруту	18
2.4 Розроблення структури та зміст технологічних операцій	19
2.5 Вибір металорізальних верстатів, оснащення та різальних інструментів.....	20
2.6 Розрахунок режимів різання	22
2.7 Нормування операцій обробки	23
3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	25
3.1 Граничні умови статичного випробування.....	25
3.3 Інтерпретація результатів статичного аналізу втулки	27
4 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА	31
4.1 Безпека та екологія виробництва.....	31
4.1.1 Ідентифікація та оцінка потенційних ризиків і шкідливих чинників виробничого середовища.....	31
4.1.2 Забезпечення екологічної безпеки та мінімізація техногенного впливу механоскладальної дільниці.....	32
4.2 Економічне обґрунтування виробництва втулки.....	32
ВИСНОВКИ.....	38
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	39

					<i>КНУ.КБР.131.26.1-20.3</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>Олексієнко</i>						
<i>Перевір.</i>		<i>Кравцова</i>						
<i>Н. контр.</i>		<i>Нечаєв</i>				<i>Кафедра ТМ гр. ПМ-22</i>		
<i>Затверд.</i>		<i>Рязанцев</i>						

РЕФЕРАТ

У пояснювальній записці до кваліфікаційної бакалаврської роботи викладено результати проєкту, що охоплює 39 сторінок тексту, проілюстрований 11 рисунками, 21 таблицею та 6 аркушами графічної частини.

Основним завданням дослідження є модернізація технологічного циклу виготовлення втулки розпірної для колосникового грохота шляхом впровадження високопродуктивних токарних та фрезерних центрів із числовим програмним керуванням модельного ряду Haas. Таке технологічне рішення дозволило суттєво підвищити якість виконання відповідальних поверхонь та забезпечити необхідну точність.

Перший розділ роботи містить детальний технічний опис втулки, де визначено її ключову роль у підтримці жорсткості розпірної штанги грохота та проаналізовано умови її експлуатації. Обґрунтовано доцільність застосування конструкційної сталі 45, яка після відповідної механічної обробки забезпечує необхідне поєднання міцності та здатності протидіяти циклічним навантаженням.

У другому розділі представлено проектування прогресивного технологічного маршруту в умовах серійного виробництва. Завдяки використанню прецизійних схем базування в гідропатронах та інтеграції сучасного різального інструменту компанії Sandvik Coromant, вдалося оптимізувати режими різання та структуру допоміжного часу. Це дозволило довести сумарний штучно-калькуляційний час виготовлення однієї деталі до 5,95 хвилин, що підтверджує високу економічну та технологічну ефективність обраної стратегії концентрації операцій.

Третій розділ присвячений верифікації конструкції засобами SolidWorks Simulation. Проведене дослідження за трьома сценаріями навантаження дозволило оцінити поведінку втулки від моменту попереднього затягування (30 кН) до стадії аварійного піка (120 кН). Розрахункові епюри напружень за вон Мізесом підтвердили, що навіть при максимальному впливі напруження в 337,6 МПа не виходять за межі пружності матеріалу, а інструмент Design Insight дозволив наочно підтвердити раціональність обраної геометрії фланцевого з'єднання.

Четвертий розділ охоплює аспекти промислової безпеки та екологічного менеджменту, де запропоновано заходи з ефективного очищення робочої зони від масляного туману та регламентовано процес переробки металевої стружки. Економічний блок розрахунків остаточно підтвердив доцільність інвестицій: при значному річному прибутку понад 999 тисяч гривень проєкт демонструє швидку окупність протягом 1,67 року, що робить його привабливим для реальних умов підприємств Криворізького регіону.

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

					<i>КНУ.КБР.131.26.1-20.Р</i>			
<i>Змін.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ Документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Реферат</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Олексієнко</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 зр. ПМ-22</i>			

ABSTRACT

The explanatory note to the Bachelor's qualification thesis presents the project results across 39 pages of text, illustrated with 11 figures, 21 tables, and 6 sheets of the graphic part.

The primary objective of this study is to modernize the manufacturing cycle of a spacer sleeve for a grizzly screen by implementing high-performance Haas CNC turning and milling centers. This technological solution has significantly improved the quality of critical surfaces and ensured the required precision.

The first chapter of the thesis provides a detailed technical description of the sleeve, defining its key role in maintaining the rigidity of the screen's spacer rod and analyzing its operating conditions. The feasibility of using Steel 45 (AISI 1045) is justified, as it provides the necessary combination of strength and resistance to cyclic loads following appropriate mechanical treatment.

The second chapter presents the design of a progressive manufacturing route for serial production conditions. Through the use of precision locating schemes in hydraulic chucks and the integration of modern Sandvik Coromant cutting tools, it was possible to optimize cutting parameters and the structure of auxiliary time. This resulted in a total unit-calculated manufacturing time of 5.95 minutes per part, confirming the high economic and technological efficiency of the selected operation concentration strategy.

The third chapter is dedicated to design verification using SolidWorks Simulation. The study conducted under three loading scenarios allowed for evaluating the sleeve's behavior from the initial pre-tensioning (30 kN) up to the emergency peak stage (120 kN). Calculated von Mises stress plots confirmed that even at maximum impact, stresses of 337.6 MPa remain within the material's elastic limit, while the Design Insight tool visually confirmed the rationality of the chosen flange connection geometry.

The fourth chapter covers aspects of industrial safety and environmental management, proposing measures for effective workspace cleaning from oil mist and regulating the metal chip recycling process. The economic calculation block ultimately confirmed the feasibility of the investments: with a significant annual profit exceeding 999 thousand UAH, the project demonstrates a rapid payback period of 1.67 years, making it attractive for the real-world conditions of enterprises in the Kryvyi Rih region.

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

					<i>КНУ.КБР.131.26.1-20.Р</i>	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

ВСТУП

Сучасний етап розвитку національної економіки України характеризується глибокою трансформацією промислового сектору, де машинобудування відіграє роль стратегічного фундаменту для відновлення та сталого зростання. В умовах глобальної цифровізації та переходу до концепції Індустрії 4.0, вітчизняні підприємства постають перед необхідністю докорінної модернізації технічної бази та впровадження наукомістких технологій. Машинобудівна галузь є ключовим індикатором науково-технічного прогресу країни, оскільки саме вона забезпечує всі інші сфери виробництва сучасним обладнанням, засобами автоматизації та високоточними комплектуючими. Актуальність розвитку цієї галузі в Україні обумовлена потребою у створенні конкурентоспроможного продукту, що здатен замінити імпортні аналоги та забезпечити технологічну незалежність критично важливих секторів промисловості.

Особливе значення машинобудування має для гірничо-металургійного комплексу, який є основою індустриальної потужності Криворізького регіону. Безперервна експлуатація важкого технологічного обладнання, такого як колосникові грохоти, в умовах інтенсивних вібраційних та ударних навантажень призводить до швидкого зносу вузлів та деталей. Проблема забезпечення надійності та довговічності розпірних елементів штангових систем стає дедалі гострішою, оскільки раптовий вихід з ладу навіть невеликої втулки може спричинити тривалий простій всього збагачувального комплексу. Тому розробка та впровадження вдосконалених технологічних процесів виготовлення запасних частин із прогнозованим рівнем якості є першочерговим завданням для інженерно-технічного персоналу сучасних підприємств.

Ефективне вирішення завдань із підвищення якості продукції сьогодні неможливе без повної відмови від застарілих універсальних методів обробки на користь високотехнологічних центрів із числовим програмним керуванням. Використання обладнання лідерів світового верстатобудування, зокрема компанії Haas, у поєднанні з прецизійним інструментальним забезпеченням Sandvik Coromant, дозволяє досягти принципово нового рівня точності та продуктивності. Така інтеграція дає змогу не лише скоротити час виробничого циклу, але й гарантувати стабільність технічних характеристик кожної одиниці випущеної продукції, що є обов'язковою умовою для серійного виробництва відповідальних деталей гірничих машин.

Наукова складова сучасного проектування в машинобудуванні базується на широкому застосуванні методів комп'ютерного моделювання та скінченно-елементного аналізу.

					<i>КНУ.КБР.131.26.1-20.В</i>			
<i>Змін.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ Документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Вступ</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Олексієнко</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 зр. ПМ-22</i>			

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Характеристика і призначення, умови експлуатації вузла і деталі

Колосниковий грохот представляє собою спеціалізоване обладнання, призначене для первинної класифікації та диференціації сипких матеріалів за фракціями розміром до 1200 мм. У технологічних ланцюгах гірничо-збагачувальних підприємств ці агрегати зазвичай інтегруються на стадії попереднього сортування перед основним подрібненням. Це дозволяє ефективно виокремлювати з загальної гірничої маси шматки породи, розмір яких не перевищує 200 мм, що мінімізує зайве навантаження на дробильне обладнання та оптимізує енерговитрати виробництва.

За конструктивними особливостями та режимом роботи дане обладнання поділяють на нерухомі установки та рухомі системи (зокрема вібраційні та консольно-вібруючі типи). Завдяки високій механічній міцності та простоті конструкції, колосникові грохоти здатні витримувати пряме навантаження безпосередньо з кар'єрних самоскидів, залізничних вагонів або скіпових підйомників. Робоча поверхня формується з колосників спеціального фасонного профілю, які встановлюються під певним кутом до горизонту. Трапецієподібна форма поперечного перерізу колосників створює отвори, що розширюються донизу, радикально знижуючи ймовірність заклинювання та застрягання кусків породи в решітці.

Технічні параметри обладнання передбачають встановлення технологічних щілин у діапазоні від 50 до 200 мм. Ширина робочої зони грохота корелюється з фронтом подачі матеріалу, причому для запобігання пружним заторам між бортами загальний габарит колосникової решітки має щонайменше втричі перевищувати розмір найбільшого навантажувального куска. Продуктивність сучасних установок варіюється від 25 до 300 т/год і вище. При розташуванні безпосередньо перед щоківними або конусними дробарками великого розміру, грохоти виконують комбіновану функцію живильника-сортувальника, забезпечуючи рівномірне подання сировини та відсіювання дрібної фракції, яка вільно проходить через вихідну щілину дробарки.

Експлуатаційні можливості грохота визначаються його значними геометричними параметрами та динамічними характеристиками. Робоча площа просіюючої поверхні агрегату становить 6200x3100 мм, що у поєднанні з кутом нахилу в 25° забезпечує ефективне проходження матеріалу через колосники. Процес розділення фракцій відбувається при стабільній частоті вібрацій, що складає 600 коливань за хвилину, при цьому розмах амплітуди коливальних рухів зафіксований на позначці 3 мм.

					<i>КНУ.КБР.131.26.1-20.01.34</i>			
<i>Змін.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ Документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Олексієнко</i>						
<i>Перевір.</i>		<i>Кравцова</i>						
<i>Н. контр.</i>		<i>Нечаєв</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Рязанцев</i>						

<i>Загальна частина</i>			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
			<i>Кафедра ТМ гр. ПМ-22</i>		

Конструктивна масштабність установки підкреслюється її габаритними розмірами: при загальній довжині 6990 мм висота машини сягає 5100 мм. Ширина основного корпусу без урахування приводних вузлів становить 4200 мм, проте при повній комплектації разом із двигуном цей параметр збільшується до 5090 мм. Висока металомісткість агрегату зумовлює його значну вагу, яка в робочому стані дорівнює 2500 кг, що гарантує необхідну інерційність та стійкість під час сортування великих об'ємів породи.

Силова установка грохота базується на використанні електродвигуна потужністю 15 кВт, який працює з номінальною частотою обертання 935 обертів за хвилину. Таке енергетичне забезпечення дозволяє обладнанню стабільно витримувати завантаження кусків гірничої маси з максимальною крупністю до 1000 мм. Завдяки злагодженій роботі всіх вузлів, сумарна продуктивність установки підтримується на рівні 60 тонн на годину, що повністю задовольняє потреби технологічної лінії збагачувальної фабрики.

Основу конструкції агрегату складає посилений футерований короб, у внутрішньому просторі якого на декількох рівнях змонтовані колосникові решітки. Джерелом механічних коливань виступає вібратор, розташований у центральній частині короба. Його вал базується на двох роликів підшипниках, що жорстко закріплені на корпусі, та надійно захищений від абразивного пилу і випадкових ударів спеціальним кожухом. Динамічна рівновага та можливість плавного регулювання статичного моменту забезпечуються за рахунок симетрично встановлених на кінцях вала дебалансів. Привод системи здійснюється через клинопасову передачу, що з'єднує шків електродвигуна з привідним шківом вібратора.

Для мінімізації динамічних навантажень на привод та подовження ресурсу пасів, привідний шків встановлюється на вал із певним ексцентриситетом. Значення цього зміщення корелюється з амплітудою робочих коливань грохота, що дозволяє запобігти передачі вібраційних імпульсів безпосередньо на вал двигуна. Робота дебалансного механізму генерує відцентрові сили інерції, які змушують короб виконувати циклічні коливальні рухи. Параметри цих коливань (амплітуда та частота) напряду залежать від маси дебалансів, характеристик амортизуючої системи та поточного навантаження гірничою масою.

Конструкція спирається на жорсткий фундамент через систему чотирьох опорних кронштейнів, обладнаних пружинними амортизаторами. Важливою інженерною перевагою інерційного грохота є ефект «самозахисту»: при збільшенні об'єму матеріалу на решітках амплітуда коливань автоматично знижується. Це стабілізує навантаження на підшипникові вузли та дозволяє ефективно використовувати машину для первинного відсіву дрібної фракції з масивних шматків породи перед їх подачею на дроблення.

Надійність та довговічність обладнання в умовах високої запиленості та абразивного впливу середовища критично залежать від дотримання регламенту технічного обслуговування. Перед запуском необхідно проводити ретельну

					КНУ.КБР.131.26.1-20.01.34	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

перевірку цілісності віброуючої рами та станини на предмет відсутності сторонніх предметів. Особливу увагу слід приділяти натягу просіюючих елементів: недостатня фіксація сит спричиняє хаотичні коливання матеріалу, що призводить до прискореного втомного руйнування металу та суттєвого зниження точності сортування.

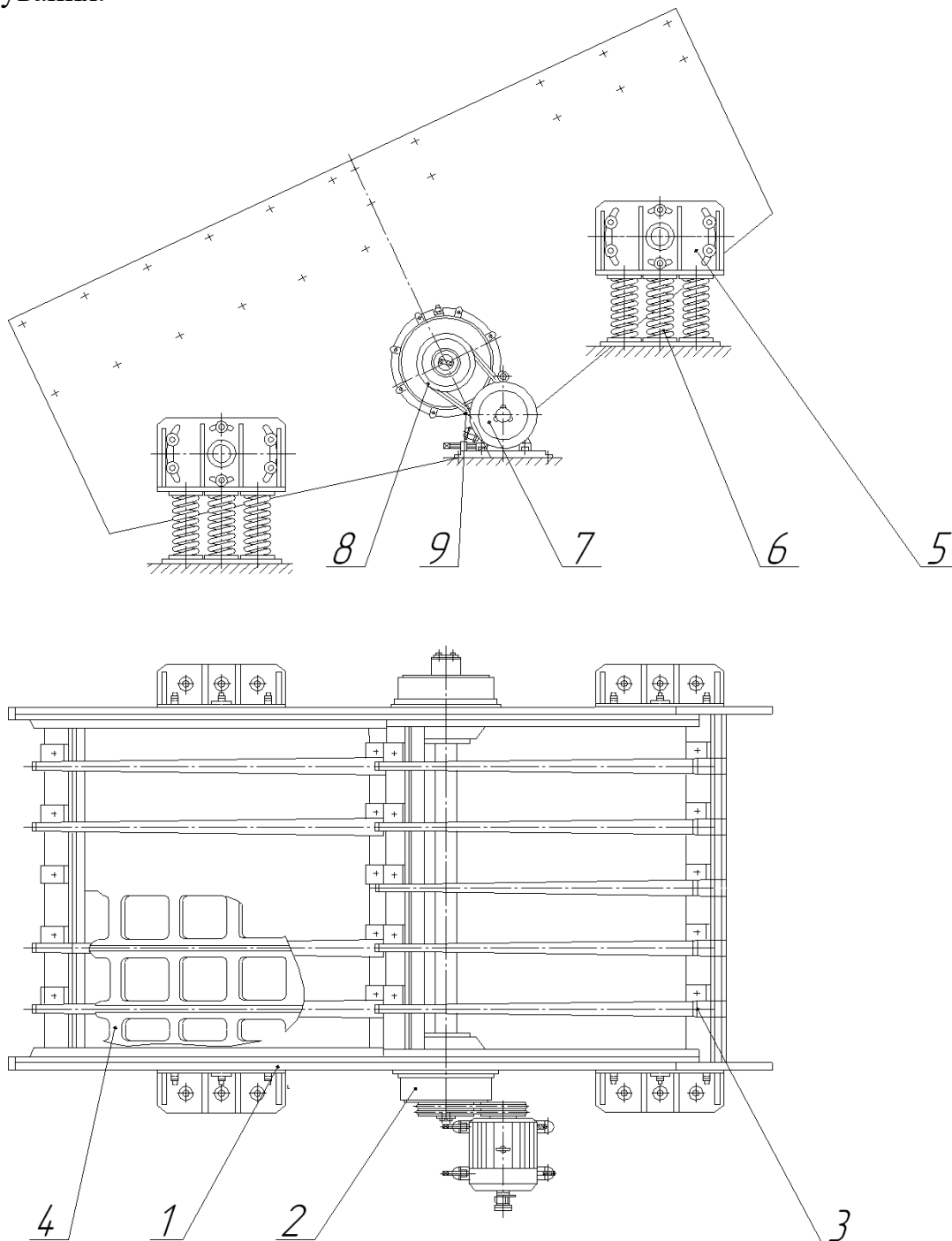


Рисунок 1.1 – Грохот колосниковий інерційний (1 – футерований короб; 2 – вібратор; 3 – колосник; 4 – ґратки; 5 – кронштейн; 6 – пружина; 7 – електродвигун; 8 – шків ведений; 9 – клинопасова передача)

Показники продуктивності та якості фракційного поділу на колосникових грохотах знаходяться у прямій залежності від фізико-механічних властивостей сировини та дотримання геометричних параметрів установки. Визначальними

					КНУ.КБР.131.26.1-20.01.34	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

чинниками тут виступають рівень вологості матеріалу, стабільність його подачі на решітку, а також кут нахилу робочої поверхні відносно горизонту.

Особливу увагу слід приділяти вологовмісту гірничої маси, оскільки надмірна волога провокує адгезію дрібних частинок, що призводить до їх злипання та суттєвого погіршення якості просіювання. Оптимальним вважається обробка сухого або підсушеного матеріалу, що мінімізує ризик забивання технологічних отворів. Процес завантаження решіток має розпочинатися виключно після виходу вібратора на номінальну робочу швидкість. Під час експлуатації критично важливо забезпечувати рівномірний розподіл потоку по всій ширині сита, уникаючи локальних перевантажень. Формування занадто товстого шару породи не лише сповільнює її просування, а й створює «ефект подушки», коли дрібна фракція не встигає досягти отворів і помилково транспортується у наступні секції грохота.

Геометрія встановлення обладнання також відіграє ключову роль у забезпеченні точності сортування. Надмірно великі кути нахилу призводять до того, що зерна породи просто прослизують над отворами під дією сили тяжіння, не встигаючи провалитися крізь решітку. Значення кута нахилу має суворо відповідати проектним даним технічного паспорта конкретної моделі машини.

Поряд із моніторингом робочих параметрів, регламент експлуатації передбачає регулярне виконання налагоджувальних робіт. У вібраційних системах це зазвичай стосується коригування відцентрових сил інерції за допомогою змінних дебалансних вантажів або шайб. Метою такого регулювання є досягнення динамічної рівноваги, при якій відцентрові сили компенсують інерцію вібруючого короба. Такі маніпуляції є обов'язковими після кожної заміни робочих поверхонь (сит) або капітального ремонту вузлів. Завершальним етапом кожної робочої зміни має бути повна зупинка агрегату та його ретельне очищення від залишків переробленого щебеню чи руди, що запобігає корозії та затвердінню нашарувань пилу.

1.2 Аналіз параметрів точності деталі

За конструктивними ознаками деталь належить до класу порожнистих ступінчастих циліндрів і являє собою тіло обертання зі складним зовнішнім профілем.

Геометрія втулки передбачає наявність розвиненого фланця з чотирма симетрично розташованими отворами, що дозволяє здійснювати точне базування та надійне болтове з'єднання вузла з корпусними елементами. Конфігурація зовнішніх посадкових поверхонь деталі розроблена таким чином, щоб забезпечити щільне спраження з іншими компонентами розпірної системи, гарантуючи стійкість вузла до інтенсивних вібраційних впливів.

Основна роль втулки полягає у забезпеченні жорсткої фіксації елементів штанги, що критично важливо для підтримки співвісності привода та запобігання проковзуванню пасів.

					КНУ.КБР.131.26.1-20.01.34	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Точність геометричної форми, найвищу точність має поверхня Ø18H7. Точність взаємного розташування поверхонь: а) перпендикулярність поверхонь не більше 0,02мм, б) радіальне биття не більше 0,03мм,

За результатами проведення аналізу точності деталі заповнюємо таблицю 1.1.

Таблиця 1.1 - Аналіз параметрів точності поверхонь деталі „Втулка”

Номер поз. деталі	Назва поверхні (елемента)	Розміри з відхиленнями	Квалітет точності	Шорсткість, R_a
1	2	3	4	5
1	Циліндрична	Ø70 _{-0,046}	h8	1.25
2	Циліндрична	Ø50 ^{+0,039}	H8	1.25
3	Бокова поверхня	45	IT14/2	10
4	Бокова поверхня	100	IT14/2	10
5	Бокова поверхня	45	IT14/2	10
6	Циліндрична	Ø18 ^{+0,01}	H7	1.25
7	Фаска	2x45°	IT14/2	2.5
8	Циліндрична	Ø20 ^{+0,052}	H9	1.25
9	Циліндрична	Ø50	IT14/2	2.5
10	Циліндрична	Ø51	IT14/2	1.25
11	Циліндрична	Ø10 ^{+0,022}	H8	1.25
12	4 отвори	Ø9	IT14/2	10

Виконавши аналіз параметрів точності деталі робимо висновок – шорсткість поверхонь відповідає вимогам точності. Найнижча шорсткість $R_a = 1,25$ мкм. Деталь легко виготовляється в умовах серійного виробництва.

1.3 Аналіз матеріалу деталі

Вибір матеріалу для виготовлення втулки обґрунтовується умовами її експлуатації та технологічними вимогами до процесу виробництва. Як основний матеріал для отримання заготовок методом штампування прийнято якісну конструкційну вуглецеву сталь марки 45 згідно з ДСТУ 7809:2015. Дана марка сталі належить до групи матеріалів, що забезпечують високу надійність деталей, які піддаються значним статичним та динамічним навантаженням, що повною мірою відповідає режиму роботи розпірної штанги колосникового грохота.

Високий вміст вуглецю у складі сталі 45 зумовлює її добру загартовуваність, дозволяючи досягти необхідних показників поверхневої твердості та міцності готового виробу після термічної обробки. З метою покращення технологічних властивостей матеріалу, зокрема підвищення його оброблюваності різанням на чорнових та чистових операціях, передбачається попередня термічна обробка у вигляді нормалізації. Завдяки оптимальному поєднанню механічних характеристик та відносно низької вартості, сталь 45 є одним із найбільш розповсюджених матеріалів для виготовлення відповідальних деталей машин,

					КНУ.КБР.131.26.1-20.01.34	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

таких як вали, втулки, шестерні та кулачки. Детальні відомості щодо хімічного складу та механічних властивостей обраної сталі, а також її можливих замінників, систематизовано та наведено у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2- Хімічний склад і механічні властивості Сталі 45 та замінника

Марка матеріалу	Хімічний склад в %	Механічні властивості
Сталь 45	(Si) 0.17-0.37 (Mn) 0.50-0.80 (Ni), не більше 0.25 (P), не більше 0.035 (Cr), не більше 0.25 (S), не більше 0.04	$\sigma_B = 640$ МПа HB= 170-179 МПа Зварюваність: Погано зварюваний.
Сталь 40	(Si) 0.17-0.37 (Mn) 0.50-0.80 (Cu), не більше 0.25 (Ni), не більше 0.25 (P), не більше 0.35 (Cr), не більше 0.25 (S), не більше 0.04	$\sigma_B = 520$ МПа HB=170 МПа Зварюваність: Погано зварюваний.

Як видно із таблиці, можливе використання і сталі 40 при відсутності сталі 45. Але в першу чергу, при приблизно однакових механічних властивостях, потрібно враховувати економічну доцільність вибору матеріалу для виготовлення деталі.

1.4 Характеристика виробничої програми. Визначення типу виробництва за укрупненими показниками

Виробнича програма виступає базовим параметром, що визначає організаційно-технічну структуру проектного технологічного процесу виготовлення втулки. Аналіз обсягів випуску продукції та її характеристик дозволяє встановити ступінь стабільності виробничих умов протягом планового періоду, що є критично важливим для прийняття раціональних інженерних рішень на всіх подальших етапах проектування. Визначення типу виробництва за укрупненими показниками базується на комплексному дослідженні номенклатури виробів та розрахунку коефіцієнта закріплення операцій, який відображає відношення кількості всіх різних технологічних операцій до кількості робочих місць на дільниці. Такий методичний підхід дає змогу обґрунтовано класифікувати дане виробництво за певним розрядом — від одиничного до масового — що в подальшому визначає економічну та технологічну політику підприємства.

Встановлення типу виробництва безпосередньо диктує вибір конкретних методів та засобів технологічного оснащення для обробки деталей зі сталі 45. Зокрема, це дозволяє визначити доцільність застосування універсального чи спеціалізованого обладнання, верстатів з числовим програмним керуванням або

					КНУ.КБР.131.26.1-20.01.34	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

автоматичних ліній. Характеристика виробничої програми також регламентує вибір заготовки та методів її отримання, ступінь спеціалізації робочих місць та рівень кваліфікації персоналу. Таким чином, цей розділ слугує фундаментом для побудови маршрутної технології, оскільки він встановлює баланс між технічними можливостями виробництва та необхідною продуктивністю, забезпечуючи мінімізацію собівартості виробу при безумовному дотриманні вимог креслення. Обґрунтування типу виробництва дозволяє системно організувати виробничий процес, забезпечити його ритмічність та сформувати базу для розрахунку техніко-економічних показників КБР.

Обчислення виробничої програми виконується на основі заданого річного обсягу випуску деталей з обов'язковим урахуванням додаткових потреб у запасних частинах та компенсації технологічно неминучого браку. Для визначення повної розрахункової величини річної програми випуску N використовується залежність:

$$N = N_p \cdot \left(1 + \frac{\alpha + \beta}{100}\right)$$

де N_p — річне завдання згідно з вихідними даними, α — відсоток випуску деталей для потреб ремонту та постачання як запасних частин, а β — відсоток технологічних втрат, що зазвичай приймається в межах від 0.5% до 2% залежно від складності обробки та стабільності технологічного процесу.

Для систематизації вихідних даних та проведення розрахунку річної виробничої програми втулки, що є фундаментальним кроком для подальшого проектування технологічного процесу, нижче наведено розрахункову таблицю. Структура таблиці дозволяє послідовно внести планове завдання та врахувати коефіцієнти, що відповідають за формування запасу деталей для ремонтних потреб і компенсацію можливого технологічного браку. Такий підхід забезпечує точність визначення загальної кількості заготовок, необхідних для запуску у виробництво, та створює базу для розрахунку такту випуску й коефіцієнта закріплення операцій.

Таблиця 1.3 — Обчислення виробничої програми

Найменування показника	Умове позначення	Одиниця виміру	Значення або розрахункова формула
1	2	3	4
Річне планове завдання	N_p	шт.	1000
Відсоток випуску на запасні частини	α	%	7
Відсоток технологічних втрат (брак)	β	%	1
Розрахункова річна виробнича програма	N	шт.	1080

Такий підхід забезпечує формування реального плану завантаження виробничих потужностей та дозволяє точно визначити кількість необхідного матеріалу і заготовок, які мають надійти на першу операцію для забезпечення кінцевого результату. Отримане значення виробничої програми є вихідною базою для розрахунку такту випуску — часового інтервалу, через який періодично

повторюється вихід готової втулки з останньої операції. Розрахована програма дозволяє в подальшому перейти до обчислення коефіцієнта закріплення операцій, що є вирішальним фактором при остаточному призначенні типу виробництва, виборі структури технологічних операцій та ступеня автоматизації верстатного парку. Таким чином, коректне визначення обсягів виробництва гарантує ритмічність роботи дільниці та забезпечує виконання планових завдань з урахуванням внутрішніх виробничих ризиків та зовнішніх експлуатаційних потреб.

Розрахунок програми запуску виробів $N_{\text{зап}}$ здійснюється з метою визначення фактичної кількості заготовок, яку необхідно ввести в технологічний процес для забезпечення заданого обсягу виходу готової продукції. Оскільки в умовах реального виробництва втулок зі сталі 45 неминучим є виникнення певного відсотка технологічного браку на етапах механічної або термічної обробки, програма запуску завжди перевищує програму випуску. Обчислення проводиться за залежністю:

$$N_{\text{зап}} = N_{\text{вип}} \cdot \left(1 + \frac{\beta}{100}\right)$$

де $N_{\text{вип}}$ — кількість придатних деталей, необхідних для виконання плану та формування фонду запасних частин, β — відсоток технологічних втрат. У випадках, коли загальна виробнича програма на етапі попередніх розрахунків уже була сформована з урахуванням коефіцієнтів на запасні частини та втрати, отримане значення фактично і є програмою запуску, що стає вихідною точкою для розрахунку потреб у матеріалах. Точне визначення цього показника дозволяє запобігти дефіциту деталей на фінальних операціях контролю та забезпечує економічну обґрунтованість заготівельних операцій. Програма запуску є ключовим параметром для нормування витрат металу та планування графіків роботи першої операції маршрутного технологічного процесу, що в сукупності забезпечує ритмічність та стабільність виробничого циклу підприємства.

Таблиця 1.4 — Обчислення програми запуску

Найменування показника	Умове позначення	Одиниця виміру	Значення
1	2	3	4
Річна програма випуску (з урахуванням запчастин)	$N_{\text{вип}}$	шт.	1080
Відсоток технологічних втрат	β	%	5
Програма запуску виробів	$N_{\text{зап}}$	шт.	1134

Враховуючи розраховану річну програму випуску в обсязі 1080 одиниць та фактичну масу втулки 2,72 кг, даний виріб відноситься до категорії деталей середньої ваги, що за сукупністю показників дозволяє класифікувати виробництво як великосерійне. Такий масштаб випуску свідчить про високу стабільність виробничих умов та спеціалізацію робочих місць, де за кожною одиницею обладнання закріплюється обмежена кількість постійно повторюваних операцій. Характерною особливістю обраного типу виробництва є можливість застосування

					КНУ.КБР.131.26.1-20.01.34	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

передових методів організації праці, що забезпечують безперервність технологічного циклу та ритмічність виходу готової продукції зі сталі 45.

Визначений великосерійний тип виробництва безпосередньо обґрунтовує доцільність використання високопродуктивного автоматизованого устаткування, зокрема верстатів із числовим програмним керуванням та спеціалізованих агрегатів. Це створює умови для застосування складного технологічного оснащення, багатомісних пристроїв та прогресивного різального інструменту, що значно скорочує витрати часу на переналагодження та основну обробку. Такий підхід гарантує досягнення високої точності геометричних параметрів втулки при одночасному зниженні собівартості виробу, що є ключовим показником економічної ефективності проектного технологічного процесу в межах кваліфікаційної роботи.

					КНУ.КБР.131.26.1-20.01.34	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Аналіз технологічності втулки

Конструкція машини, деталі, вузла є технологічною, якщо вона відповідає усім технічним та експлуатаційним вимогам і коли на її виготовлення та обслуговування витрачається мінімальна кількість праці.

Основні вимоги до технологічності втулки заносимо до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 — Вимоги до технологічності втулки

№ з/п	Показник технологічності	Висновки	Заходи, що треба взяти для поліпшення технологічності
1	2	3	4
1	Наявність зручних технологічних баз, що забезпечують необхідну орієнтацію та надійне закріплення заготовки	Так, є	Базування за зовнішню циліндричну поверхню спец. кулачками
2	Чи необхідні додаткові ребра жорсткості?	Так, потрібні	У конструкції деталі є ребра жорсткості
3	Наявність глухих отворів	Ні, немає	Деталь не має глухих отворів
4	Чи є внутрішні торці, які необхідно обробити?	Так, є	Наявність внутрішніх торців вимагає застосування спец. інструментів
5	Наявність отворів глибиною більше за 8D?	Ні, немає	—
6	Чи можлива багатошпindelна та багатоінструментальна обробка?	Так, можлива	Розміри та конструкція деталі дозволяють застосовувати багатоінструментальну обробку
7	Чи є скоси або пази під кутами, відмінними від 45° чи 90°	Ні, немає	Конструкція деталі не передбачає скосів під кутом відмінним від 45°
8	Чи є отвори, що не перпендикулярні поверхні?	Ні, немає	—
9	Чи є різьби менші, ніж М6?	Ні, немає	Необхідно обмежувати застосування різьб менших, ніж М6
10	Чи від однієї технологічної бази проставлені розміри?	Ні, не від однієї	Конструкція деталі не дає можливості проставити всі розміри від однієї бази
11	Чи є великі перепади діаметрів?	Ні, немає	—

Кожна деталь повинна виготовлятися із мінімальними трудовими і матеріальними витратами. Ці витрати можна скоротити в значній мірі від правильного варіанту технологічного процесу, його оснащення, механізації й

					<i>КНУ.КБР.131.26.1-20.02.ТЧ</i>		
<i>Змін.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ Документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Технологічна частина</i>		
<i>Розроб.</i>	<i>Олексієнко</i>						
<i>Перевір.</i>	<i>Кравцова</i>						
<i>Н. контр.</i>	<i>Нечаєв</i>						
<i>Затверд.</i>	<i>Рязанцев</i>				<i>Кафедра ТМ гр. ПМ-22</i>		

автоматизації, використання оптимальних режимів обробки та правильної підготовки виробництва. Відпрацювання на технологічність деталі передбачає проведення оцінки в процесі її конструювання.

Вимоги до технологічності базуються на таких принципах, як досягнення мінімальної кількості операційних переходів, максимальної концентрації переходів, що призводить до зменшення номенклатури дорогого обладнання. Всі ці фактори мають суттєвий вплив на собівартість виготовлення деталей та заготовок.

Деталь — втулка — виготовляється із сталі Сталь 45 штампуванням на кривошипному гаряче штампованому пресі, тому конфігурація зовнішнього контуру та внутрішніх поверхонь не викликають значних труднощів при отриманні заготовки. Однак навіть при цьому формування заготовки повинне проводитися з врахуванням штампувальних ухилів та радіусів, які забезпечують вільне рознімання штампа та вивільнення заготовки після штампування.

Висновок: деталь технологічна за більшістю показників.

2.2 Техніко-економічне обґрунтування виготовлення заготовки

Вибір поковки як вихідної заготовки для виготовлення втулки зі сталі 45 обумовлений техніко-економічними показниками великосерійного виробництва та вимогами до фізико-механічних властивостей готового виробу. На відміну від використання сортового прокату, метод гарячого штампування дозволяє отримати заготовку, геометрія якої максимально наближена до конструктивних параметрів деталі, що забезпечує високий коефіцієнт використання металу та суттєве зменшення обсягів стружки при механічній обробці. Застосування поковки також сприяє формуванню сприятливої макроструктури сталі 45, оскільки в процесі деформації напрямок волокон металу орієнтується вздовж контуру деталі, що значно підвищує міцнісні характеристики та втомну витривалість втулки в умовах експлуатаційних навантажень.

Прийнятий клас точності T1 у поєднанні зі ступенем складності C2 відображає високий рівень технологічності заготовки, що дозволяє мінімізувати припуски на подальше точіння та шліфування поверхонь. Вибір групи сталі M1 є обґрунтованим для середньовуглецевої якісної сталі 45, забезпечуючи необхідну пластичність матеріалу при штампуванні та стабільність результатів подальшої термічної обробки. В умовах річної програми 1080 одиниць використання штампованої заготовки є економічно доцільним, оскільки витрати на проектування та виготовлення штампової оснастки повністю компенсуються скороченням основного технологічного часу на металорізальних верстатах. Таким чином, обраний метод отримання заготовки забезпечує раціональний баланс між витратами на заготовку та трудомісткістю механічної обробки, що відповідає сучасним вимогам до проектування технологічних процесів у машинобудуванні.

Розрахунок вартості заготовки є ключовим етапом економічного аналізу, що дозволяє визначити прямі витрати на матеріал та оцінити ефективність використання металу в обраному технологічному процесі. Для втулки зі сталі 45

					КНУ.КБР.131.26.1-20.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

вартість поковки визначається на основі ринкових цін на сортовий прокат, що слугує вихідною сировиною для штампування, з урахуванням повернення коштів від реалізації технологічних відходів у вигляді сталевих стружки. Згідно з актуальними ринковими даними на 2026 рік, середня вартість однієї тонни сталевих круж діаметром 170 мм (сталь 45) становить приблизно 41 000 грн, тоді як вартість реалізації однієї тонни сталевих стружки (брухт категорії "стружка") складає близько 4 000 грн.

Станом на 2026 рік, враховуючи індексацію цін на енергоносії та середньоринкову вартість якісного металопрокату зі сталі 45, базова вартість штампованої заготовки для деталей другої групи складності (С2) та середньої масової категорії становить приблизно 58 000 – 64 000 грн/т.

Отриманий результат Кв.м повністю відповідає нормативним вимогам для штампованих поковок середньої складності в машинобудуванні та підтверджує раціональність вибору гарячого штампування порівняно з використанням сортового прокату, де цей коефіцієнт був би значно нижчим. Високий рівень використання металу в умовах великосерійного виробництва дозволяє суттєво знизити прямі витрати на сировину та мінімізувати трудомісткість робіт, пов'язаних із переробкою та транспортуванням значної кількості технологічних відходів у вигляді стружки. Такий показник ефективності забезпечує економічну обґрунтованість розробленого технологічного процесу та підкреслює його відповідність сучасним принципам ресурсозбереження.

Таблиця 2.2 — Розрахунок вартості заготовки

Найменування показника	Умове позначення	Одиниця виміру	Розрахункова формула	Значення
1	2	3	4	5
Маса готової деталі (втулки)	q	кг	-	2,72
Маса заготовки (поковки)	Q	кг	-	4.1
Маса відходів (стружки)	Mвідх	кг	Q - q	1.1
Коефіцієнт використання металу	Кв.м.	-	q / Q	0.1
Базова вартість 1 тонни поковки	Sбаз	грн/т	-	58000
Ціна 1 тонни відходів (стружки)	Sвідх	грн/т	-	4000
Розрахункова вартість заготовки	Cзаг	грн	(Q*Sбаз/1000) - (Mвідх*Sвідх/1000)	248,48

2.3 Вибір маршруту

Проектований маршрут базується на принципах високої концентрації операцій та максимального використання потенціалу обладнання з ЧПК, що дозволяє оптимізувати виробничий цикл для великосерійного випуску деталей зі сталі 45. Використання штампованої заготовки (оп. 005) з мінімальними припусками та послідовна обробка на токарних центрах Haas ST-20 (оп. 010, 015) забезпечує досягнення високих квалітетів точності та шорсткості Ra 1,25 мкм без необхідності проведення додаткових шліфувальних операцій. Подальше виконання свердлильних (оп. 020) та фрезерних (оп. 025) переходів на вертикально-обробному центрі Haas VF-2 гарантує жорстке дотримання допусків розташування поверхонь та отворів, а фінальна контрольна операція (оп. 030)

					КНУ.КБР.131.26.1-20.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

забезпечує повну верифікацію геометричних параметрів втулки перед її експлуатацією в напружених умовах розпірної штанги колосникового грохота.

Таблиця 2.3 — Маршрут обробки втулки

№ операції	Найменування	Короткий зміст
005	Заготівельна	Отримання поковки методом гарячого об'ємного штампування, очищення від окалини та контроль геометричних параметрів
010	Токарна	Обточування зовнішнього діаметра, торцювання, свердління центрального отвору
015	Токарна	Остаточне точення поверхонь, розточування отвору, зняття фасок
020	Свердлильна	Свердління отворів. Нарізання різьби
025	Фрезерна	Фрезерування пазу
030	Контрольна	Кінцева перевірка розмірів та биття

2.4 Розроблення структури та зміст технологічних операцій

Проектований техпроцес реалізує стратегію інтенсифікації обробки за рахунок повної синхронізації динамічних характеристик центрів Haas ST-20 з різальним потенціалом інструменту Sandvik Coromant. Використання сучасного сплаву 4425 та прогресивних швидкостей різання до 378 м/хв дозволяє стабільно витримувати шорсткість Ra 1,25 мкм виключно методами лезової обробки, що суттєво знижує собівартість виготовлення при великосерійному випуску.

Такий технологічний підхід забезпечує надзвичайно високу продуктивність, де час виконання окремих переходів складає лише 2,68 с, що гарантує раціональне використання ресурсів та необхідну втомну міцність втулки для тривалої роботи в умовах інтенсивної вібрації колосникового грохота.

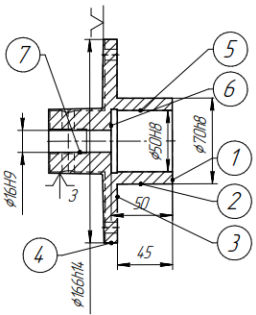
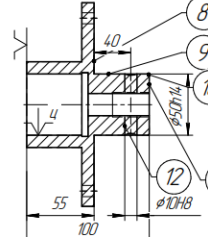
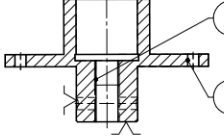
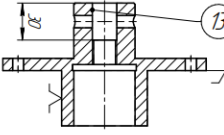
Впровадження автоматизованої зміни інструменту та прецизійних систем базування Haas мінімізує частку допоміжного часу, гарантуючи високу ритмічність виходу продукції при заданих обсягах випуску. Висока жорсткість технологічної системи при роботі на потужностях до 7,83 кВт забезпечує повну ідентичність геометричних параметрів кожної деталі в партії.

Таблиця 2.4 - Розроблена структура та зміст технологічного процесу виготовлення втулки

№ і назва операції	Модель верстата та пристосування	Операційний ескіз	Номери і зміст переходів та установів	Різальний інструмент	Вимірний інструмент
005 Заготівельна	Кришталінний гарячештампувальний прес		Штампування		Штангельциркуль ШЦ-ІІ-200-0,05 ДСТУ EN ISO 13385-12018

					КНУ.КБР.131.26.1-20.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 2.4

№ і назва операції	Модель верстатата та пристосування	Операційний ескіз	Номери і зміст переходів та установок	Різальний інструмент	Вимірний інструмент
010 Токарна	Високопродуктивний токарний центр Haas ST-20 Трикутний самоцентруючий гідролічний патрон		Встановити, закріпити та зняти деталь 1.Точити попередньо пдб. 12,3,4 згідно програми виримуючі розміри $\phi 16,7$, $\phi 71$ 2.Точити напівчисто пдб. 12,3,4 згідно програми виримуючі розміри $\phi 16,6h14$, $\phi 70,5h9$ 3.Точити кінцево пдб. 12,5,6 виримуючі розміри 45 $\phi 70h8$ 4.Точити попередньо пдб. 5,6 виримуючі розмір $\phi 51,5h8$ 5.Точити напівчисто пдб. 5,6 виримуючі розмір $\phi 50,5h10$ 6.Точити кінцево пдб. 5,6 виримуючі розміри 50, $\phi 50h8$ 7.Свердлити центральний отвір 3 пдб. 6 8.Свердлити наскрізний отвір 7 $\phi 12H11$ 9.Розсвердлити наскрізний отвір 7 $\phi 16H9$	Sandvik Coromant 1. 2. 3. Тримач T-Max P DSSNR 2020K 12 Різець T-Max P SNMG 12 04 12-PR 44,25 4. 5. 6. 7. Тримач CoroTurn 107 A20S-SDXCR 11 Різець CoroTurn 107 DCMT 11 T3 12-PR 44,25 8. CoroDrill Dura 462 462 F-1200-060A1-XM X2BM 9. Тримач CoroTurn 107 E10M-SCLR 06-R Різець CoroTurn 107 DCMT 06 02 08-UM 1125	Штангельциркуль ШЦ-II-200-0,05 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018
015 Токарна	Високопродуктивний токарний центр Haas ST-20 Опрабка цангою		Перевстановити, закріпити та зняти деталь 1.Точити пдб. 8,9,10,11 наочно виримуючі розміри 50,5h12, $\phi 51h14$ 2.Точити пдб. 8, напівчисто виримуючі розміри 10,5h12, $\phi 50h14$, 4,5, 2x45° 3.Свердлити отвір 12 $\phi 10H8$ ^{+0,022} наскрізна.	Sandvik Coromant 1. 2. Тримач T-Max P DSSNR 2020K 12 Різець T-Max P SNMG 12 04 12-PR 44,25 3. CoroDrill 860-PM 860 F-1000-080A1-PM P1BM	Штангельциркуль ШЦ-II-200-0,05 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018 Зразки шорсткості згідно стандарту
020 Свердлильна	Вертикально-обробний центр Haas VF-2 Опрабка циліндрична		Встановити, закріпити та зняти деталь 1.Свердлити 4 отвори 11 $\phi 9_{H8}$ наскрізна 2. Нарізати різьбу пдб. 5 M18-7H довжина 20.	Sandvik Coromant 1. CoroDrill Dura 462 462 F-0900-027A1-XM X2BM 2. T-Max U-Lock R166.0KF-16-1220-11B	Штангельциркуль ШЦ-II-200-0,05 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018 Різьбоділ калібр-пробка згідно стандарту
025 Фрезерна	Вертикально-обробний центр Haas VF-2 Опрабка циліндрична		Встановити, закріпити та зняти деталь 1.Фрезерувати паз 13 ширина 20H9 ^{+0,052} глибина 30h14.	Sandvik Coromant 1. CoroMill 331 M31.35C-125S4.00M080	Штангельциркуль ШЦ-II-200-0,05 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018
030 Слюсарна	Відбрайцентрова установка Лазерний маркер		Запиляти радіуси, скіси, притупити гострі крайки, калібрувати різьбу M18-7H. Запиляти гострі крайки. Маркувати.	Напилек	
035 Ми́лина	Ультразвукова ми́лина машина з вакуумною сушкою		1.Притупити деталь розчином технічної кальціюваної соди $t=80\pm 5^\circ\text{C}$. 2.Сушка.		
040 Контрольна	Координатно-вимірвальна машина		Контролювати розміри згідно креслення		

2.5 Вибір металорізальних верстатів, оснащення та різальних інструментів

Впровадження високопродуктивних обробних центрів фірми Haas (табл. 2.5) обумовлено переходом до великосерійного типу виробництва та необхідністю забезпечення стабільної якості деталей в умовах інтенсивних режимів різання. Вибір токарного центру Haas ST-20 дозволяє повною мірою реалізувати потенціал обраного інструменту Sandvik Coromant, забезпечуючи необхідну жорсткість технологічної системи при швидкостях різання до 378 м/хв та частоті обертання шпинделя понад 4000 об/хв. Це гарантує стабільне отримання шорсткості Ra 1,25 мкм на посадкових поверхнях втулки виключно методами лезової обробки, що дозволяє виключити шліфувальні операції з маршруту, суттєво знизити собівартість та скоротити виробничий цикл.

Використання вертикально-обробного центру Haas VF-2 для виконання свердлильно-фрезерних робіт забезпечує високу точність взаємного розташування отворів фланця та паза, виключаючи похибки, притаманні універсальному обладнанню. Завдяки високим швидкостям позиціонування та автоматичній зміні інструменту вдається досягти мінімального допоміжного часу,

						Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата	КНУ.КБР.131.26.1-20.02.ТЧ	

що в поєднанні з інтенсивними подачами дозволяє виконувати переходи свердління наскрізних отворів лише за 2,68 секунди. Таке технічне переоснащення створює єдиний високотехнологічний комплекс, який забезпечує повну ідентичність геометричних параметрів кожної деталі в партії та гарантує надійність роботи втулки в напружених умовах розпірної штанги колосникового грохота.

Таблиця 2.5 – Вибір верстатів та обґрунтування

Операція за ТП	Старий верстат (універсальний)	Новий верстат Haas (ЧПК)	Технологічне обґрунтування
1	2	3	4
010, 015 Токарна	16K20	Haas ST-20	Забезпечує необхідну потужність (до 7.83 кВт) та крутний момент (до 106 Нм) для обробки поверхонь Ø168 мм.
020 Свердлильна	2455 (Радіально-свердлильний)	Haas VF-2	Дозволяє виконувати свердління 4-х отворів Ø9 мм та нарізання різьби М18 з високою точністю позиціонування.
025 Фрезерна	6112 (Вертикально-фрезерний)	Haas VF-2	Вертикально-обробний центр забезпечує жорсткість при фрезеруванні паза завширшки 20 мм.

Таблиця 2.6 – Вибір різального інструменту

Операція за ТП	Найменування інструмента
1	2
010 Токарна	Sandvik Coromant 1, 2, 3. Тримач T-Max P DSSNR 2020K 12 Різець T-Max P SNMG 12 04 12-PR 4425 4, 5, 6, 7. Тримач CoroTurn 107 A20S-SDXCR 11 Різець CoroTurn 107 DCMT 11 T3 12-PR 4425 8. CoroDrill Dura 462 462.1-1200-060A1-XM X2BM 9. Тримач CoroTurn 107 E10M-SCLCR 06-R Різець CoroTurn 107 CCMT 06 02 08-UM 1125
015 Токарна	Sandvik Coromant 1, 2. Тримач T-Max P DSSNR 2020K 12 Різець T-Max P SNMG 12 04 12-PR 4425 3. CoroDrill 860-PM 860.1-1000-080A1-PM P1BM
020 Свердлильна	Sandvik Coromant 1. CoroDrill Dura 462 462.1-0900-027A1-XM X2BM 2. T-Max U-Lock R166.0KF-16-1220-11B
025 Фрезерна	Sandvik Coromant 1. CoroMill 331 N331.35C-125S40DM080

Вибір різального інструменту Sandvik Coromant (табл. 2.6) для обробки втулки зі сталі 45 обумовлений необхідністю поєднання високої продуктивності великосерійного виробництва з жорсткими вимогами до точності та якості поверхонь. Застосування системи T-Max P з тримачами DSSNR та пластинами

					КНУ.КБР.131.26.1-20.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

SNMG 12 04 12-PR у поєднанні зі сплавом 4425 забезпечує стабільне видалення металу при торцюванні та обточуванні зовнішніх діаметрів, гарантуючи високу стійкість різальної кромки. Для внутрішнього розточування та прецизійного формування отворів обрано систему CoroTurn 107 (тримачі A20S-SDXCR та E10M-SCLCR), що дозволяє досягати шорсткості Ra 1,25 мкм завдяки стабільній геометрії пластин DCMT та CCMT. Висока точність виконання отворів за якітетом H9 реалізується використанням монолітних твердосплавних свердел CoroDrill Dura 462 та CoroDrill 860-PM, що інтегруються в автоматизований цикл верстатів Haas для досягнення мінімального машинного часу. Застосування системи T-Max U-Lock для нарізання внутрішньої різьби та фрези CoroMill 331 для формування пазу гарантує надійність технологічних переходів.

Таблиця 2.7 – Вибір оснащення

Операція за ТП	Найменування інструмента
1	2
010 Токарна	Трикулачковий самоцентрувальний гідравлічний патрон
015 Токарна	Оправка цангова
020 Свердлильна	Оправка циліндрична
025 Фрезерна	Оправка циліндрична

Вибір стандартної гідравлічної та цангової оснастки для верстатів Haas обумовлений необхідністю забезпечення високої точності центрування та стабільної повторюваності розмірів, що є критичним для витримання жорстких допусків втулки. Використання універсальних затискних пристроїв дозволяє суттєво скоротити допоміжний час на встановлення та зняття деталі, підтримуючи високу продуктивність великосерійного виробництва. Така проста, але жорстка конструкція пристосувань забезпечує необхідну стійкість технологічної системи для повної реалізації потенціалу високих режимів різання інструменту Sandvik Coromant.

2.6 Розрахунок режимів різання

Визначення параметрів режимів різання (табл. 2.9) для всіх технологічних операцій здійснювалося з дотриманням нормативних рекомендацій компанії Sandvik Coromant, що дозволило оптимізувати умови обробки для кожної групи інструментів. Призначені значення швидкості різання та подачі враховують специфіку обробки якісної конструкційної сталі 45 і технічні можливості верстатів Haas, забезпечуючи раціональний баланс між продуктивністю та стійкістю різальних кромок. Такий підхід гарантує стабільне досягнення заданої точності та параметрів шорсткості посадкових поверхонь втулки, мінімізуючи ймовірність виникнення вібрацій та передчасного зносу інструменту в умовах інтенсивного великосерійного виробництва.

					КНУ.КБР.131.26.1-20.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Таблиця 2.8 - Режими різання по операціям втулки

№ оп.	Оброблювана поверхня	D, мм	L, мм	vc, м/хв	n, об/хв	s, мм/об	To, хв
010	Торець (Ø72)	72	36	290	1280	0,566	0,03
	Зовн. поверхня (Ø70)	72	45	378	1720	0,592	0,048
	Торець (Ø168)	168	84	290	550	0,566	0,143
	Зовн. поверхня (Ø166)	168	10	311	596	0,592	0,029
	Отвір наскрізний (Ø12)	12	50	178	4720	0,255	0,045
015	Торець (Ø52)	52	26	263	1610	0,566	0,018
	Зовн. поверхня (Ø50)	52	45	311	1980	0,592	0,042
	Внутр. отвір (Ø50)	50	50	332	2110	0,225	0,445
	Внутр. отвір (Ø15)	15	50	104	2200	0,25	0,18
020	4 отвори Ø9 (фланець)	9	10	178	6300	0,22	0,179
	Різьба M18-7H	18	20	30	530	1	0,172
025	Паз (B=20 мм)	125	50	200	510	0,12	0,135
Сума							1,466

2.7 Нормування операцій обробки

Для виконання технічного нормування операцій обробки втулки (табл. 2.10) використаємо розрахований розмір партії $n = 90$ шт. (місячна програма випуску). Основний (машинний) час T_o взято зі зведеної таблиці режимів різання, а допоміжні та підготовчі параметри визначено за середніми нормативами для серійного виробництва на верстатах із ЧПК (Haas).

Тп-з (Підготовчо-заклучний час): 35 хв на одну операцію (налагодження ЧПК, завантаження програми, встановлення інструментів Sandvik). Тд (Допоміжний час): 0,65 хв (включає встановлення/зняття деталі в гідропатрон, запуск програми, зміну інструменту та контрольні вимірювання). k (Коефіцієнт на обслуговування, відпочинок та особисті потреби): 8% від оперативного часу ($k = 1,08$).

Оперативний час $T_{оп}$ – сума основного та допоміжного часу. Низьке значення Тд обумовлене використанням гідравлічних патронів та високою швидкістю зміни інструменту на центрах Haas.

$$T_{оп} = T_o + T_d$$

Штучний час $T_{ш}$ враховує час на обслуговування робочого місця та фізіологічні потреби оператора.

$$T_{ш} = T_{оп} \cdot 1,08$$

					КНУ.КБР.131.26.1-20.02.ТЧ		Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата			

Штучно-калькуляційний час Тш-к – це повний час на виготовлення однієї деталі з урахуванням витрат на підготовку до обробки всієї партії.

$$Тш-к = Тш + Тп-з/п$$

Загальна трудомність механічної обробки однієї втулки становить приблизно 6 хвилин. Висока питома вага основного часу відносно штучного підтверджує ефективність обраного інструментального забезпечення Sandvik Coromant та доцільність концентрації операцій на обладнанні Haas.

Таблиця 2.9 - Норми часу на обробку втулки (хв)

№ операції	Назва операції	То, хв	Тд, хв	Топ, хв	Тш, хв	Тп-з/п, хв	Тш-к, хв
10	Токарна (чорнова)	0,295	0,65	0,945	1,02	0,39	1,41
15	Токарна (чистова)	0,685	0,65	1,335	1,44	0,39	1,83
20	Свердлильна	0,351	0,65	1,001	1,08	0,39	1,47
25	Фрезерна	0,135	0,65	0,785	0,85	0,39	1,24
Разом		1,466	2,6	4,066	4,39	1,56	5,95

					КНУ.КБР.131.26.1-20.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Граничні умови статичного випробування

Із аналізу роботи вузла (п. 1.1) можна виділити поверхню, яка сприймає навантаження (рис. 3.1 а). Розрахунок будемо проводити під дією 30 000 Н, 75 000 Н і 120 000 Н. Вибір трьох сценаріїв навантаження в середовищі SolidWorks Simulation обумовлений необхідністю комплексного дослідження поведінки втулки на різних етапах її життєвого циклу — від монтажу до аварійних режимів.

Перший сценарій із зусиллям 30 кН моделює стан попереднього затягування штанги, що є критично важливим для забезпечення стабільності з'єднання. Це значення складає приблизно 25-35% від номінального навантаження, що згідно з технічними нормами гірничого машинобудування є достатнім для запобігання розкриттю стиків та виникненню мікролюфтів під час холостого ходу обладнання. Такий розрахунок дозволяє переконатися, що початкові напруження не спричиняють деформацій ще до початку активної фази роботи грохота.

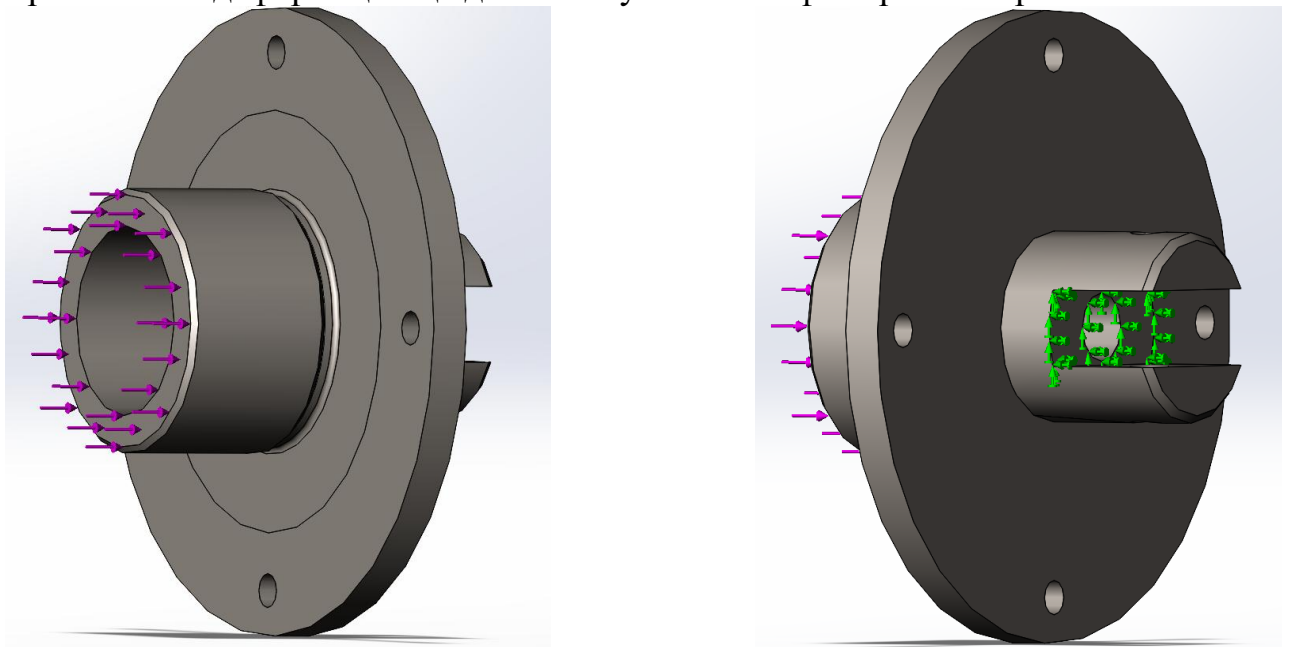


Рисунок 3.1 – Навантажена поверхня (а) і закріплена поверхня (б) втулки у статичному аналізі в SolidWorks Simulation

Основним етапом симуляції є робочий режим із навантаженням 75 кН, який відображає стабільний процес експлуатації розпірної штанги. Це значення не є статичним показником маси, воно інтегрує в себе динамічні складові, характерні для вібраційних машин. Оскільки грохоти працюють у режимі інтенсивної вібрації з прискореннями порядку 4-5g, статична вага полотна та породи множиться на відповідний коефіцієнт динамічності. Саме цей сценарій є базовим

					КНУ.КБР.131.26.1-20.03.КЧ		
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата			
Розроб.		Олексієнко			Конструкторська частина	Літ.	Арк.
Перевір.		Кравцова					Аркуші
Н. Контр.		Нечаєв				Кафедра ТМ гр. ПМ-22	
Затверд.		Рязанцев					

для оцінки втомної міцності та визначення зон концентрації напружень, де в перспективі можуть виникнути мікротріщини.

Нарешті, граничний сценарій навантаження у 120 кН вводиться для перевірки статичної міцності конструкції в екстремальних умовах, які часто трапляються в кар'єрах Кривбасу. Це зусилля моделює аварійні ситуації, як-от заклинювання породи між колосниками або ударне падіння негабаритної брили безпосередньо над вузлом штанги. Розрахункове значення базується на робочому навантаженні з урахуванням коефіцієнта запасу 1,5-1,6, що дозволяє верифікувати відсутність пластичних деформацій матеріалу сталь 45. Такий потрібний підхід дозволяє отримати повну характеристику циклу навантаження, що відповідає класичним методикам побудови діаграм витривалості для відповідальних деталей машин.

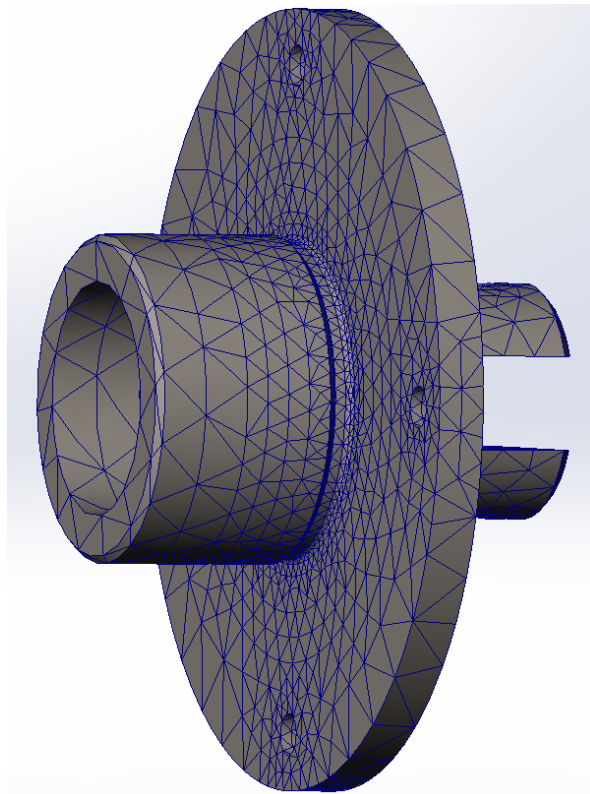


Рисунок 3.2 – Сітка кінцевих елементів втулки

Для створення розрахункової схеми в середовищі SolidWorks Simulation було виконано дискретизацію 3D-моделі втулки шляхом побудови скінченно-елементної сітки на основі твердотільних тетраедричних елементів високого порядку. Вибір саме таких елементів обумовлений їхньою здатністю точно апроксимувати складну геометрію та криволінійні поверхні, що є критично важливим для отримання достовірних значень напружень у зонах переходів. Глобальний розмір елементів підбирався таким чином, щоб забезпечити стабільну збіжність результатів при раціональних витратах обчислювальних ресурсів, що дозволяє детально проаналізувати загальний стан деталі під дією стискальних навантажень від розпірної штанги грохота.

Особлива увага при генеруванні сітки була приділена зонам конструктивних галтелей у місцях спряження фланця з тілом втулки, оскільки саме вони є

					КНУ.КБР.131.26.1-20.03.КЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

основними концентраторами напружень. У цих критичних ділянках було застосовано локальне ущільнення сітки, що дозволило підвищити роздільну здатність розрахунку та уникнути штучного заниження пікових значень напружень, характерного для грубих сіток. Сформована сітка пройшла перевірку на якість за показником якобіана (Jacobian ratio) та співвідношенням сторін елементів, що підтверджує відсутність критично викривлених скінченних елементів і гарантує високу точність результатів симуляції для всіх трьох сценаріїв навантаження.

3.3 Інтерпретація результатів статичного аналізу втулки

Аналіз результатів моделювання за першим сценарієм із навантаженням 30 кН, що імітує зусилля попереднього затягування, підтверджує сприятливий характер розподілу напружень у тілі втулки. Максимальні еквівалентні напруження за Мізесом локалізовані у зоні переходу від фланця до центральної частини деталі, досягаючи значення 115,7 МПа, що є типовим для фланцевих з'єднань із наявністю концентраторів у вигляді галтелей. Велика частина об'єму втулки залишається в зоні мінімальних напружень, що свідчить про відсутність деформаційних ризиків на етапі монтажу та готовність конструкції до сприйняття подальшої динамічної складової під час роботи грохота.

З огляду на фізико-механічні характеристики сталі 45, отримані результати демонструють високий рівень надійності конструкції.

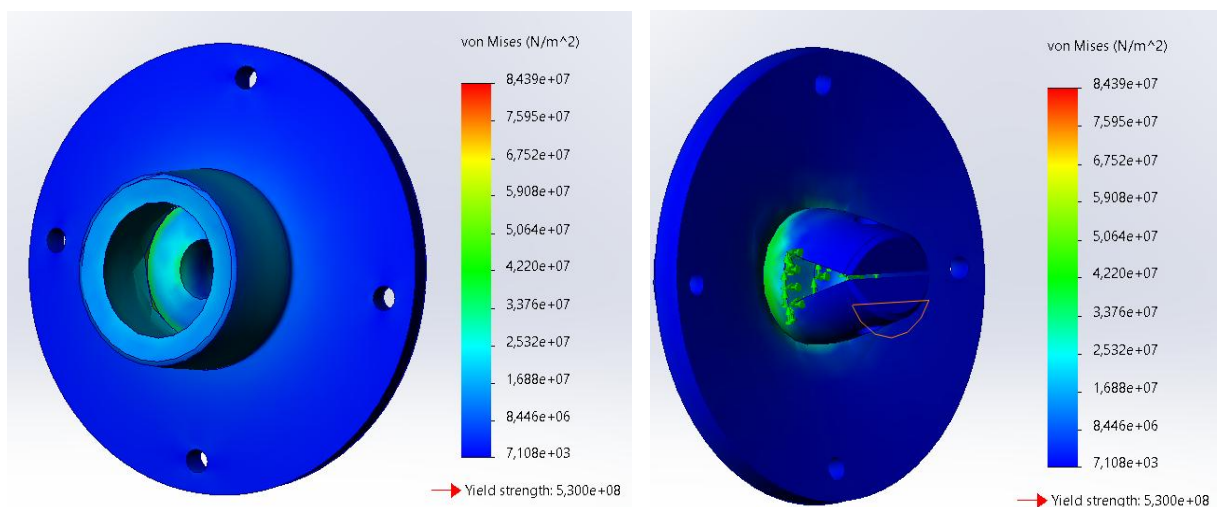


Рисунок 3.3 – Епюра внутрішніх напружень вала при 30 кН

При навантаженні 30 кН мінімальний коефіцієнт запасу міцності (рис. 3.4) становить 6,28, що свідчить про значну надлишкову міцність конструкції на етапі монтажного затягування штанги. Такий високий показник FOS підтверджує, що виникаючі напруження знаходяться глибоко в пружній області матеріалу, гарантуючи стабільну роботу втулки без ризику пластичних деформацій ще до початку активної фази експлуатації.

					КНУ.КБР.131.26.1-20.03.КЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

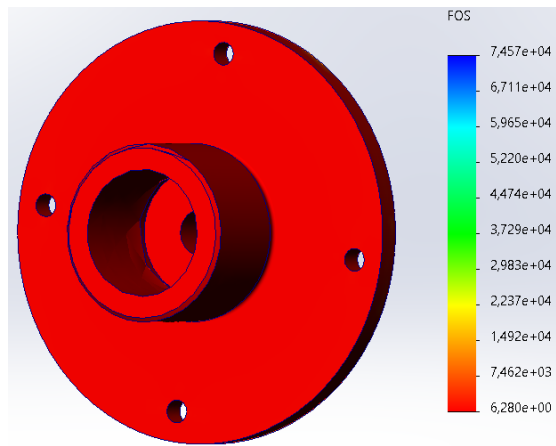


Рисунок 3.4 – Епюра запасу міцності

Епюра Design Insight при навантаженні 30 кН наочно демонструє зони втулки, які найбільш ефективно беруть участь у передачі зусилля, фокусуючи основні силові потоки у центральній частині та в місці переходу до фланця. Це підтверджує раціональність конструктивної форми деталі, оскільки матеріал у критичних зонах задіяний оптимально, що є важливим показником для забезпечення довговічності вузла розпірної штанги.

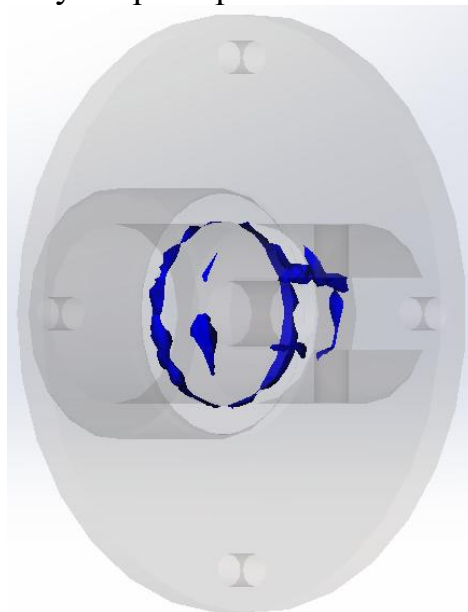


Рисунок 3.5 – Епюра «Design Insight»

Аналіз сумарних переміщень (URES) показує, що максимальна деформація втулки при монтажному затягуванні становить лише 0,01244 мм, локалізуючись на зовнішньому краї фланця. Такий незначний рівень пружних зміщень гарантує збереження геометричної точності з'єднання та свідчить про високу жорсткість конструкції, що виключає будь-який негативний вплив на співвісність суміжних деталей грохота.

					КНУ.КБР.131.26.1-20.03.КЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

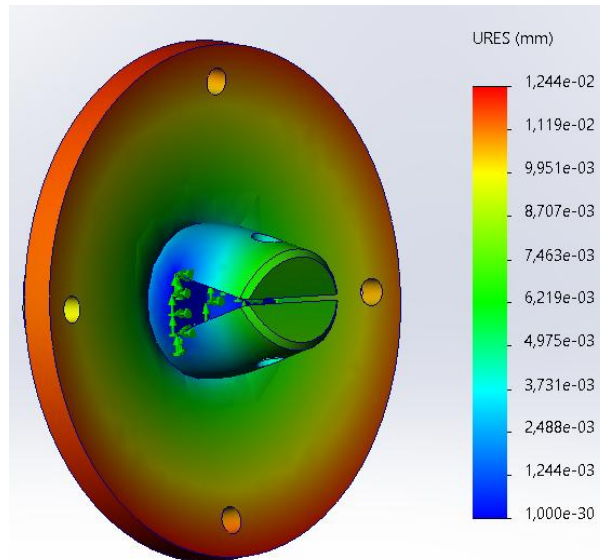


Рисунок 3.6 – Епюра переміщень

При робочому навантаженні 75 кН, що моделює стабільну роботу колосникового грохота, максимальні еквівалентні напруження за вон Мізесом досягають значення 211 МПа. Найбільші навантаження локалізовані у зоні конструктивної галтелі між фланцем та тілом втулки, де спостерігається природна концентрація силових потоків. Незважаючи на зростання зусилля порівняно з монтажним станом, більша частина деталі перебуває в зоні низьких напружень (до 84 МПа), що свідчить про високу жорсткість обраної конструкції та її здатність ефективно протидіяти вібраційним впливам.

Порівняння отриманого результату з межею плинності матеріалу, яка на розрахунковій схемі становить 530 МПа, показує, що втулка працює із солідним запасом міцності, який становить приблизно 2,5 одиниці. Такий стан гарантує повну відсутність пластичних деформацій та забезпечує необхідний ресурс витривалості при циклічному навантаженні, характерному для розпірних штанг гірничого обладнання. Отримані дані підтверджують, що обрані геометричні параметри та матеріал Сталь 45 повністю задовольняють вимогам експлуатаційної надійності в штатному робочому режимі.

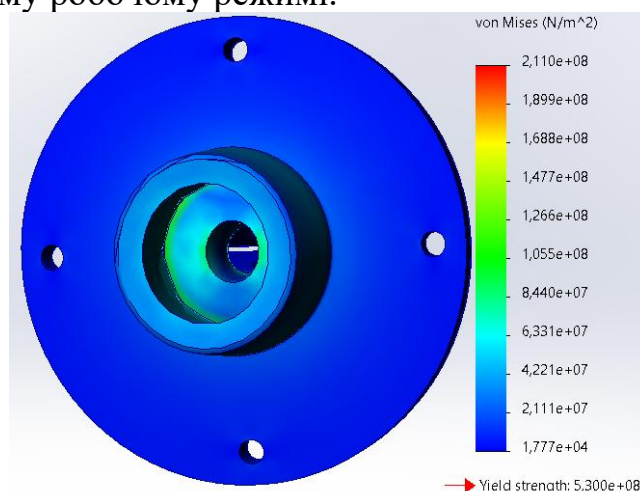


Рисунок 3.7 – Епюра внутрішніх напружень втулки при 75 кН

					КНУ.КБР.131.26.1-20.03.КЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

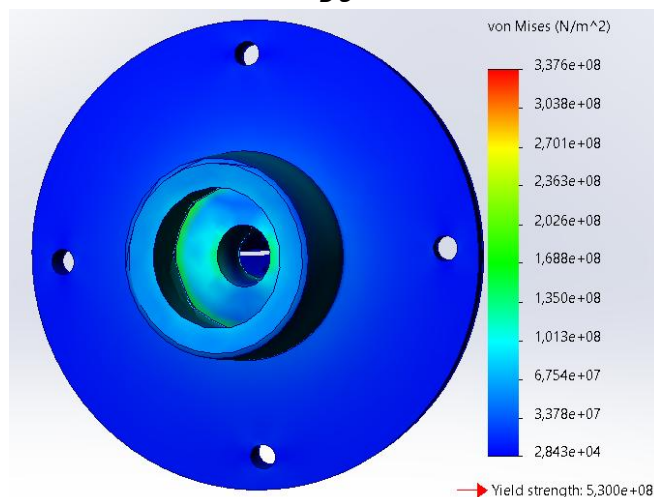


Рисунок 3.8 – Епюра внутрішніх напружень втулки при 120 кН

За сценарієм граничного (аварійного) навантаження у 120 кН максимальні еквівалентні напруження за вон Мізесом становлять 337,6 МПа, фокусуючись у точках конструктивної концентрації — зонах спряження фланця з тілом втулки. Попри значне зростання силового впливу, отримані значення залишаються суттєво нижчими за межу плинності матеріалу, яка складає 530 МПа, що свідчить про збереження пружного стану конструкції. Такий розподіл напружень підтверджує здатність втулки витримувати короточасні ударні імпульси або заклинювання великих брил руди без ризику миттєвого руйнування чи втрати функціональності.

Коефіцієнт запасу міцності в даному екстремальному режимі знижується до позначки 1,57, проте залишається в допустимих межах для гірничо-шахтного обладнання, що працює в умовах високої динаміки. Збереження цілісності деталі при такому навантаженні гарантує, що навіть у випадку аварійного заклинювання колосників розпірна штанга не зазнає пластичних деформацій, які могли б спричинити порушення геометрії всього вузла. Результати моделювання при 120 кН остаточно верифікують технічне рішення щодо вибору сталі 45 як матеріалу, що забезпечує необхідну живучість деталі в найбільш напружених стадіях її експлуатації.

Отже, комплексний аналіз напружено-деформованого стану втулки за трьома сценаріями підтвердив, що навіть при аварійному навантаженні 120 кН еквівалентні напруження 337,6 МПа не перевищують межу плинності матеріалу сталь 45. Отримані значення коефіцієнтів запасу міцності та мінімальні рівні пружних деформацій верифікують повну відповідність обраної геометрії та матеріалу вимогам надійності для тривалої експлуатації в складних динамічних умовах роботи розпірної штанги грохота.

					КНУ.КБР.131.26.1-20.03.КЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

4 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА

4.1 Безпека та екологія виробництва

4.1.1 Ідентифікація та оцінка потенційних ризиків і шкідливих чинників виробничого середовища

Забезпечення безпечних умов праці під час реалізації спроектованого технологічного процесу виготовлення втулки потребує детального аналізу комплексу фізичних, хімічних та ергономічних факторів, що виникають при експлуатації сучасного металообробного обладнання. Основним джерелом фізичної небезпеки є механічна обробка на високих режимах різання, характерна для центрів Haas ST-20 та VF-2, де швидкості до 378 м/хв та інтенсивне видалення стружки створюють ризики механічного травмування персоналу. Незважаючи на наявність захисних кабін, висока кінетична енергія відлітаючої стружки та можливість руйнування різального інструменту Sandvik Coromant вимагають суворого контролю цілісності огорожень та використання сертифікованих засобів індивідуального захисту очей.

Значний вплив на стан здоров'я оператора мають акустичні навантаження, що виникають внаслідок одночасної роботи кількох одиниць високопродуктивного обладнання. Рівень шуму під час швидкісного свердління отворів (наприклад, перехід свердління наскрізного отвору тривалістю 2,68 с) може перевищувати допустимі норми, що потребує впровадження звукоізоляційних засобів та регулярного моніторингу шумового фону дільниці. Крім того, вібраційні навантаження, хоча й частково гасяться масивною станиною верстатів Haas, можуть передаватися на робоче місце через підлогу, що зумовлює необхідність застосування віброгасильних опор та раціонального планування робочого простору з урахуванням ергономічних вимог.

Хімічний фактор шкідливості пов'язаний із інтенсивним використанням мастильно-охолоджувальних рідин (МОР), які під дією високих температур у зоні різання утворюють аерозолі та масляний туман. Тривалий контакт персоналу з цими речовинами без належної фільтрації повітря може призвести до захворювань дихальних шляхів або шкірних подразнень. Отже, спроектована дільниця повинна бути оснащена ефективною системою припливно-витяжної вентиляції та індивідуальними фільтрами туманоуловлювачів безпосередньо на верстатах. Окрему увагу слід приділити електричній безпеці, оскільки споживана потужність обладнання досягає значних значень (до 7,83 кВт на окремих переходах), що вимагає надійного заземлення, регулярної перевірки ізоляції та встановлення автоматичних систем захисту від короткого замикання в умовах високої запиленості, характерної для підприємств гірничо-збагачувального комплексу.

					КНУ.КБР.131.26.1-20.04.0ЕПВ					
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата	Організаційно-економічна підготовка виробництва			Літ.	Арк.	Аркушів
Разроб.		Олексієнко								
Перевір.		Кравцова								
Н. Контр.		Нечаєв						Кафедра ТМ гр. ПМ-22		
Затверд.		Рязанцев								

4.1.2 Забезпечення екологічної безпеки та мінімізація техногенного впливу механоскладальної дільниці

Екологічна стратегія машинобудівного виробництва в умовах великосерійного випуску втулок спрямована на впровадження принципів маловідходних технологій та суворий контроль за утилізацією промислових відходів. Найбільший обсяг твердих відходів складає металева стружка сталі 45, яка при річній програмі 1080 деталей формує значний масив вторинної сировини. Процес екологічного менеджменту передбачає обов'язкове збирання, сортування та пресування стружки для її подальшої переплавки, що дозволяє замикати цикл використання металу та зменшувати виснаження природних ресурсів. Оскільки стружка забруднена залишками МОР, її попереднє очищення та центрифугування є необхідною умовою для запобігання потраплянню нафтопродуктів у ґрунт під час зберігання.

Рідкі відходи, зокрема відпрацьовані мастильно-охолоджувальні рідини, представляють найвищу екологічну загрозу через свою токсичність та здатність забруднювати водні ресурси. У проекті передбачено використання сучасних напівсинтетичних МОР, що мають подовжений термін служби та кращі показники біорозкладання порівняно з традиційними емульсіями. Проте, після вичерпання ресурсу, такі рідини підлягають деемульгації та очищенню на спеціалізованих установках перед скиданням у промислову каналізацію або передачею на ліцензовані підприємства для термічної утилізації. Такий підхід дозволяє радикально знизити техногенне навантаження на екосистему регіону, що є особливо актуальним для Криворізького басейну.

Атмосферне повітря цеху піддається впливу дрібнодисперсних частинок пилу та масляних аерозолів, що виділяються при роботі на високих швидкостях обертання шпинделя центрів Haas. Для мінімізації цих емісій верстати комплектуються замкнутими системами циркуляції МОР та вискоєфективними фільтрами очищення повітря. Енергоефективність обраного обладнання також є важливим екологічним фактором, оскільки інтелектуальні системи керування живленням верстатів Haas дозволяють знижувати питоме споживання електроенергії на одиницю продукції. В сукупності ці заходи забезпечують відповідність виробничого процесу сучасним міжнародним стандартам екологічного менеджменту серії ISO 14000, гарантуючи екологічну безпеку дільниці при збереженні високих показників продуктивності.

4.2 Економічне обґрунтування виробництва втулки

Визначення ключових економічних параметрів проекту базується на системному використанні «Методичних рекомендацій з формування собівартості продукції (робіт, послуг) у промисловості», що гарантує точність обчислення витрат на механічну обробку. Даний підхід спирається на нормативні вимоги Постанови Кабінету Міністрів України № 1706 від 28.10.1998 р. і повною мірою відповідає Закону України «Про бухгалтерський облік та фінансову звітність». Застосування цієї методології забезпечує єдність принципів фінансового

					КНУ.КБР.131.26.1-20.04.06ПВ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

планування та достовірність оцінки економічної ефективності впровадження нового обладнання на дільниці.

Застосування положень Методичних рекомендацій забезпечує єдиний методологічний підхід до калькулювання витрат, що дозволяє максимально точно визначити виробничу собівартість втулки з урахуванням специфіки високотехнологічної обробки. Це гарантує відповідність економічної частини проекту чинним нормативним вимогам та створює об'єктивну базу для аналізу фінансової доцільності впровадження нових технологічних рішень на дільниці.

Таблиця 4.1 – Вихідна база нормативних показників для розрахунку фонду оплати праці

Наіменування	Позначення	Витрати	
1	2	3	4
Ставка одного працівника першого розряду	Счас.1	106,46	грн/год
Трудовісткість виготовлення одного виробу	тсб	0,099166667	год
Трудовісткість механічних операцій на один виріб	тм	2,5	год
Планова кількість одиниць продукції	Нзап	1080	шт
Чисельність допоміжних робітників	Чдоп	1	осіб

Таблиця 4.2 – Регламентована система нарахувань та галузевих коефіцієнтів винагороди праці

Наіменування	Позначення	Витрати	
1	2	3	4
Пряма заробітна плата робітників-відрядників на поточній лінії	Зпл.пр	17672,89	грн
Годинна тарифна ставка для відповідного розряду	Счас.сд	165,01	грн/год
Пряма заробітна плата основних працівників	Зм.пр	498424,43	грн
Премії із фонду заробітної плати	Зпрем	72253,62	грн
Додаткові доплати	Здопл	5160,97	грн
Фонд годинної зарплати основних працівників	Фзп.дн.ор.	593511,92	грн
Додаткова зарплата основних працівників підприємства	Здод	29675,60	грн
Фонд зарплати основних працівників	Фзп.ор.	623187,51	грн
Пряма заробітна плата допоміжних робітників	Здоп.вир.	145805,16	грн
Тарифна зарплата основного працівника 6-го розряду	Зтар	190,03	грн/год
Основна зарплата допоміжних працівників	Зо.вр.	180798,40	грн
Додаткова заробітна плата допоміжних працівників	Зд.вр.	21870,77	грн
Премії із фонду заробітної плати допоміжних працівників	Зпрем.вр	20412,72	грн
Додаткові доплати допоміжним працівникам	Здопл.вр	1458,05	грн
Фонд зарплати допоміжного персоналу	Фзп.вр.	202669,18	грн
Фонд заробітної платні всього персоналу цеху	Фзп.р.	825856,69	грн
Фонд зарплати промислово-виробничих працівників	Фзп.пвп.	7074756,69	грн

Вихідні дані для формування нормативної бази оплати праці персоналу дільниці базуються на чинних тарифних сітках та кваліфікаційних вимогах до операторів верстатів із ЧПК, що застосовуються на промислових підприємствах Криворізького регіону. Також при розрахунках враховано встановлені на 2026 рік державні соціальні стандарти щодо мінімального розміру заробітної плати та

регламентовану тривалість робочого часу згідно з чинним законодавством України.

Таблиця 4.3 – Результативний річний кошторис витрат на оплату праці персоналу дільниці

№п /п	Посада	К-сть штату, осіб	Міс. оклад з/п, грн	Міс. фонд з/п, грн	Фонд з/п на рік, грн
1	2	3	4	5	6
ІТР					
1	Нач. цеху	1	40000	40000	452000
2	Заст. нач. цеху	1	37000	37000	418100
3	Ст. майстер	2	18000	36000	406800
4	Змінний майстер	3	17000	51000	576300
5	Нач. тех. бюро	0	28000	0	0
6	Інж.-технолог 1 кат.	1	32000	32000	361600
7	Інж.-технолог 2 кат.	1	28000	28000	316400
8	Технік-технолог	1	22000	22000	248600
9	Майстер з ремонту	1	20000	20000	226000
10	Старший диспетчер	1	19000	19000	214700
11	Диспетчер	1	17000	17000	192100
12	Інженер формувальник	1	22500	22500	254250
13	Технік формувальник	1	20000	20000	226000
14	Механік цеху	1	22500	22500	254250
15	Контрольний майстер	1	17000	17000	192100
Разом, грн					4339200
Службовці					
1	Бухгалтер	1	20000	20000	226000
2	Зав. складом	1	20000	20000	226000
3	Старший рахівник	1	20000	20000	226000
4	Касир	1	16000	16000	180800
5	Старший табельщик	1	17000	17000	192100
6	Машиністка	1	16000	16000	180800
7	Табельщик	1	16000	16000	180800
Разом, грн					1412500
МОП					
1	Прибиральники	2	10000	20000	226000
2	Ліфтер, вахтер	2	12000	24000	271200
Разом, грн					497200

Таблиця 4.4 – Статистичний аналіз та моніторинг показників середнього доходу працівників

№п /п	Категорія робітників	Фонд зарплати, грн	Чисельність робітників	Середньо місячна зарплата, грн
1	1	2	3	4
1	ПВП	623188	20	2757
2	Допоміжні робітники	202669	1	17935
3	ІТР	4339200	5	76800
4	Службовці	1412500	3	41667
5	МОП	497200	3	14667

Вихідна база для розрахунку собівартості базується на актуальних ринкових цінах на поковки зі сталі 45 та діючих тарифах на електроенергію для промислових споживачів Криворізького регіону станом на 2026 рік. Технологічна складова витрат, що включає вартість експлуатації інструменту та допоміжних матеріалів, сформована на основі технічних характеристик верстатів Haas та розрахункових даних щодо стійкості різальних кромки інструменту Sandvik Coromant.

Таблиця 4.5 – Сукупність вхідних чинників для формування собівартості втулки

Найменування	Позначення	Витрати	
1	2	3	4
Норма витрати основного матеріалу на деталь	Нм	2,75	кг/шт
Ціна заготовок з урахуванням методу їх отримання	Цм	60605	грн/т
Річний обсяг виробництва продукції	N	1080	шт
Маса заготовки	Вчр	4,1	кг
Маса деталі	Вчст	2,72	кг
Ціна відходів матеріалу	Цвідх	150	грн/т
Місячна тарифна ставка першого розряду	МТС1р	15000	грн/міс.
Тарифний коефіцієнт і-го розряду	ктар.і	1,78	-
Штучний час виконання і-ї операції	Тшт.і	2,08	хв/шт
Кількість верстатів, що обслуговуються одним робітником	-	1	шт
Кількість операцій	Ко	4	шт
Первісна вартість машин та обладнання	Кмио	1164027	грн
Первісна вартість технологічного оснащення	Ктр	28367	грн
Первісна вартість будівлі	Кбуд	18647463	грн

Таблиця 4.6 – Диференційовані розрахункові показники витрат у структурі виготовлення виробу

Найменування	Позначення	Витрати	
1	2	3	4
Витрати на сировину та матеріали на річний обсяг	Смо	197823,74	грн/рік
Коефіцієнт, що враховує транспортно-заготівельні витрати	кт-з	1,10	-
Поворотні відходи	Свідх	219,09	грн/рік
Величина відходів на одиницю продукції	Нвідх	1,35	кг/шт
Витрати на основні матеріали за вирахуванням зворотних	См	197604,65	грн/рік
Величина вхідного ПДВ на сировину та матеріали	ПДВвх	39520,93	грн/рік
Паливо та енергія на технологічні цілі	Спал	9880,23	грн/рік
Величина вхідного ПДВ на паливо та енергію	ПДВпал	1976,05	грн/рік
Основна заробітна плата виробничих робітників	Сз.осн.	163371,04	грн/рік
Розцінка на операцію	Pi	29,09	грн/шт
Годинна тарифна ставка і-го розряду	ГТСір	190,71	грн/год
Годинна тарифна ставка першого розряду	ГТС1р	107,14	грн/год
Додаткова заробітна плата виробничих робітників	Сз.д.	32674,21	грн/рік
Сумарний фонд заробітної плати	Фзп.	196045,25	грн/рік
Чисельність основних виробничих робітників	Чвр	2,00	осіб
Облікова кількість основних робочих	Човр	3,00	осіб
Середньомісячна заробітна плата основних виробничих	ЗПміс.осн.	5445,70	грн/міс.
Відрахування до бюджету та позабюджетних фондів від	Офзп	185,84	грн/рік
Чисельність допоміжних виробничих робітників	Чдвр	1,00	осіб
Сумарний фонд заробітної плати допоміжних робітників	Фзп.д	166608,00	грн/рік

Продовження таблиці 4.6

1	2	3	4
Відрахування до бюджету та позабюджетних фондів від	Офзп	185,84	грн/рік
Чисельність допоміжних виробничих робітників	Чдвр	1,00	осіб
Сумарний фонд заробітної плати допоміжних робітників	Фзп.д	166608,00	грн/рік
Відрахування до бюджету та позабюджетних фондів	Офзп.доп	224254,37	грн/рік
Вартість матеріалів, що витрачаються для забезпечення	Сзфо.	34920,81	грн/рік
Поточний ремонт обладнання та транспортних засобів	Срем.	253,15	грн/рік
Внутрішньозаводські витрати	Свз.в.	8510,10	грн/рік
Погашення вартості інструментів та пристосування	Сінстр	4656,11	грн/рік
Інші витрати	Сін.	536,77	грн/рік
Усього витрати на утримання та експлуатацію обладнання	Суео	13956,13	грн/рік
Службовці цехового рівня та на дільницях	Чсл.цех	1,00	осіб
Річний фонд заробітної плати службовців	Фзп.сл.	296755,68	грн/рік
Витрати утримання апарату управління цеху	Офзп.сл.	399433,15	грн/рік
Утримання цехових, виробничих та адміністративних	Сбуд.	279711,95	грн/рік
Витрати на ремонт цехових будівель	Срем. буд.	372949,26	грн/рік
Витрати на заходи забезпечення нормальних умов праці,	Стех.б	13188,18	грн/рік
Витрати на випробування, досліди, дослідження,	Срац.	98911,34	грн/рік
Інші витрати у складі загальновиробничих витрат	Сін.вит.	34925,82	грн/рік
Усього загальноцехові витрати	Сузв	1199119,69	грн/рік
Загальногосподарські витрати	Рзг	204213,81	грн/рік
Витрати на реалізацію	Рреал.	9328,29	грн/рік
Платежі, відрахування та податки у собівартості продукції	Рпл.	18656,58	грн/рік
Податок на нерухомість	Пн.	186474,63	грн/рік

Таблиця 4.7 – Калькуляція елементів повної собівартості технологічного циклу виготовлення втулки

Найменування	Витрати	
1	2	
Сировина та матеріали за вирахуванням зворотних відходів	197605	грн/рік
Паливо та енергія на технологічні цілі	9880	грн/рік
Основна заробітна плата виробничих робітників	163371	грн/рік
Додаткова заробітна плата виробничих робітників	32674	грн/рік
Відрахування до бюджетних та позабюджетних фондів	186	грн/рік
Загальновиробничі витрати	13956	грн/рік
Разом: цехова собівартість	417672	грн/рік
Загальногосподарські витрати	204214	грн/рік
Разом: виробнича собівартість	621886	грн/рік
Витрати реалізації продукції	9328	грн/рік
Інші платежі, відрахування та податки	205131	грн/рік
Разом: повна собівартість	836345	грн/рік
Собівартість одиниці виробленої продукції	774	грн/шт

Таблиця 4.8 – Узагальнюючі техніко-економічні індикатори та оцінка рентабельності проекту

Найменування	Розраховані величини	
1	2	
Ціна продажу одиниці продукції	1700	грн/шт
Початкові інвестиції	1 672 691	грн
Дохід від продажу продукції	1836000	грн/рік
Прибуток від продажу продукції	999655	грн/рік
Строк окупності	1,67	р

					КНУ.КБР.131.26.1-20.04.0ЕПВ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Проведений розрахунок економічної ефективності проекту переконливо доводить доцільність впровадження розробленого технологічного процесу виготовлення втулки колосникового грохота на базі сучасного обладнання з ЧПК. Встановлена ціна продажу одиниці продукції у розмірі 1700 грн забезпечує формування річного доходу від реалізації обсягом 1836000 грн, що при початкових інвестиціях у 1672691 грн дозволяє вийти на стабільно високі показники рентабельності виробництва. Висока продуктивність центрів Naas та використання сучасного інструменту забезпечують отримання чистого річного прибутку у сумі 999655 грн, що є вагомим підґрунтям для фінансової стійкості діляниці.

Визначальним індикатором успішності запропонованих інженерних рішень є термін окупності капітальних вкладень, який становить лише 1,67 року, що значно нижче за середньогалузеві нормативи для машинобудівної галузі. Швидке повернення інвестованих коштів свідчить про мінімальні фінансові ризики та високу адаптивність обраної технології до ринкових умов промислового сектору. Таким чином, результати економічного аналізу підтверджують, що перехід на автоматизовану обробку дозволяє не лише гарантувати високу якість запчастин для вібраційного обладнання, але й досягти швидкої та значної фінансової віддачі проекту.

					КНУ.КБР.131.26.1-20.04.0ЕПВ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У межах виконання кваліфікаційної роботи реалізовано комплексне проектування технологічного процесу виготовлення втулки розпірної для колосникового грохота із застосуванням сучасних засобів тривимірного моделювання та автоматизованого виробництва. Головним вектором вдосконалення технології став перехід від застарілих методів обробки до використання високопродуктивних токарних та фрезерних центрів із ЧПК фірми Haas. Це дозволило забезпечити прецизійну точність геометричних параметрів деталі при заданій річній програмі випуску 1080 одиниць, що є критично важливим для надійної роботи вібраційного обладнання в умовах гірничого видобутку.

Впровадження прогресивної інструментальної наладки від компанії Sandvik Coromant у поєднанні з оптимізацією структури операцій дозволило досягти високої концентрації обробки. Завдяки використанню сучасних стратегій різання сумарний штучно-калькуляційний час виготовлення деталі було скорочено до 5,95 хвилин, що свідчить про високу енергоефективність та продуктивність розробленого процесу. Застосування сталі 45 як основного матеріалу в поєднанні з точною механічною обробкою забезпечило необхідну шорсткість поверхонь, що безпосередньо впливає на стабільність розпірного з'єднання та довговічність усього вузла штанги грохота.

Конструкторська частина роботи базується на результатах імітаційного моделювання в середовищі SolidWorks Simulation за трьома експлуатаційними сценаріями. Аналіз напружено-деформованого стану при аварійному навантаженні 120 кН підтвердив високу надійність конструкції, оскільки максимальні еквівалентні напруження 337,6 МПа не перевищили межу плинності матеріалу. Отримані показники коефіцієнта запасу міцності та мінімальні рівні пружних переміщень верифікують здатність втулки безвідмовно функціонувати в умовах інтенсивної динаміки та випадкових ударних навантажень від негабаритної породи.

Економічне обґрунтування підтвердило високу фінансову спроможність проекту, оскільки термін окупності капітальних інвестицій становить лише 1,67 року при отриманні чистого прибутку у розмірі майже один мільйон гривень. Додатково опрацьовані заходи з охорони праці та екології, включаючи встановлення систем фільтрації масляного туману та захисних огорожень, гарантують безпеку виробничого персоналу та мінімізацію техногенного впливу на довкілля. Робота повністю відповідає технічному завданню та реалізована в повному обсязі, демонструючи готовність розробленої технології до практичного впровадження на підприємствах Криворізького регіону.

					<i>КНУ.КБР.131.26.1-20.В</i>			
<i>Змін.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ Документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Висновки</i>			
<i>Разроб.</i>		<i>Олексієнко</i>						
<i>Перебір.</i>		<i>Кравцова</i>						
<i>Н. Контр.</i>		<i>Нечаєв</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Рязанцев</i>						
						<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
					<i>Кафедра ТМ гр. ПМ-22</i>			

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. <https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/tools/coroplus-toolguide>
2. Каталог та технічний посібник Seco 2020: "Токарна обробка"
3. Каталог абразивного інструмента LUCABRASIV 2015
4. Каталог зубообробного інструмента FETTE 2015
5. ДСТУ 2675:2008 "Патрони самоцентруючі трикулачкові. Основні розміри"
6. ANDRE Абразивный инструмент
7. Кіяновський М.В., Цивінда Н.І., Цівко Ф.В. Довідник нормувальника машинобудівного виробництва. Кривий Ріг: Видавничий центр КТУ, 2008.
8. Технологія обробки типових деталей (курсове проектування) Григурко О.І, Брендуля МФ., Доценко С.М, Навчальний посібник. Львів., Новий світ, 2008, 576 с.
9. Горбатюк Е.О., Мазур М.П., Зенкін А.С., Каразей В.Д. Технологія машинобудування Навчальний посібник. Львів., Новий світ, 2008, 360 с.
10. Пальчевський Б.О. Дослідження технологічних систем (моделювання, проектування, оптимізація): Навчальний посібник. Львів: Світ, 2001. 232 с.
11. Руденко П. О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні – К.: Вища школа, 1993р.
12. Рудь В. Д. Курсове проектування з технології машинобудування: Навчальний посібник: ІСДО, 1996р.
Боженко Л.І. Технологія машинобудування. Проектування та виробництво заготовок. Львів: Світ, 1996.
13. Рудь В.Д. Курсове проектування з технології машинобудування: Навч. посібник. К.: ІСДО, 1996. 300 с.
14. Економіка підприємства: Підручник / За ред. С. Ф. Покропивного. К.: КНЕУ, 2001.
15. В.Ц. Жидецький, В.С. Джигірей, В.М.Сторожук, Л.В.Туряб Практикум з охорони праці. Навчальний посібник / За ред. канд. техн. наук, доцента В.Ц. Жидецького. Львів, Афіша, 2005, 352 с.
16. ДБН В.2.5-28-2006 Природне і штучне освітлення.
17. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
18. Жидецький В.Ц., Основи охорони праці. Підручник Київ 2002р.
19. Закон України Про охорону навколишнього природного середовища, 1991 року зі змінами № 554-ІХ від 13.04.2020
20. Закон України Про охорону праці, нова редакція, м. Київ, 21 листопада 2002 року, № 341-ІХ від 05.12.2019, ВВР, 2020, № 13, ст.68
21. Охорона праці: Навчальний посібник / За ред. В. Кучерявого. Львів: Оріана-Нова, 2007. 368 с.

					<i>КНУКБР.131.26.1-20.СВД</i>			
<i>Змін.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ Документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Список використаних джерел</i>			
<i>Разроб.</i>		<i>Олексієнко</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>Аркуші</i>
					<i>Кафедра ТМ гр. ПМ-22</i>			

**АЛЬБОМ КРЕСЛЕНЬ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-
ЗАСВІДЧУЮЧИХ АРКУШІВ**

КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ БАКАЛАВРСЬКОЇ РОБОТИ

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка

на тему: Технологічна підготовка виробництва втулки розпірної штанги
зі застосуванням CAD/CAE-систем і верстатів з ЧПК

Виконав здобувач гр. ПМ-22

(підпис)

Семен ОЛЕКСІЄНКО

Керівник КБР

(підпис)

Дар'я КРАВЦОВА

Нормоконтроль

(підпис)

Василь НЕЧАСВ

Завідувач кафедри

(підпис)

Антон РЯЗАНЦЕВ

ВІДОМІСТЬ ЕЛЕКТРОННИХ ДОКУМЕНТІВ КБР

№	Формат	Позначення	Найменування	К-сть листів	Прим.
			<u>Графічні матеріали</u>		
1	A1	КНУ.КБР.131.26.1-20.РШ	Розпірна штанга	1	
2	A3	КНУ.КБР.131.26.1-20.В	Втулка	1	
3	A3	КНУ.КБР.131.26.1-20.ВП	Втулка (поковка)	1	
4	A1	КНУ.КБР.131.26.1-20.ТП	Технологічний процес	1	
5	A1	КНУ.КБР.131.26.1-20.РТК	Розрахунково- технологічна карта	1	
6	A2	КНУ.КБР.131.26.1-20.АПР	Аналіз проектних рішень	1	

					КНУ.КБР.131.26.1-20.ВЕД											
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата	Відомість електронних документів КБР						Літ.		Арк.		Аркушів	
Розроб.	Олексієнко															
Перевір.	Кравцова															
Н. контр.	Нечаєв															
Затверд.	Рязанцев															
					Кафедра ТМ гр. ПМ-22											

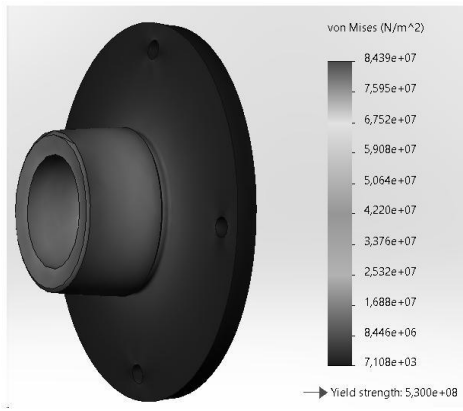


Формат А3

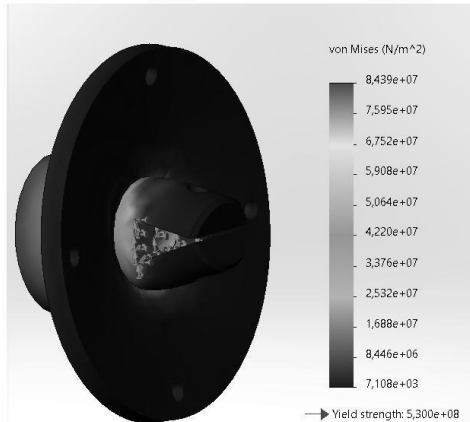
Формат А3

					КНУЧБР.131.26.01-20.РТК		
					Разрахунково-технологична карта		
Дат	Дат	В.Датум	Рез	Стор	Дат	Мас	Максимум
01.01.2020	01.01.2020	01.01.2020	01.01.2020	01.01.2020			11
1.01.2020	1.01.2020	1.01.2020	1.01.2020	1.01.2020	Датум	Датум	
01.01.2020	01.01.2020	01.01.2020	01.01.2020	01.01.2020	Кафедра ТМ		
01.01.2020	01.01.2020	01.01.2020	01.01.2020	01.01.2020	ПМ-22		

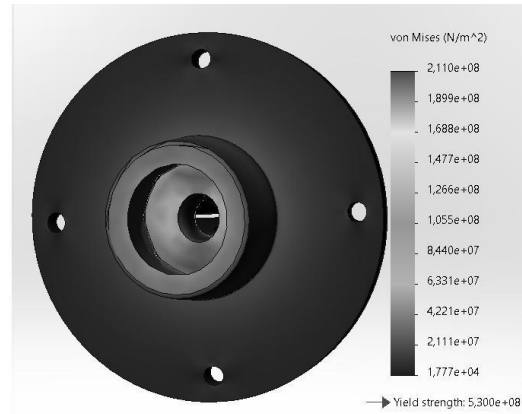
КНУКБР.131.26.01-20.АПР



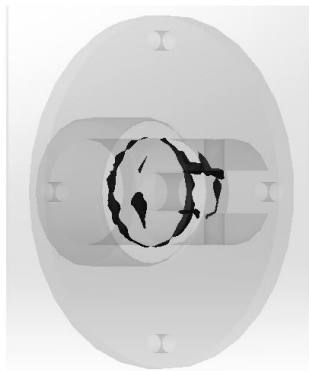
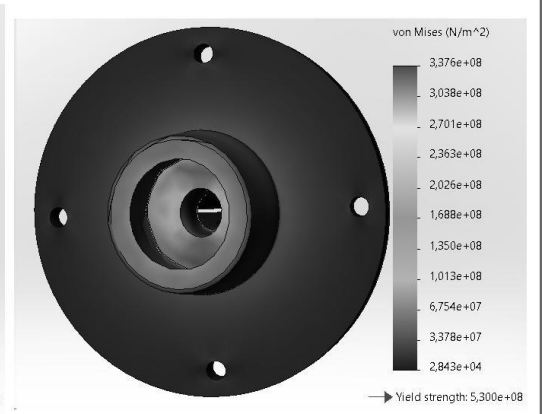
Розподіл внутрішніх напружень при навантаженні 30 кН



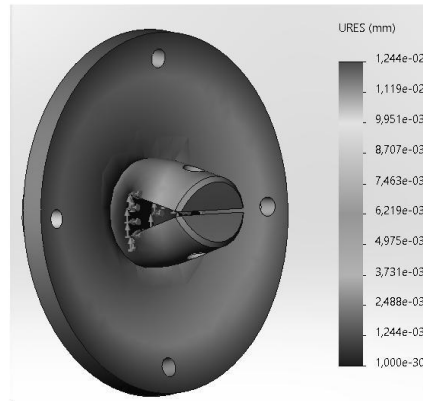
Розподіл внутрішніх напружень при навантаженні 75 кН



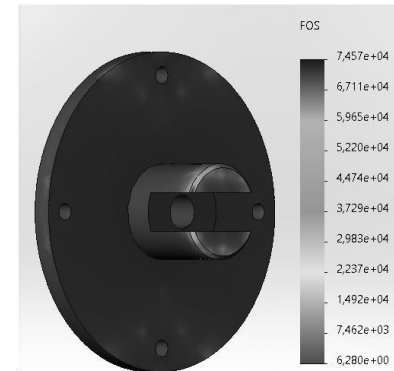
Розподіл внутрішніх напружень при навантаженні 120 кН



Результати аналізу «Design Insight»



Епюра переміщень



Епюра коефіцієнту запасу міцності при 30 кН

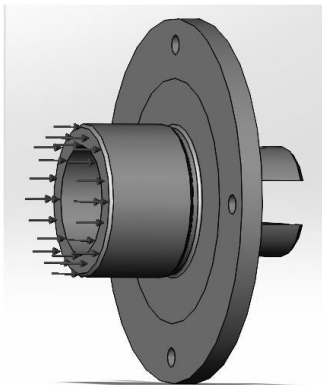
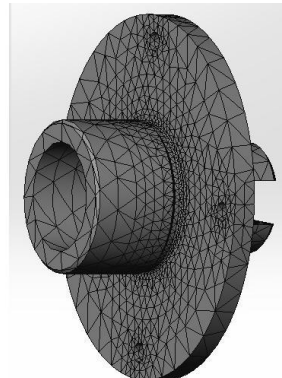
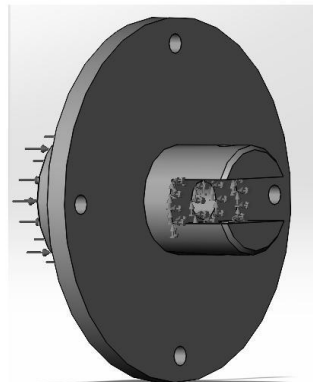


Схема прикладання граничних умов та зовнішнього навантаження до розрахункової моделі вала в середовищі SolidWorks Simulation



Сітка для обчислень методом кінцевих елементів

КНУКБР.131.26.01-20.АПР						Аналіз проектних рішень			Літ.	Маса	Масштаб
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		Н					
Розроб.	Олексієнко	Кравцова				Архив	Архив	1			
Перев.											
Т. контр.											
Керівник											
Н.контр.	Нечасів										
Затв.	Рязанцев										
Копія						Формат А2					

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

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

(підпис)

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну бакалаврську роботу

Здобувача групи ПМ-22 Олексієнка Семена Дмитровича

1. Тема: Технологічна підготовка виробництва втулки розпірної штанги зі застосуванням CAD/CAE-систем і верстатів 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 «Вал». 3. Річна програма випуску деталей

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

5. Перелік графічного матеріалу: 1. Розпірна штанга. 2. Втулка. 3. Втулка (поковка) 4. Технологічний процес. 5. Розрахунково-технологічна карта 6. Результати обчислення вала у SW Simulation.

6. Календарний план:

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

Дата видачі завдання: «26» лютого 2026 р.

Завдання видав керівник КБР

/ Кравцова Д.Ю. /

Завдання отримав
здобувач освіти

/ Олексієнко С.Д. /