

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка

на тему: Технологічна підготовка виготовлення колеса
зубчастого циліндричного редуктора з використанням
CAD/CAE-систем і верстатів з ЧПК

Виконав: здобувач групи ПМ-23ск
Зарицький В.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 виготовлення колеса зубчастого
циліндричного редуктора з використанням CAD/CAE-систем і
верстатів з ЧПК

Виконав здобувач гр. ПМ-23ск

(підпис)

Володимир ЗАРИЦЬКИЙ

Керівник КБР

(підпис)

Дар'я КРАВЦОВА

Нормоконтроль

(підпис)

Василь НЕЧАЄВ

Завідувач кафедри

(підпис)

Антон РЯЗАНЦЕВ

м. Кривий Ріг
2026 р.

ВІДОМІСТЬ МАТЕРІАЛІВ КБР

№	Формат	Позначення	Найменування	К-сть листів	Прим.
			<u>Документація</u>		
1	A4	КНУ.КБР.131.26.1-02.ПЗ	Пояснювальна записка	48	
			<u>Графічні матеріали</u>		
2	A2	КНУ.КБР.131.26.1-02.КЗ	Колесо зубчасте	1	
3	A2	КНУ.КБР.131.26.1-02.КЗЗ	Колесо зубчасте (заготовка)	1	
4	A1	КНУ.КБР.131.26.1-02.СЗТО	Структура та зміст технологічних операцій обробки	1	
5	A1	КНУ.КБР.131.26.1-02.РТК	Розрахунково- технологічна карта	1	
6	A2	КНУ.КБР.131.26.1-02.ПК	Пристосування контрольне	1	
7	A2	КНУ.КБР.131.26.1-02.АПР	Аналіз проектних рішень	1	

					<i>КНУ.КБР.131.26.1-02.ВМКБР</i>				
<i>Змін.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ Документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Відомість матеріалів КБР</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Зарицький</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-23ск</i>				

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА.....	6
1.1 Характеристика циліндричного редуктора	6
1.2 Характеристика деталі колесо зубчате	8
1.3 Визначення типу виробництва.....	10
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	12
2.1 Аналіз технологічності деталі колесо зубчате	12
2.2 Обґрунтування вибору лиття для отримання заготовки	12
2.3 Маршрут обробки і виготовлення колеса зубчастого, зміст технологічних операцій	13
2.4 Вибір металорізального обладнання і верстатних пристосувань для деталі колесо зубчате.....	16
2.5 Вибір різального інструменту.....	18
2.6 Вибір вимірювальних пристроїв та інструментів	19
2.7 Розрахунок припусків для деталі колесо зубчате	20
2.8 Нормування операцій.....	21
3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	24
3.1 Випробування зубчастого колеса на міцність.....	24
3.2 Розробка конструкції контрольного пристрою	30
4 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	31
4.1 Охорона праці та екологічна безпека виробництва.....	31
4.1.1 Організація безпечного виробничого середовища та мінімізація професійних ризиків у технологічному комплексі виготовлення зубчастого колеса.....	31
4.1.2 Оцінка техногенного впливу механообробного і термічного виробництва на довкілля та заходи з його екологізації	33
4.2 Економічна ефективність впровадження автоматизованого комплексу та розрахунок техніко-економічних показників ділянки	34
ВИСНОВКИ.....	39
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	41
ДОДАТОК А	44

					<i>КНУ.КБР.131.26.1-02.3</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>Зарицький</i>						
<i>Перевір.</i>		<i>Кравцова</i>						
<i>Н. контр.</i>		<i>Нечаєв</i>				<i>Кафедра ТМ гр. ПМ-23ск</i>		
<i>Затверд.</i>		<i>Рязанцев</i>						

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка представленої КБР викладена на 52 сторінках друкованого тексту та містить 16 рисунків, 19 таблиць, а також доповнена графічним матеріалом на 5 демонстраційних аркушах.

Ключовим завданням розробки є модернізація технології механічної обробки циліндричної шестерні шляхом інтеграції сучасних центрів із ЧПК марок Haas, Gleason та Hoffmann. Нове обладнання забезпечує мінімізацію трудомісткості виробництва для встановленої річної програми обсягом 540 одиниць. Паралельно виконано чисельний аналіз міцності деталі методом скінченних елементів, що дозволив дослідити її пружно-деформований стан при граничному крутному моменті 300 Нм в режимі аварійного стопоріння.

Перший розділ містить опис об'єкта проектування, специфіку роботи колеса у кінематичній схемі редуктора вантажопідйомного приводу, технічні критерії точності й шорсткості поверхонь, а також матеріалознавче обґрунтування застосування конструкційної литої сталі 45Л.

У другому розділі представлено новий поопераційний технологічний маршрут виготовлення деталі в умовах серійного виробництва. Процес обробки оптимізовано на базі верстатів Haas ST-30, Haas VF-4, Gleason Genesis 600H та Hoffmann. Прогресивні схеми базування з гідропатронами та поворотними столами скоротили допоміжний час, забезпечивши штучно-калькуляційну трудомісткість на рівні 92,18 хвилини та автоматизацію операцій за допомогою цифрових керуючих програм.

Третій розділ присвячено комп'ютерним випробуванням міцності колеса в SolidWorks Simulation. Статичний розрахунок на базі скінченно-елементної сітки зафіксував пікові напруження за фон Мізесом на рівні 241,8 МПа, що гарантує роботу без пластичних деформацій відносно границі текучості 530 МПа. Максимальні лінійні зміщення обода склали 0,323 мм при коефіцієнті безпеки 2,19. Інструмент Design Insight підтвердив раціональність полегшеної конфігурації диска з чотирма спицями.

Четвертий розділ охоплює інженерні рішення з охорони праці та екології, включаючи аспірацію масляного туману, механізацію робіт кранами-маніпуляторами, термозахист від печей Aichelin та рециклінг стружки. Фінансово-економічний аналіз підтвердив високу ефективність проекту: при стартових інвестиціях 4211850 грн та чистому прибутку 1674075 грн/рік термін окупності становить 2,52 роки.

ЗУБЧАСТЕ КОЛЕСО, ЦИЛІНДРИЧНИЙ РЕДУКТОР, ОБРОБНІ ЦЕНТРИ З ЧПК, SOLIDWORKS SIMULATION, СТАЛЬ 45Л, ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ.

					<i>КНУ.КБР.131.26.1-02.P</i>			
<i>Змін.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ Документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Реферат</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Зарицький</i>						
<i>Перевір.</i>		<i>Кравцова</i>						
<i>Н. Контр.</i>		<i>Нечаєв</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Рязанцев</i>						
						<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
					<i>Кафедра ТМ гр. ПМ-23ск</i>			

ABSTRACT

The explanatory note of the presented Bachelor's Thesis is set out on 52 pages of printed text, includes 16 figures and 19 tables, and is supplemented by graphical material on 5 demonstration sheets.

The key task of the development is to modernize the machining technology of a spur gear by integrating modern CNC machining centers from Haas, Gleason, and Hoffmann. The new equipment ensures the minimization of production labor intensity for a specified annual program of 540 units. In parallel, a numerical finite element analysis of the part's strength was performed, allowing the study of its stress-strain state under a peak torque of 300 Nm in emergency jamming mode.

The first section contains a description of the design object, the specifics of the gear wheel operation within the kinematic scheme of a hoisting mechanism reducer, technical criteria for surface accuracy and roughness, and a material science justification for the application of 45L structural cast steel.

The second section presents a new operation-by-operation manufacturing routing for the part under batch production conditions. The machining process is optimized based on Haas ST-30, Haas VF-4, Gleason Genesis 600H, and Hoffmann machine tools. Advanced locating and clamping schemes using hydraulic chucks and rotary tables reduced auxiliary time, ensuring a standard manufacturing time of 92.18 minutes and operation automation via digital control programs.

The third section is dedicated to computer strength testing of the gear wheel in SolidWorks Simulation. A static analysis based on a finite element mesh recorded peak von Mises stresses at 241.8 MPa, which guarantees operation without plastic deformation relative to a yield strength of 530 MPa. The maximum linear displacements of the rim amounted to 0,323 mm at a safety factor of 2.19. The Design Insight tool confirmed the rationality of the lightweight disk configuration with four spokes.

The fourth section covers engineering solutions for occupational health, safety, and environmental protection, including oil mist aspiration, mechanization of handling operations using manipulator cranes, thermal insulation for Aichelin furnaces, and chip recycling. The financial and economic analysis confirmed the high efficiency of the project: with an initial investment of 4,211,850 UAH and a net profit of 1,674,075 UAH/year, the payback period is exactly 2.52 years.

GEAR WHEEL, CYLINDRICAL REDUCER, CNC MACHINING CENTERS, SOLIDWORKS SIMULATION, 45L STEEL, TECHNICAL AND ECONOMIC EFFICIENCY.

					КНУ.КБР.131.26.1-02.P	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

ВСТУП

Сучасне машинобудування є стратегічним фундаментом індустріального розвитку та економічної стійкості України. У складних сучасних реаліях вітчизняний промисловий сектор проходить етап глибокої структурної та технологічної перебудови. Головним вектором цього процесу є поступовий відхід від застарілих ресурсомістких моделей виробництва на користь гнучких, високоточних та енергоефективних рішень. Розвиток галузі сьогодні безпосередньо пов'язаний із необхідністю інтеграції українських підприємств у світові виробничі ланцюжки, що вимагає забезпечення європейських стандартів якості, зниження технологічної собівартості продукції та кардинального підвищення продуктивності праці. Особливого значення це набуває для сектору важкого та транспортного машинобудування, де надійність базових деталей, зокрема елементів зубчастих передач, визначає безпеку та загальну ефективність експлуатації складних промислових комплексів.

Головним рушієм модернізації вітчизняного машинобудівного комплексу є масштабне впровадження систем цифрового проектування та аналізу у поєднанні з переходом на багатоосьові обробні центри з числовим програмним керуванням. Заміна традиційного універсального парку обладнання автоматизованими верстатними комплексами дозволяє мінімізувати вплив людського фактора, суттєво скоротити допоміжний час на переналагодження й базування заготовок та забезпечити стабільну прецизійну точність обробки геометрично складних поверхонь. Поєднання сучасних механообробних центрів із автоматизованими термічними агрегатами нового покоління дає змогу реалізувати концепцію наскрізного інтегрованого виробництва. Це дозволяє підприємствам гнучко адаптуватися до умов серійного випуску, оперативно перепрофілювати лінії на виготовлення нових виробів та забезпечувати високу конкурентоспроможність продукції.

У цьому контексті розробка та практичне впровадження високоефективних технологічних процесів виготовлення відповідальних деталей машин є актуальним науково-технічним завданням для промисловості України. Оптимізація маршрутів обробки на базі прогресивного світового обладнання дозволяє не лише досягти необхідних експлуатаційних та міцнісних характеристик виробів, але й забезпечити високу комерційну доцільність виробництва через зниження матеріальних витрат та прискорення термінів окупності інвестицій. Дана робота спрямована на вирішення зазначених галузевих задач на прикладі модернізації дільниці з виготовлення циліндричного зубчастого колеса, що повністю відповідає сучасним тенденціям розвитку інженерної думки та відновлення промислового потенціалу держави.

					<i>КНУ.КБР.131.26.1-02.B</i>			
<i>Змін.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ Документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Вступ</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Зарицький</i>						
<i>Перевір.</i>		<i>Кравцова</i>						
<i>Н. контр.</i>		<i>Нечаєв</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Рязанцев</i>						
						<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
					<i>Кафедра ТМ гр. ПМ-23ск</i>			

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Характеристика циліндричного редуктора

Об'єктом дипломного проектування обрано редуктор вантажопідйомного механізму. Даний вузол є чотириступінчастим циліндричним редуктором із прямозубими колесами, який має масу 354 кг та габаритні розміри 1137x586x533,5 мм. Основним приводом пристрою слугує ланцюгова передача, проте конструкція передбачає можливість підключення через другий вал для зміни передавального відношення. Вантажопідйомний механізм застосовується в лабораторії технології машинобудування для підйому і переміщення вузлів під час ремонту обладнання, виконання монтажних робіт, а також для завантаження верстатів.

Корпус редуктора виконаний методом лиття з чавуну. В середині корпусу на окремому валу встановлено вантажоупорне гальмо з храповим механізмом ручного приводу лебідки, що відображено на кінематичній схемі на рисунку 1.1. На кришці редуктора змонтовані органи керування та контролю, а саме рукоятка перемикачів режимів роботи для переходу з ручного приводу на електричний і навпаки, кінцевий шляховий вимикач, масловказівник та оглядове вікно для моніторингу стану гальма і механізму перемикачів.

Рукоятка перемикача режимів надійно фіксується в кожному положенні за допомогою пружинного фіксатора. Наявність написів ЕЛЕКТРОПРИВОД та РУЧНИЙ ПРИВОД чітко вказує на вибраний тип приводу. Під час переведення рукоятки в положення ЕЛЕКТРОПРИВОД рухома шестерня 3 з кількістю зубів $z=31$ (рисунок 1.3) виводиться із зачеплення з шестернею 73 з кількістю зубів $z=57$, яка розташована на валу вантажоупорного гальма. В цей же момент утоплюється кнопка кінцевого вимикача, що забезпечує замикання лінії керування. Таким чином активується можливість дистанційного керування електродвигуном та колодковим гальмом механізму.

Коли рукоятка перемикачів переводиться у положення РУЧНИЙ ПРИВОД, рухома шестерня 3 з кількістю зубів $z=31$ входить у зачеплення з шестернею 73 з кількістю зубів $z=57$. Це забезпечує пряму механічну передачу зусилля від рукояток до редуктора. При цьому кнопка кінцевого вимикача відпускається, що призводить до розмикання його контактів. Внаслідок цього лінія керування знеструмлюється, що робить запуск електричного двигуна технічно неможливим і гарантує безпеку під час ручних операцій.

Передача крутного моменту від електродвигуна здійснюється через пружну муфту. На ведучій напівмуфті, що змонтована безпосередньо на валу двигуна, за допомогою конічних хвостовиків зафіксовано шість пальців із пружними гумовими втулками. Ведена напівмуфта розташована на вхідному валу редуктора

					КНУ.КБР.131.26.1-02.01.34		
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата	Загальна частина		
Разроб.	Зарицький						
Перевір.	Кравцова						
Н. контр.	Нечаєв						
Затверд.	Рязанцев						
					Літ.	Арк.	Аркушів
					Кафедра ТМ гр. ПМ-23ск		

разом із гальмівним шківом. Даний вузол, що включає муфту та колодкове гальмо, повністю закритий захисним кожухом.

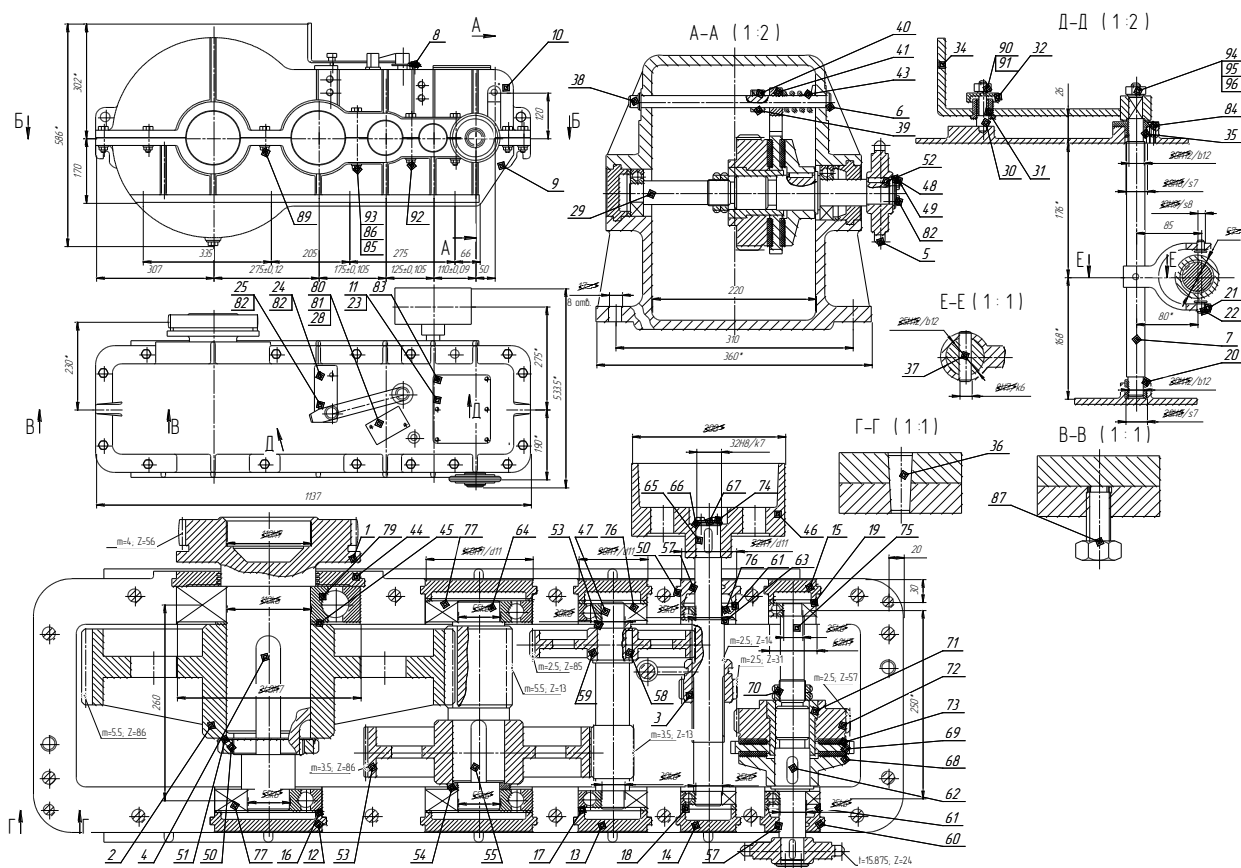


Рисунок 1.1 – Редуктор лебідки

Вал ручного приводу базується на двох підшипниках кочення, які встановлені на зварній рамі з кутового сталевих прокату. Обертання від цього вала передається на вал вантажоупорного гальма за допомогою ланцюгової передачі, закритої кожухом. Далі через рухому шестерню 3 з параметром $z=31$ ручний привід з'єднується з вхідним валом редуктора.

Технічна характеристика механізму визначає його як однобарабанный реверсивний пристрій із можливістю роботи від ручного або електричного привода за умов легкого режиму навантаження. Вантажопідйомність агрегату становить 5 т. Швидкість навівання канату діаметром 21 мм залежить від шару обмотки барабана, діаметр якого становить 426 мм, і складає 7,67 м/хв для першого шару, 8,38 м/хв для другого та 9,1 м/хв для третього шару при загальній канатомісткості 120 м.

Електрична частина представлена двигуном типу АИР 132М493 з потужністю 11 кВт та частотою обертання 1450 об/хв, що працює від мережі напругою 380 В із частотою струму 50 Гц. При використанні ручного приводу зусилля на обох рукоятках становить 31 кгс, що створює момент на валу 24,8 кгс на метр. Передавальне число при ручному керуванні дорівнює 99,1, тоді як загальне передавальне число редуктора становить 255,7. Для обслуговування лебідки в ручному режимі необхідно залучати 4 особи. Габаритні розміри

Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата
-------	-------	-------------	--------	------

КНУ.КБР.131.26.1-02.01.34

Аркуш

механізму без рукояток складають 1235x1265x1010 мм, а з установленими рукоятками ширина збільшується до 2040 мм, висота — до 1325 мм при загальній масі установки 972 кг.

1.2 Характеристика деталі колесо зубчате

Зубчасте колесо з маркуванням КНУ.КБР.131.26.01-02.КЗ, зображене на рисунку 1.2 і 1.3, виготовляється зі сталі 45Л згідно з ДСТУ 8781:2018. Ця деталь є ключовим елементом передавального механізму в системі шестерня-колесо-вал та призначена для трансляції крутного моменту між ступенями редуктора, забезпечуючи передачу зусилля на вихідний вал. Головними функціональними елементами колеса є його зубчастий вінець із модулем 5,5 мм, кількістю зубів 86 та кутом нахилу зубів 8 градусів, а також маточина, довжина якої становить 155 мм, а внутрішній діаметр виконаний за посадкою 109 Н8 мм.

Для фіксації деталі на валу всередині маточини передбачено два шпонкових пази, розташованих під кутом 120 градусів один до одного, при цьому ширина кожної шпонкової канавки дорівнює 32 мм. Конструктивна єдність зубчастого вінця та маточини забезпечується за допомогою чотирьох спиць. Для підвищення показників жорсткості та загальної міцності конструкції переріз спиць виконаний у хрестоподібній формі. Повні дані щодо хімічного складу, а також механічні властивості обраного матеріалу та його можливого замінника представлені далі у таблиці 1.3.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад та властивості матеріалів

Параметр характеристики	Марка сталі 45Л	Марка сталі 50Л
1	2	3
Масова частка вуглецю (C), відсотки	0,42 – 0,50	0,47 – 0,55
Масова частка кремнію (Si), відсотки	0,20 – 0,52	0,20 – 0,52
Масова частка марганцю (Mn), відсотки	0,45 – 0,90	0,45 – 0,90
Масова частка сірки (S), не більше, відсотки	0,045	0,045
Масова частка фосфору (P), не більше, відсотки	0,04	0,04
Границя плинності, не менше, МПа	315	345
Тимчасовий опір розриву, не менше, МПа	570	610
Відносне подовження, не менше, відсотки	15	10
Відносне звуження, не менше, відсотки	20	15
Ударна в'язкість КСУ, не менше, кДж на метр квадратний	300	200
Твердість за Брінеллем (НВ), після нормалізації	163 – 217	179 – 229

					КНУ.КБР.131.26.1-02.01.34	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

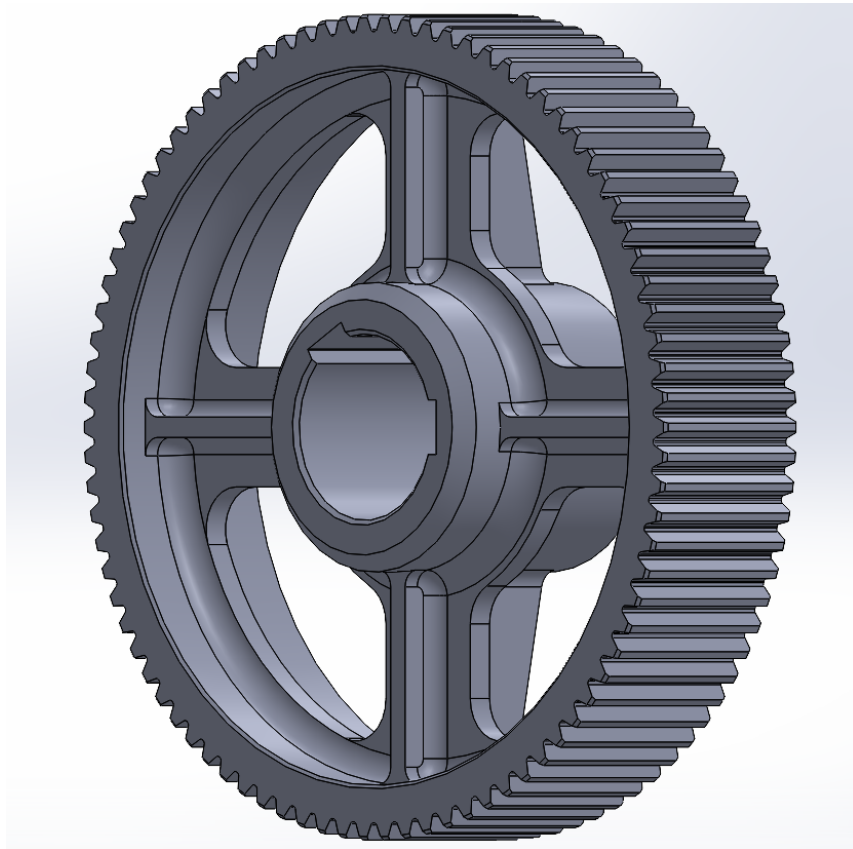


Рисунок 1.2 – Модель колеса зубчастого

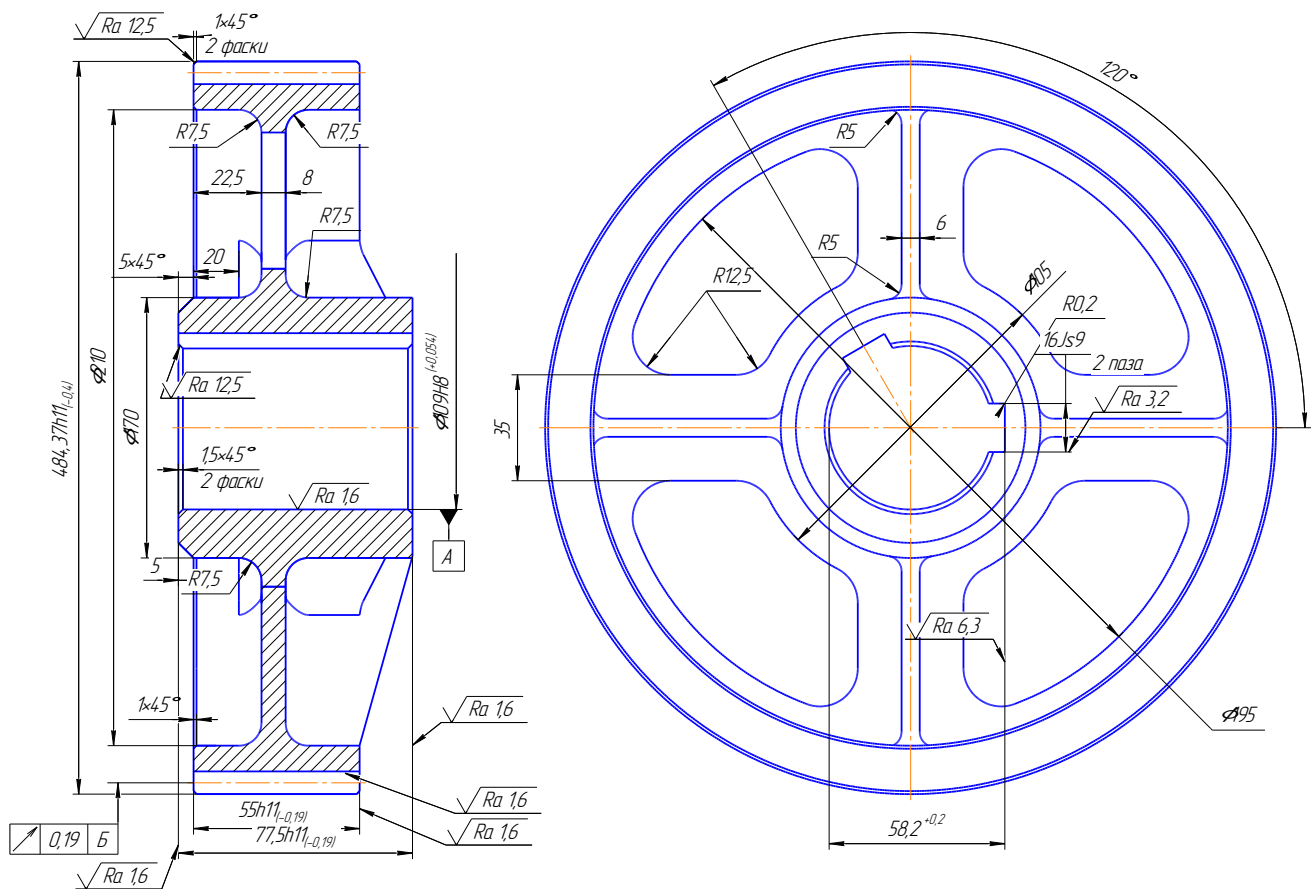


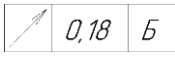
Рисунок 1.3 – Креслення колеса зубчастого

КНУ.КБР.131.26.1-02.01.34					Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата	

Вибір конструкційної сталі 45Л для виготовлення зубчастого колеса обґрунтовується її високими експлуатаційними характеристиками та технологічною універсальністю. Даний матеріал забезпечує необхідний рівень механічної міцності та опірності контактній втомі, що є першочерговою вимогою для деталей зубчастих зачеплень вантажопідйомних механізмів. Завдяки збалансованому вмісту вуглецю сталь дозволяє ефективно поєднувати методи обробки різанням із термічним зміцненням робочих профілів зубів, забезпечуючи тривалий термін служби вузла. Додатковим аргументом на користь сталі 45Л є її добра ливарна здатність, що дозволяє отримувати заготовки з раціональним розподілом металу та мінімальними припусками на обробку. Економічна доступність цієї марки сталі у поєднанні з відсутністю потреби в дорогих легуючих елементах робить її найбільш раціональним вибором для умов середньосерійного виробництва, забезпечуючи оптимальне співвідношення між надійністю конструкції та вартістю її реалізації.

Аналіз точності поверхонь деталі колесо зубчасте представлено у табличному вигляді в таблиці 1.2. У цій таблиці відображено основні вимоги до геометричної точності, якості обробки та параметри шорсткості для кожної функціональної поверхні. Основними критеріями оцінки точності є допуски на розміри маточини, шпонкових пазів та елементів зубчастого вінця. Окрему увагу приділено допускам форми та розташування поверхонь, що забезпечують правильну роботу передачі в складі редуктора.

Таблиця 1.2 – Аналіз точності колеса зубчастого

№ пов.	Назва поверхні (елемента)	Розмір з відхиленням	Квалітет точності	Точність		Шорсткість Ra, мкм
				Форми	Розташування	
1	2	3	4	5	6	7
1	зубчастий вінець	Ø484 ^{-0,4}	h11	—		6,3
2	циліндрична	Ø109 ^{+0.054}	H9	—	—	1,6
3, 6	площина	155 ^{-0,25}	h11	—	—	6,3
4, 5	площина	110 ^{-0,22}	h11	—	—	6,3
7	площина	32 ^{+0,031 -0,031}	Js9	—	—	3,2
8	площина	116,4 ^{+0.2}	H10	—	—	6,3

1.3 Визначення типу виробництва

З урахуванням фактичної маси деталі, яка становить 7,89 кг, та розрахункової річної програми випуску в обсязі 540 одиниць, тип виробництва визначається як середньосерійне. Така класифікація зумовлена тим, що для деталей середньої ваговій категорії зазначений обсяг випуску передбачає періодичне виготовлення виробів партіями, що повторюються через певні проміжки часу.

					КНУ.КБР.131.26.1-02.01.34	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Таблиця 1.3 – Визначення типу виробництва

Найменування показника	Умовне позначення	Одиниця виміру	Значення або розрахункова формула
1	2	3	4
Річне планове завдання	N _г	шт.	500
Відсоток випуску на запасні частини	alpha	%	7
Відсоток технологічних втрат (брак)	beta	%	1
Розрахункова річна виробнича програма	N	шт.	540

Середньосерійний тип виробництва дозволяє використовувати переважно універсальне та спеціалізоване обладнання, яке групується за технологічними ознаками. При такому підході стає можливим застосування групових методів обробки та використання швидкозмінних пристроїв для переналагодження верстатів. Організація робіт за серійним принципом забезпечує оптимальний баланс між продуктивністю праці та витратами на підготовку виробництва, що є економічно доцільним для заданих масштабів випуску зубчастих коліс.

					КНУ.КБР.131.26.1-02.01.34	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Аналіз технологічності деталі колесо зубчасте

Зубчасті колеса належать до найбільш розповсюджених деталей у галузі машинобудування, через що питання їхньої технологічності потребують особливої уваги. Варто зазначити, що з позиції механічної обробки такі деталі традиційно вважаються складними, оскільки процес формування зубів часто вимагає використання специфічних та порівняно низькопродуктивних методів.

Проте на етапі проектування конструкції необхідно закладати рішення, що сприятимуть підвищенню продуктивності виготовлення. Наприклад, наявність конструктивних виступів відносно площини зубчастого вінця створює певні технологічні перешкоди. При одночасній обробці кількох таких деталей на зубофрезерному обладнанні виникає потреба у використанні дистанційних кілець, що призводить до збільшення загальної довжини робочого ходу інструменту та, як наслідок, до зниження темпів виробництва.

Усі ці конструктивні аспекти були враховані при розробці даного виробу. Обраний для колеса матеріал, сталь 45Л згідно з ДСТУ 8781:2018, дозволяє виготовляти заготовки методом лиття. Дана марка сталі має високі технологічні властивості, зокрема добру рідкоплинність та однорідність структури, що мінімізує ризик виникнення внутрішніх порожнин чи інших дефектів у виливку.

Конструкція деталі передбачає наявність зручних базових поверхонь для надійного закріплення на верстатах. Оскільки вимоги до точності розмірів та параметрів шорсткості для більшості поверхонь є помірними, це відкриває можливість застосування однопрохідної обробки без потреби у додаткових чистових операціях. Форма центрального отвору маточини є наскрізною, що дозволяє виконувати його обробку на прохід, підвищуючи ефективність технологічного процесу. За сукупністю якісних показників можна констатувати, що конструкція даного зубчастого колеса є технологічною та повністю відповідає умовам обраного типу виробництва.

2.2 Обґрунтування вибору лиття для отримання заготовки

Обґрунтування вибору методу отримання заготовки шляхом лиття базується на поєднанні конструктивних особливостей деталі та властивостей обраного матеріалу. Згідно з кресленням, заготовка зубчастого колеса виготовляється зі сталі 45Л за ДСТУ 8781:2018. Ця марка сталі спеціально розроблена для ливарного виробництва, що забезпечує відмінну рідкотекучість та якісне заповнення форми. Застосування лиття дозволяє максимально наблизити конфігурацію заготовки до форми готового виробу, враховуючи наявність

					КНУ.КБР.131.26.1-02.02.ТЧ								
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата	Технологічна частина				Лит.		Арк.	Аркушів	
Розроб.		Зарицький											
Перевір.		Кравцова											
Н. контр.		Нечаєв											
Затверд.		Рязанцев											
					Кафедра ТМ гр. ПМ-23ск								

хрестоподібних спиць та складних переходів між маточиною та вінцем. Такий підхід суттєво знижує обсяг подальшої механічної обробки та забезпечує раціональне використання металу. Крім того, задана точність вилівка та показники твердості на рівні 240-250 МПа гарантують необхідну надійність заготовки при експлуатації в умовах вантажопідйомного механізму.

Вартість заготовки визначається виходячи з її фактичної маси, яка складає 9,4 кг. Приймаючи середню ринкову вартість сталевого лиття середньої складності на рівні 115 гривень за кілограм, розрахункова ціна однієї заготовки становить 1081 гривню. Ця сума покриває витрати на сировину, енергоносії для плавки та обслуговування ливарного оснащення. Враховуючи річну програму випуску у 540 одиниць та середньосерійний тип виробництва, даний метод виготовлення є найбільш економічно виправданим, оскільки він дозволяє мінімізувати собівартість при збереженні високої якості структури металу зубчастого колеса.

Важливо зауважити, що заготовка зубчастого колеса постачається на виробничу дільницю безпосередньо після завершення ливарного циклу, пройшовши обов'язкові стадії обробки та нормалізації. Етап обробки дозволяє очистити виливок від залишків ливарної системи, прибутків та облою, що забезпечує відповідність зовнішніх обрисів деталі вимогам креслення заготовки.

Наступна термічна обробка у вигляді нормалізації проводиться для сталі 45Л з метою подрібнення внутрішньої структури металу та усунення залишкових напружень, що виникли при охолодженні у формі. Це гарантує отримання стабільної твердості матеріалу в межах 240-250 МПа, значно покращує умови для подальшого нарізання зубів та забезпечує збереження точності розмірів під час механічної обробки функціональних поверхонь маточини та вінця. Такий стан постачання є оптимальним для середньосерійного виробництва, оскільки дозволяє мінімізувати час на підготовчі операції та одразу розпочати механічну обробку на металорізальних верстатах.

2.3 Маршрут обробки і виготовлення колеса зубчастого, зміст технологічних операції

Початкове створення паралельних торцевих площин на операції 015 забезпечує формування стабільної настановної бази, необхідної для витримання перпендикулярності осі майбутнього отвору до торців колеса. Фінішне розточування центрального отвору на операції 020 перетворює його на основну подвійну напрямну базу, яка стає єдиним центром відліку для всіх наступних критичних параметрів. Дотримання принципу єдності баз при протягуванні шпонкових пазів та нарізанні зубів від уже готового отвору 109Н9 гарантує мінімальну похибку взаємного розташування цих елементів. Суміщення технологічної бази з конструкторською на операціях 025 та 030 дозволяє уникнути додаткових перерахунків розмірних ланцюгів, що безпосередньо підвищує точність зачеплення. Послідовний перехід від обробки основних базуючих поверхонь до нарізання шпонкових пазів і лише потім зубів забезпечує збереження високої концентричності зубчастого вінця відносно осі вала.

					КНУ.КБР.131.26.1-02.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Використання чистових поверхонь маточини як опорних баз на фінальних етапах дозволяє повністю виключити вплив похибок заготовки на якість зачеплення, що є критичним для довговічності редуктора.

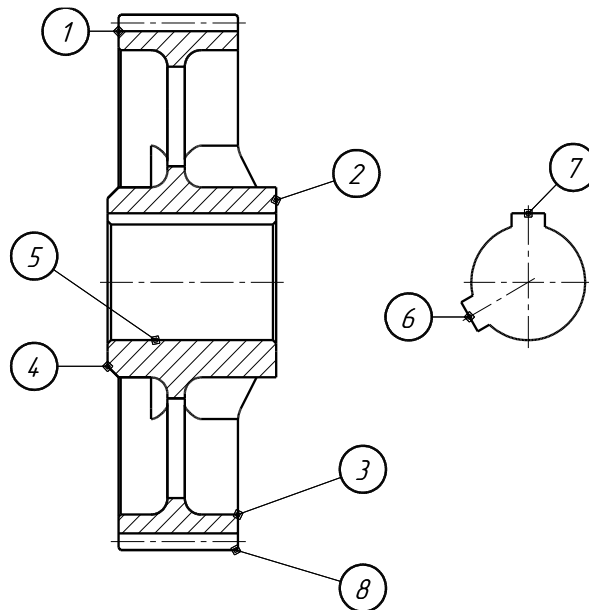


Рисунок 2.1 – Ескіз деталі із номерами поверхонь

Таблиця 2.1 – Маршрут виготовлення колеса зубчатого

Номер і назва операції	Ескіз операції	Номер і зміст переходу
1	2	3
005 Заготівельна		
015 Термічна		Виконати нормалізацію
020 Фрезерна		Встановити, закріпити та зняти заготовку. Установ 1 1. Фрезерувати пов. 1. Установ 2 1. Фрезерувати пов. 1.

Продовження таблиці 2.1

1	2	3
030 Токарно гвинторізна з ЧПК		Встановити, закріпити та зняти деталь. Установ 1 1.Точити пов 1, 2 згідно з програмою обробки попередньо витримуючи розміри 2.Точити пов 1, 2, 3, 5, 6 згідно з програмою обробки остаточно витримуючи розміри з ескізу. Установ 2 1.Точити пов 1 попередньо згідно з програмою обробки витримуючи розміри: l=10 мм. 2.Точити пов 1, 2, 3, 4, 5 згідно з програмою обробки остаточно витримуючи розміри з ескізу.
040 Протяжна		Встановити, закріпити та зняти деталь. 1. Протягнути шпонковий паз. 2. Повернути заготовку на 120° 3. Протягнути шпонковий паз.
050 Зубофрезерна		Встановити, закріпити та зняти деталь. 1.Фрезерувати 86 зубів m=5,5 мм.
055 Мийна		Промити деталь. Висушити.
060 Термічна		Виконати покращення
065 Контрольна		Виконати технічний контроль усіх поверхонь

Структура та зміст технологічних операцій з урахуванням маршруту та вибору верстатів, оснащення, інструментів для деталі колесо зубчате розроблена і показана у альбомі креслень КНУ.КБР.131.26.1-02.СЗТО.

2.4 Вибір металорізального обладнання і верстатних пристосувань для деталі колесо зубчате

Таблиця 2.2 - Металорізальне обладнання і оснащення для деталі колесо зубчате

№ операції	Старий верстат	Новий верстат	Старе оснащення	Нове оснащення
010	Піч ПТК 1266/13	Камерна піч Aichelin SQF	Стандартні піддони	Кошики з жароміцної сталі
015	Вертикально-фрезерний 6126	Вертикальний обробний центр Haas VF-4	Пристосування спеціальне 0265-1256	Пневматичні затискні лещата з ЧПК керуванням
020	Токарно-гвинторізний 16K25РФЗ	Токарний центр Haas ST-30	Трикулачковий патрон 7100-0009	Гідравлічний самоцентрувальний патрон
025	Горизонтально-протяжний 7658	Вертикально-протяжний Hoffmann RAW 16-1600	Опора жорстка 7620-0118	Прецизійна опора з гідрозатискачем
030	Зубофрезерний 5310	Зубофрезерний центр Gleason Genesis 600H	Спеціальне пристосування	Гідравлічна оправка прецизійного типу
035	Машина MAGIDO X51	Установка Dürr Ecoclean 81W	Кошик сітчастий	Спеціалізована оснастка
040	Піч ПТК 1266/13	Камерна піч Aichelin SQF	Стандартні піддони	Кошики з жароміцної сталі
045	Стіл контрольний	Вимірювальний центр Klingelnberg P26	Калібри та нутроміри	Електронні щупи та ПЗ

Застосування верстата Haas VF-4 на операції 015 є технічно виправданим рішенням для забезпечення високої точності геометричних параметрів торцевих поверхонь маточини. Дана модель характеризується значною жорсткістю литої станини та високою потужністю шпинделя, що дозволяє виконувати силове фрезерування сталі 45Л без виникнення вібрацій. Використання системи числового програмного керування гарантує отримання ідеальної площинності та паралельності торців, що є критично важливим для створення надійних технологічних баз для подальшої обробки. Впровадження пневматичних затискних пристроїв на цьому етапі дозволяє стабілізувати зусилля фіксації заготовки, виключаючи похибки, пов'язані з людським фактором, та забезпечуючи високу якість поверхні під наступні операції точіння.

					КНУ.КБР.131.26.1-02.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Для виконання комплексу токарних переходів на операції 020 обрано центр Haas ST-30, який поєднує в собі високу продуктивність та прецизійну точність. Конструкція верстата забезпечує стабільну обробку зовнішнього контуру та внутрішнього посадкового отвору діаметром 109 мм при значних швидкостях різання. Використання гідравлічного самоцентрувального патрона дозволяє надійно фіксувати деталь масою 7,89 кг, запобігаючи її зміщенню під дією сил різання. Висока роздільна здатність приводів осей та автоматична зміна інструменту в револьверній головці забезпечують отримання заданих квалітетів точності та параметрів шорсткості за мінімальну кількість робочих ходів. Це дозволяє суттєво скоротити допоміжний час та гарантувати стабільну якість деталей у межах всієї партії при середньосерійному виробництві.

Вибір верстата Hoffmann RAW 16-1600 для операції 025 зумовлений потребою в отриманні шпонкових пазів шириною 32 мм із високими вимогами до прямолінійності та паралельності сторін. Вертикальне компонування цього обладнання забезпечує зручність встановлення деталі та раціональне використання виробничих площ. Гідравлічна система приводу гарантує плавний та рівномірний рух різального інструменту, що виключає ризик виникнення задирів або нерівностей на робочих поверхнях паза. Застосування прецизійної опори з гідравлічним затискачем дозволяє точно зорієнтувати зубчасте колесо відносно осі протягування, що є необхідною умовою для правильного подальшого монтажу колеса на вал редуктора та забезпечення довговічності шпонкового з'єднання.

Зубофрезерний центр Gleason Genesis 600H обрано як основне обладнання для найбільш відповідальної операції 030 через його виняткову спеціалізацію на нарізанні зубчастих вінців. Для обробки 86 зубів із модулем 5,5 мм цей верстат забезпечує максимальну жорсткість технологічної системи, що є критичним для досягнення 7-го або 8-го ступеня точності зачеплення. Високий ступінь автоматизації та можливість використання сучасних збірних фрез із твердосплавними пластинами дозволяють проводити обробку на інтенсивних режимах, значно підвищуючи вихід готової продукції. Використання гідравлічної прецизійної оправки мінімізує радіальне биття вінця відносно посадкового отвору маточини, що гарантує безшумну роботу передачі та рівномірний розподіл навантаження по всьому профілю зуба під час експлуатації лебідки.

Для виконання операцій 010 (нормалізація) та 040 (загартування з високим відпуском) замість застарілих камерних печей ПТК пропонується впровадження автоматизованої камерної печі з герметичним гартуванням типу Aichelin Sealed Quench Furnace. Це обладнання забезпечує виняткову рівномірність температури в робочій зоні завдяки використанню захисної атмосфери, що запобігає окисленню та знеуглецюванню поверхні сталі 45Л. Система керування на базі програмованих логічних контролерів дозволяє точно витримувати цикли нагріву при 850-910 градусах Цельсія та контролювати швидкість охолодження, що гарантує отримання дрібнозернистої структури металу та заданої твердості в межах 240-250 МПа без ризику виникнення внутрішніх напружень.

					КНУ.КБР.131.26.1-02.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

На мийній операції 035 заміну машині MAGIDO X51 складе сучасна промислова установка для очищення деталей Dürr Ecoclean Universal 81W. Дана модель працює за принципом багатостадійної водної очистки з використанням ультразвуку та вакуумного сушіння, що дозволяє повністю видалити залишки мастильно-охолоджувальних рідин та металевої стружки навіть із важкодоступних місць, таких як шпонкові пази та западини між зубами. Це забезпечує ідеальну чистоту поверхні перед термічним покращенням та фінішним контролем, що критично важливо для точності вимірювань та надійності подальшої експлуатації редуктора.

Для проведення фінальної перевірки якості зубчастого колеса на операції 045 прийнято рішення про збереження ручного методу контролю із суттєвим оновленням інструментальної бази. Замість сталевого контрольного столу пропонується використання прецизійної гранітної плити типу Mitutoyo 517. Граніт має значно вищу зносостійкість та низький коефіцієнт температурного розширення порівняно з чавуном, що забезпечує стабільність бази вимірювання протягом тривалого часу. Висока якість доведення поверхні гранітної плити дозволяє виключити похибки при перевірці площинності торців маточини та радіального биття вінця на оправках.

Оновлення засобів вимірювання передбачає повний перехід на цифрові інструменти нового покоління. Замість традиційних аналогових приладів пропонується застосування цифрових штангенциркулів Mitutoyo серії 500 із технологією AOS, яка забезпечує надійне зчитування результатів навіть у присутності залишків вологи чи мастила. Для контролю внутрішнього отвору діаметром 109 мм доцільно використовувати цифрові триточкові нутроміри Mitutoyo Holtest. Ці прилади мають вбудований фрикційний стопор для забезпечення постійного зусилля вимірювання, що зводить до мінімуму вплив суб'єктивного фактору оператора на результат.

Використання сучасного цифрового інструменту з рівнем захисту IP67 дозволяє проводити вимірювання безпосередньо в умовах цеху з високою точністю до 0,001 мм для критичних розмірів. Такий підхід забезпечує швидку верифікацію відповідності деталі заданим квалітетам точності, зберігаючи при цьому гнучкість та простоту ручного контролю. Крім того, наявність цифрових інтерфейсів у новому інструменті дає можливість за необхідності підключати прилади до системи статистичного контролю якості, що підвищує загальну культуру виробництва без впровадження дороговартісних вимірювальних станцій.

2.5 Вибір різального інструменту



Рисунок 2.2 – Протяжка шпонкова метрична 32 мм Hassay Savage EDP 11632

					КНУ.КБР.131.26.1-02.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Вибір прогресивного різального інструменту провідних світових брендів забезпечує технічну перевагу та стабільність якості при виготовленні відповідальних деталей редукторів. Застосування шпонкової протяжки Hassay Savage із робочою частиною з порошкової сталі BÖHLER S590 MICROCLEAN є найбільш раціональним рішенням, оскільки однорідна структура цього матеріалу гарантує виняткову стійкість до викришування при обробці сталі 45Л. Технологія однопрохідного протягування дозволяє отримати прецизійні параметри паза без накопичення похибок, що критично важливо для надійної передачі крутного моменту. Впровадження зуборізної фрези Sandvik CoroMill 176 зі змінними пластинами радикально підвищує швидкість нарізання вінця та забезпечує ідеальну точність евольвенти без необхідності перешліфовування інструменту. Використання токарних систем T-Max P із міцними пластинами SNMG дозволяє ефективно долати опір ливарної кірки, зберігаючи геометричну точність базуючих поверхонь маточини. Такий комплексний підхід до вибору інструменту мінімізує вплив випадкових факторів на якість зачеплення, що є фундаментом для проведення подальших наукових досліджень ресурсу механізмів.

Таблиця 2.3 – Інструментальне забезпечення технологічного процесу

№ Оп.	№ та зміст переходу	Інструментальний комплект
1	2	3
015	1. Фрезерувати пов. 1 (Установ 1) 2. Фрезерувати пов. 1 (Установ 2)	Sandvik Coromant: Фреза CoroMill MR20, тримач MR20-R063Q22-16H, пластини MR20-1654M-M60 4330
020	1. Точити пов. 1, 2 (попередньо) 2. Точити пов. 1, 2, 3, 5, 6 (остаточно) 3. Точити пов. 1 (попередньо, Установ 2) 4. Точити пов. 1, 2, 3, 4, 5 (остаточно, Установ 2)	Sandvik Coromant: 1. Тримач T-Max P PSSNR 2525M 12, різець SNMG 12 04 16-PR 4425 2. Тримач CoroTurn 107 A40T-STFCR 16, різець TCMT 16 T3 12-PR 4425
025	1. Протягнути шпонковий паз 2. Повернути заготовку на 120° 3. Протягнути шпонковий паз	Протяжка шпонкова метрична 32 мм Hassay Savage EDP 11632, напрямна втулка індивідуальна Style G під отвір 109 мм
030	1. Фрезерувати 86 зубів ($m = 5,5$ мм)	Sandvik Coromant: Фреза черв'ячна модульна CoroMill 176, пластини 176M-0550-GC1130
045	Технічний контроль усіх поверхонь деталі	Mitutoyo: Гранітна плита серії 517, нутромір 468-174, штангенциркулі 500-197-30 та 500-506-10; контрольні калібри (пробка 109H9, скоба 32h9)

2.6 Вибір вимірювальних пристроїв та інструментів

Комплексне метрологічне забезпечення із застосуванням цифрових приладів Mitutoyo на всіх етапах обробки забезпечує виняткову достовірність вимірювань і повністю виключає похибки зчитування даних оператором. Використання цифрових штангенциркулів серій CD-20PSX та CD-60C дозволяє оперативно контролювати лінійні розміри та товщину диска згідно з вимогами стандарту

					КНУ.КБР.131.26.1-02.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

ДСТУ EN ISO 13385-1:2018. Впровадження жорстких граничних калібрів, зокрема пробок 109h9 та калібрів для шпонкових пазів 32JS9, гарантує швидку верифікацію посадкових поверхонь за принципом прохідності в умовах серійного виробництва. Використання триточкового цифрового нутроміра Holtest 468-174 є критично важливим для прецизійного контролю внутрішнього діаметра 109 мм, що безпосередньо впливає на точність базування колеса в редукторі. Спеціалізоване контрольне пристосування КНУ.КБР.131.26.01-02.ПК забезпечує надійний контроль геометричних параметрів 86 зубів, що є необхідною умовою для забезпечення довговічності зацеплення модуля 5,5 мм.

Таблиця 2.4 – Вимірюваний інструмент для обробки деталі поршень верхній великий

№ п/п	Номер операції	Вимірюваний інструмент
1	2	3
1	015 Вертикально-фрезерна	Штангенциркуль Mitutoyo 500-197-30 (CD-20PSX) ДСТУ EN ISO 13385-1:2018
2	020 Токарно-гвинторізна	Штангенциркуль Mitutoyo 500-197-30 (CD-20PSX) Mitutoyo 500-506-10 (CD-60C) ДСТУ EN ISO 13385-1:2018, пробка 109h9 згідно стандарту
3	025 Вертикально-протяжна	Калібр 32JS9 згідно стандарту, Штангенциркуль Mitutoyo 500-197-30 (CD-20PSX) ДСТУ EN ISO 13385-1:2018
4	030 Зубофрезерна	Пристосування контрольне КНУ.КБР.131.26.01-02.ПК
5	035 Мийна	—
6	040 Термічна	—
7	045 Контрольна	Пристосування контрольне КНУ.КБР.131.26.01-02.ПК. Цифр. триточковий нутромір Mitutoyo 468-174, калібр 32JS9, пробка 109h9 згідно стандартів, Штангенциркуль Mitutoyo 500-197-30 (CD-20PSX) Mitutoyo 500-506-10 (CD-60C) ДСТУ EN ISO 13385-1:2018

2.7 Розрахунок припусків для деталі колесо зубчате

Призначені значення припусків та допусків для поверхонь зубчастого колеса відображають раціональний підхід до проектування заготовки, що забезпечує стабільне видалення дефектного ливарного шару при мінімальних витратах металу. Для зовнішнього діаметра 484,37 мм встановлений припуск у 4,8 мм дозволяє впевнено компенсувати зміщення ливарних стрижнів та похибки форми, характерні для виготовлення заготовок у піщано-глиняних формах. Припуск на внутрішню поверхню отвору маточини до розміру 109 мм розрахований таким чином, щоб забезпечити оптимальну глибину різання для розточувальної оправки CoroTurn 107, гарантуючи отримання заданої точності за мінімальну кількість проходів.

Допуски на розміри заготовки повністю враховують технологічні відхилення ливарного виробництва, що виключає появу необроблених ділянок поверхні

					КНУ.КБР.131.26.1-02.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

навіть при максимальних негативних відхиленнях розмірів литва. Величина припусків на торцевих поверхнях створює необхідний запас для формування плоских та паралельних баз, які є критично важливими для подальшої точності нарізання зубчастого вінця. Такий розподіл матеріалу сприяє рівномірному тепловому навантаженню на різальні кромки інструменту Sandvik та запобігає виникненню вібрацій при обробці сталі 45Л. Встановлені виконавчі розміри заготовки забезпечують стабільність технологічного процесу та отримання якісної поверхні деталей у межах усієї партії виробництва.

Таблиця 2.5 – Припуски та допуски на поверхні колеса зубчастого

№ поверхні	Виконавчий розмір, мм	Припуск на обробку, мм	Розмір заготовки
1	Ø484,37	4,8±1	Ø492,2+2
2	Ø109	2,5±1,6	Ø104-1,5
3	155	2,5±1	Ø159,8+2
4	110	2±0,5	114,8+1

2.8 Нормування операцій

Таблиця 2.6 – Норми часу на усі операції обробки

Назва операції / Група переходів	Основний час T _{осн} , хв	Допоміжний час T _{доп} , хв	Штучний час T _{шт} , хв
1	2	3	4
015 Вертикально-фрезерна (Фрезерування поверхонь 1 та 2)	1,056	2,548	4,04
020 Токарно-гвинторізна (Зовнішнє, торцеве (х2) та внутрішнє точіння)	6,94	4,56	12,88
025 Вертикально-протяжна (Протягування 2 шпонкових пазів)	3	2	5,6
030 Зубофрезерна (Нарізання 86 зубів, m=5,5 мм)	18,5	3,5	24,64
035 Мийна	2,5	0,5	3,36
040 Термічна (Покращення сталі 45Л)	20	5	28
045 Контрольна (Фінальна перевірка параметрів)	10	2	13,44
		Сума	87,92

Розрахунок норм часу, представлений у таблиці 2.6, базується на поєднанні даних автоматизованого проектування режимів різання та технологічних нормативів для умов серійного виробництва. Основний час для токарних та фрезерних операцій визначено на основі детальних звітів системи Sandvik Coromant ToolGuide, де значення тривалості переходів були переведені з формату хвилин та секунд у десяткові хвилини для забезпечення точності подальших

					КНУ.КБР.131.26.1-02.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

обчислень. Зокрема, при розрахунку основний час для підрізання торців на операції 020 враховано у подвійному обсязі, що зумовлено технологічною необхідністю обробки обох торцевих поверхонь маточини для забезпечення заданої симетрії колеса. Для специфічних операцій протягування шпонкових пазів та зубофрезерування значення основного часу призначені з урахуванням високих швидкостей різання, які забезпечує сучасний інструмент Hassay Savage та Sandvik CoroMill 176 на жорсткому обладнанні з ЧПК.

Допоміжний час для кожної операції сформовано шляхом підсумовування машинного часу нерізання, зафіксованого у звітах виробника інструменту, та нормативного часу на ручні маніпуляції з заготовкою масою 9,4 кг, включаючи її встановлення, закріплення та зняття. Штучний час розрахований як сума основного та допоміжного часу із застосуванням єдиного коефіцієнта 1,12, який дозволяє регламентувати витрати на технічне обслуговування робочого місця, а також час на відпочинок та особисті потреби оператора впродовж зміни.

Сумарний штучний час на виготовлення одного зубчастого колеса за наведеним маршрутом становить 91,96 хвилини, що свідчить про високу концентрацію операцій та ефективність використання обраного інструментального комплексу. Найбільша трудомісткість зафіксована на операціях термічного покращення та нарізання зубів, що становить 28 та 24,64 хвилини відповідно, через складність фізико-хімічних процесів обробки сталі 45Л та значний обсяг видалення металу при формуванні 86 зубів модуля 5,5 мм. Загальний показник штучного часу є базовим для визначення річної трудомісткості виробничої програми та планування завантаження дільниці.

Таблиця 2.7 – Штучно-калькуляційний час

Номер та назва операції	Штучний час Тшт, хв	Калькуляційний час Тшт-к, хв
1	2	4
015	4,04	4,07
020	12,88	12,91
025	5,6	5,64
030	24,64	24,7
035	3,36	3,37
040	28	28,03
045	13,44	13,46
Усього по деталі	91,96	92,18

Розрахунок штучно-калькуляційного часу в таблиці 2.7 відображає підсумкову трудомісткість виготовлення колеса з урахуванням організаційних витрат на підготовку виробництва. Значення калькуляційного часу (Тшт-к) отримані шляхом додавання до раніше розрахованого штучного часу (Тшт) частки підготовчо-заключного часу, що припадає на одиницю продукції. Для високотехнологічного обладнання з ЧПК, такого як центри Haas, Gleason та

					КНУ.КБР.131.26.1-02.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Hoffmann, підготовчо-заключний час прийнято в межах від 15 до 30 хвилин, що охоплює налагодження інструментальних систем та завантаження керуючих програм. Завдяки прийнятому обсягу річної партії у 540 деталей, витрати на налагодження розподіляються на велику кількість виробів, що дозволяє значно знизити питому вагу підготовчих операцій у загальній структурі часу. Зокрема, додаткова частка часу на одну деталь складає лише від 0,02 до 0,06 хвилини на кожну операцію, що свідчить про високу економічну ефективність обраної моделі великосерійного виробництва. Загальний штучний час по всьому технологічному маршруту складає 91,96 хвилини, тоді як повний штучно-калькуляційний час становить 92,18 хвилини. Отримані результати є кінцевими нормативними показниками для визначення собівартості обробки та планування завантаження дільниці на весь період випуску продукції.

					КНУ.КБР.131.26.1-02.02.ТЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Випробування зубчастого колеса на міцність

Проведення віртуальних випробувань зубчастого колеса на міцність у середовищі скінченно-елементного аналізу полягає в моделюванні найсуворішого режиму експлуатації, яким є аварійне заклинювання або раптова зупинка передачі під навантаженням. Для реалізації цієї критичної розрахункової схеми граничні умови в програмі задаються шляхом повного жорсткого защемлення внутрішніх поверхонь шпонкового паза маточини, що повністю обмежує всі ступені вільності конструкції та імітує стопоріння колеса на валу. Зовнішній силовий вплив моделюється у вигляді розрахункового крутного моменту, який прикладається розподілено безпосередньо до робочих профілів зубів у зоні їхнього теоретичного контакту.

Таке специфічне поєднання фіксації паза та прикладання моменту на вінець дозволяє штучно відтворити ефект заклинювання механізму, що є необхідним для дослідження напружено-деформованого стану заготовки при виникненні граничних пікових навантажень. Моделювання даного стану дозволяє чітко зафіксувати зони максимальної концентрації напружень, які виникають в основах евольвентних зубів модуля 5,5 мм та в місцях переходу від спиць до маточини. Отримані результати чисельного аналізу дають змогу оцінити реальний коефіцієнт запасу міцності для литої сталі 45Л та гарантувати геометричну стабільність і надійність колеса редуктора у складних експлуатаційних умовах.

На наведеному рисунку 3.1 представлено комп'ютерну тривимірну модель циліндричного зубчастого колеса, підготовлену для проведення чисельного аналізу міцності методом кінцевих елементів у модулі SolidWorks Simulation. Графічне відображення включає повну геометричну копію деталі із накладеними граничними умовами, які повністю відтворюють реальну розрахункову схему роботи вузла редуктора. Спеціальними покажчиками на внутрішній поверхні центрального отвору маточини позначено місця кріплення, що обмежують відповідні ступені вільності та імітують жорстку посадку колеса на валу.

Зовнішнє експлуатаційне навантаження задане у вигляді крутного моменту, прикладеного безпосередньо до робочих профілів евольвентних зубів у зоні їхнього теоретичного зачеплення. Таке налаштування граничних умов у середовищі SolidWorks Simulation дозволяє виконати точний розрахунок напружено-деформованого стану конструкції під дією робочих сил. Отримані в результаті симуляції значення еквівалентних напружень та деформацій дають змогу оцінити коефіцієнт запасу міцності для сталі 45Л та підтверджують правильність обраної геометрії вінця з 86 зубами модуля 5,5 мм.

					<i>КНУ.КБР.131.26.1-02.03.КЧ</i>			
<i>Змін.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ Документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Конструкторська частина</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Зарицький</i>						
<i>Перевір.</i>		<i>Кравцова</i>						
<i>Н. Контр.</i>		<i>Нечаєв</i>				<i>Кафедра ТМ гр. ПМ-23ск</i>		
<i>Затверд.</i>		<i>Рязанцев</i>						

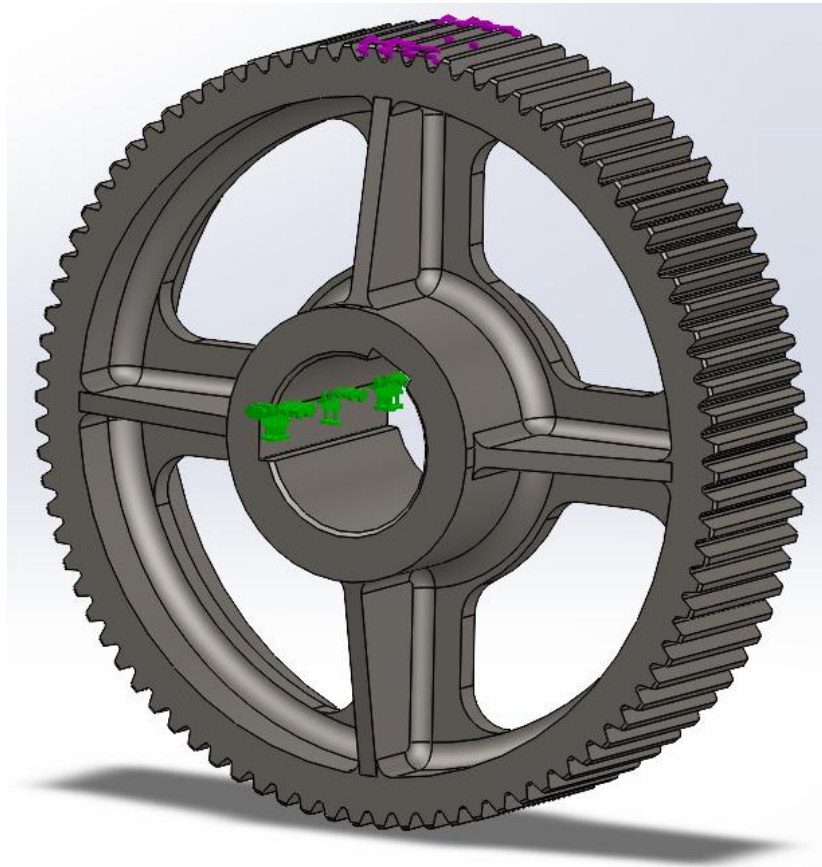


Рисунок 3.1 – Тривимірна розрахункова модель зубчастого колеса циліндричного редуктора в середовищі SolidWorks Simulation

Величина крутного моменту у 300 Нм, прикладена до зубчастого колеса при скінченно-елементному моделюванні, є повністю обґрунтованою і безпосередньо впливає з номінальних технічних характеристик редуктора вантажопідйомного механізму. Вихідними даними для кінематичного розрахунку є номінальний обертовий момент на вихідному валу, який становить 65893,6 Нм, та загальне передаточне число редуктора, що дорівнює 265,7. Шляхом ділення вихідного обертового моменту на передаточне число визначається теоретичний номінальний крутний момент на вхідному валу приводу, значення якого складає приблизно 248 Нм.

Оскільки проєктований редуктор за своїм призначенням працює у складі вантажопідйомного механізму, який характеризується важким режимом роботи з частими пусками, зупинками та супутніми динамічними ударами, теоретичний момент швидкохідного ступеня потребує коригування на коефіцієнт експлуатаційного перевантаження. Множенням отриманого значення вхідного моменту на стандартний для даної групи механізмів коефіцієнт динамічності, що становить 1,21, визначено остаточний максимальний розрахунковий крутний момент, який дорівнює точно 300 Нм. Саме це пікове значення прикладено до робочих поверхонь зубців при зафіксованому шпонковому пазі для повноцінної симуляції режиму аварійного заклинювання, що дозволяє гарантувати надійність та міцність конструкції колеса з 86 зубами під дією граничних експлуатаційних навантажень.

					КНУ.КБР.131.26.1-02.03.КЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

DetailsMesh type	Solid Mesh
Mesher Used	Blended curvature-based mesh
Jacobian points for High quality mesh	4 points
Max Element Size	26,8805 mm
Min Element Size	5,3761 mm
Mesh quality	High
Total nodes	248919
Total elements	161918
Maximum Aspect Ratio	12,478
Percentage of elements with Aspect Ratio < 3	90,8
Percentage of elements with Aspect Ratio > 10	0,0247
Percentage of distorted elements	0
Number of distorted elements	0
Reuse mesh for identical bodies	Off
Number of bodies that have reused mesh	0
Time to complete mesh(hh:mm:ss)	00:00:57

Рисунок 3.2 — Детальна інформація скінченно-елементної сітки

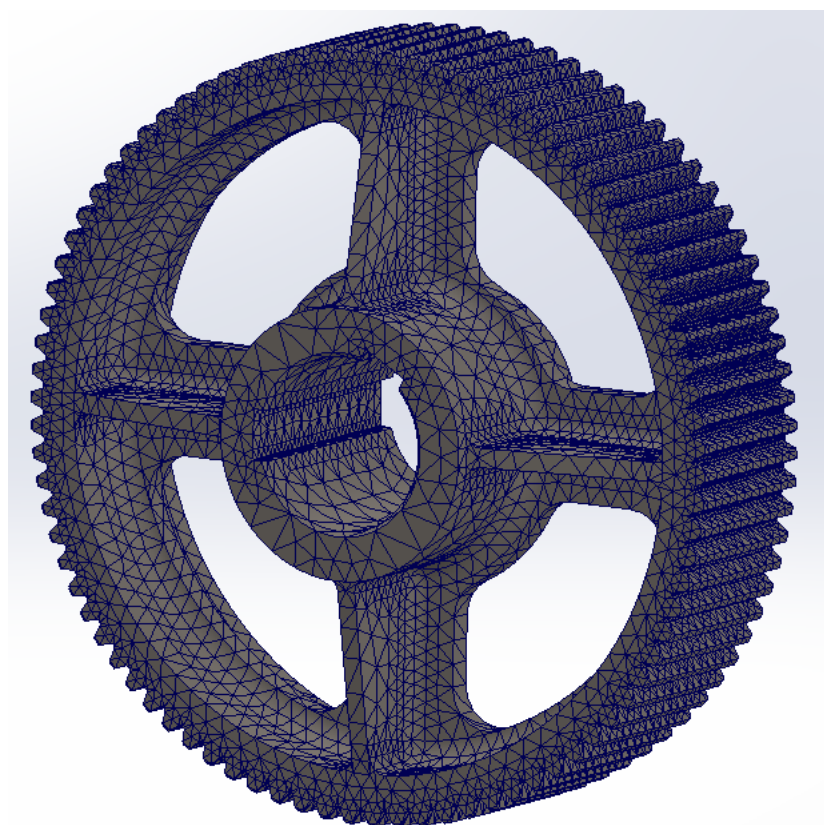


Рисунок 3.3 —Скінченно-елементна сітка моделі зубчастого колеса

Для проведення чисельного скінченно-елементного аналізу напружено-деформованого стану конструкції зубчастого колеса редуктора було побудовано тривимірну твердотільну сітку високої якості (рис. 3.2, 3.3). У процесі дискретизації моделі використано гібридний алгоритм на основі кривизни поверхні, що дозволяє автоматично зменшувати кроки розбиття у зонах зі

					КНУ.КБР.131.26.1-02.03.КЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

складною геометрією, зокрема на евольвентних профілях 86 зубів та в місцях переходу від маточини до спиць. Максимальний розмір скінченного елемента було зафіксовано на рівні 26,8805 мм, а мінімальний граничний розмір склав 5,3761 мм, що забезпечує детальний опис геометрії в зонах концентрації напружень. Згенерована сітка високої щільності містить 161 918 елементів та 248 919 вузлів, створюючи надійну математичну основу для розв'язання крайової задачі механіки суцільного середовища.

Оцінка геометричних параметрів сформованої сітки свідчить про її високу якість та придатність для точних інженерних розрахунків. Максимальне аспектне відношення скінчених елементів становить 12,478, причому переважна більшість об'єму моделі, яка складає 90,8 відсотка від загальної кількості елементів, характеризується оптимальним аспектним відношенням менше трьох. Повністю виключено появу спотворених або вироджених елементів, чисельність яких дорівнює нулю, що запобігає виникненню локальних математичних помилок та забезпечує збіжність розрахунку. Питома вага елементів з підвищеним аспектним відношенням більше десяти становить лише 0,0247 відсотка, що є абсолютно допустимим показником для деталей зі складними радіусними переходами. Повний час автоматичної генерації дискретної моделі склав 57 секунд, підтверджуючи високу обчислювальну ефективність обраних налаштувань у середовищі SolidWorks Simulation.

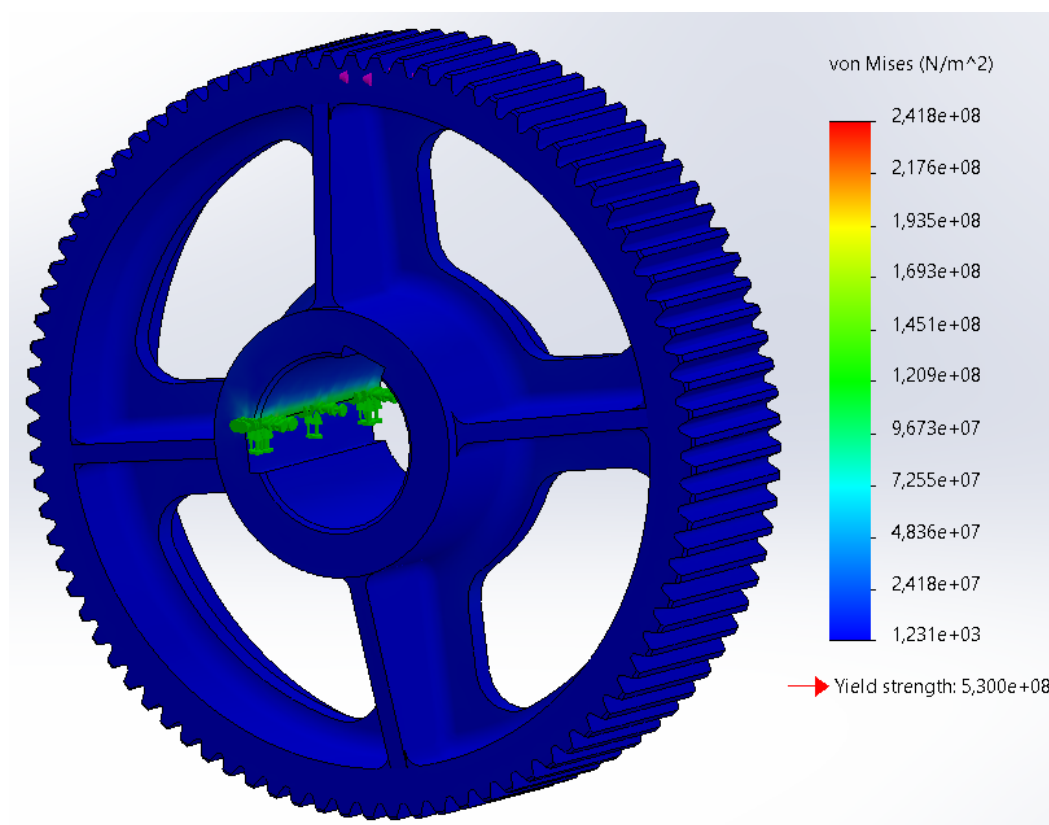


Рисунок 3.4 — Епюра розподілу еквівалентних напружень за Мізесом

Аналіз отриманої епюри розподілу еквівалентних напружень за фон Мізесом (рис. 3.4) дозволяє зробити висновок про високу конструктивну міцність та

					КНУ.КБР.131.26.1-02.03.КЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

жорсткість зубчастого колеса в умовах змодельованого аварійного заклинювання. Відповідно до розрахункової колірної шкали, максимальні еквівалентні напруження в матеріалі деталі становлять 241,8 МПа. Зони найвищої концентрації напружень очікувано зосереджені на внутрішніх гранях шпонкового паза маточини, який виконує роль жорсткої опори.

Границя текучості матеріалу становить 530 МПа, що чітко зафіксовано на розрахунковій схемі відповідним червоним покажчиком. Зіставлення максимальних діючих напружень із границею текучості показує, що навіть за екстремального стопоріння вала виникаючі навантаження є більш ніж удвічі меншими за критичні значення, забезпечуючи розрахунковий коефіцієнт запасу міцності на рівні приблизно 2,19. Переважна частина тіла зубчастого колеса, включаючи диск, спиці та більшу частину маточини, перебуває в зоні безпечних мінімальних навантажень, про що свідчить тотальне домінування синього кольору на епюрі. Це переконливо підтверджує, що обрані геометричні параметри колеса з 86 зубами модуля 5,5 мм гарантують стабільну роботу в межах пружних деформацій та виключають руйнування структури литої сталі 45Л під час експлуатації.

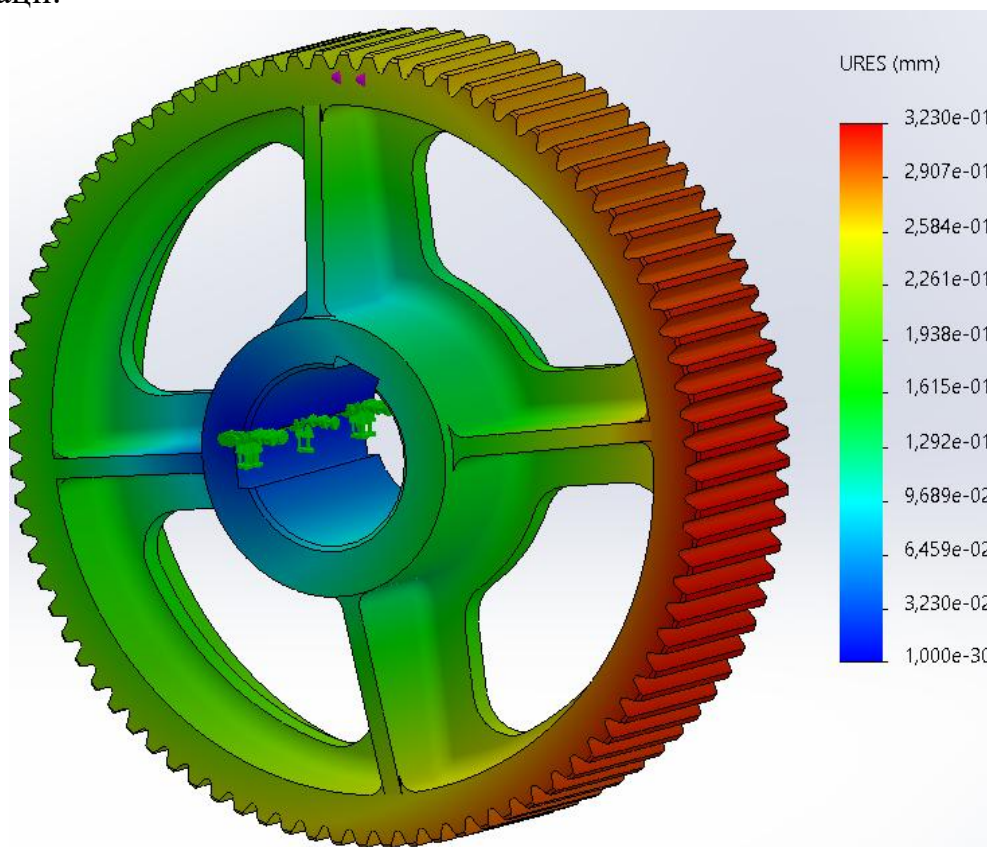


Рисунок 3.5 — Епюра сумарних переміщень (URES)

Аналіз отриманої епюри сумарних лінійних переміщень (URES) дозволяє оцінити загальну деформаційну жорсткість зубчастого колеса під дією розрахункових навантажень. Відповідно до представлених результатів чисельного розрахунку, максимальне значення сумарного переміщення конструкції становить 0,323 мм, тоді як мінімальні значення опускаються до нуля

					КНУ.КБР.131.26.1-02.03.КЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

у зоні жорсткої фіксації. Характер розподілу переміщень у тілі деталі є цілком закономірним і відображає фізику деформування пружного тіла при крученні. Нульові та мінімальні зміщення, позначені синім кольором, зосереджені на внутрішній поверхні маточини та вздовж робочих граней шпонкового паза, оскільки ці елементи за умов симуляції заклинювання зафіксовані як нерухома опора. У міру віддалення від осі обертання величина переміщень плавно зростає в радіальному напрямку через деформацію спиць та пружний поворот обода колеса. Найбільші зміщення матеріалу, які на епюрі візуалізовані переходом до помаранчевого та червоного кольорів, зафіксовані на периферійній ділянці — безпосередньо на зубах зовнішнього вінця у зоні найбільшого віддалення від опорного паза. Абсолютна величина максимального пружного зсуву у 0,323 мм є незначною відносно геометричних параметрів колеса, зокрема його зовнішнього діаметра 492,2 мм та величини модуля зуба 5,5 мм. Це переконливо свідчить про високу конструктивну жорсткість спроектованого колеса з чотирма спицями із литої сталі 45Л. Такий рівень деформацій гарантує, що навіть у момент аварійного стопоріння відхилення евольвентного профілю зубів залишатимуться в межах допустимих технологічних допусків, запобігаючи незворотному руйнуванню елементів зачеплення редуктора вантажопідйомного механізму.

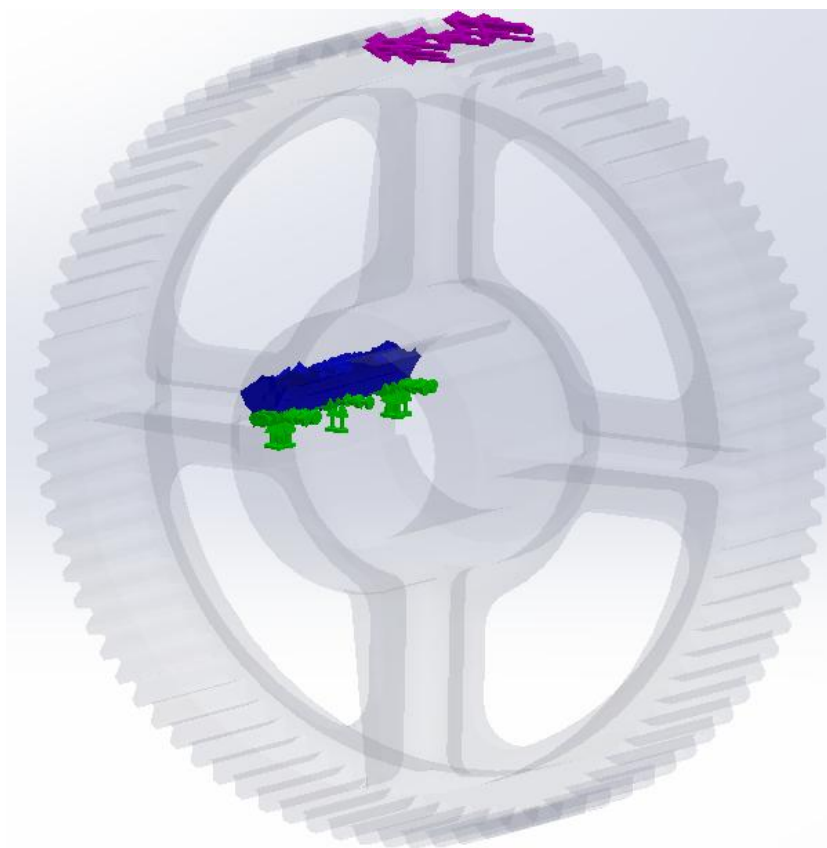


Рисунок 3.6 — Епюра Design Insight у тілі

Епюра інженерного аналізу «Дизайн інсайт» (Design Insight) відображає тривимірний розподіл ефективності використання матеріалу та візуалізує основні силові траєкторії в конструкції зубчастого колеса при виникненні аварійного

					КНУ.КБР.131.26.1-02.03.КЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

заклинювання. Візуалізація моделі у вигляді напівпрозорого тіла дозволяє чітко відокремити зони, які зазнають мінімального навантаження під час стопоріння, від областей, які є критично важливими для збереження структурної цілісності колеса редуктора вантажопідйомного механізму.

3.2 Розробка конструкції контрольного пристрою

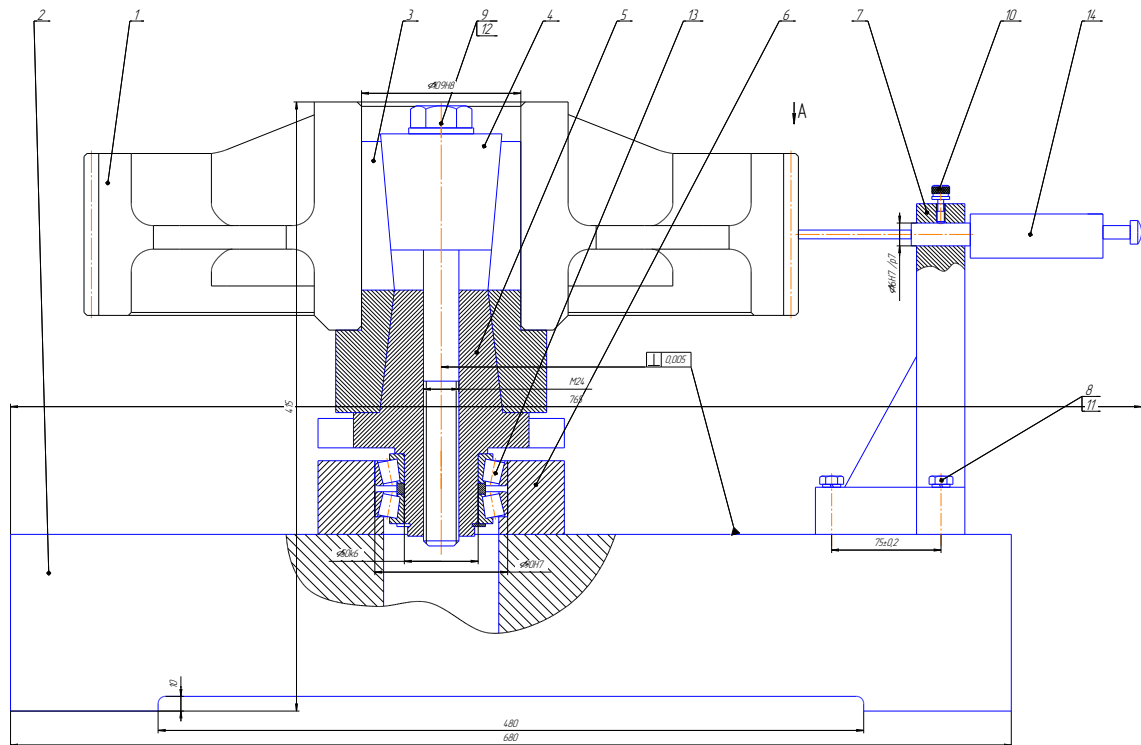


Рисунок 3.7 – Контрольне пристосування

Для перевірки показників радіального биття зубчастого колеса було розроблено спеціалізоване контрольне пристосування, конструкцію якого представлено на рисунку 3.6. Основними складовими елементами даного пристрою є опорна плита, цангова оправка розтискного типу та індикаторна стійка. У ролі вимірювального приладу застосовується індикатор годинникового типу 0-го класу точності, що має ціну поділки 0,01 мм.

Процедура контролю виконується у визначеній послідовності. Об'єкт вимірювання встановлюється та базується на цанговій оправці, після чого фіксується за допомогою затискного болта та ключа. Після підведення щупа вимірювального інструмента до робочої поверхні виконується плавне обертання деталі навколо її геометричної осі. Під час цього процесу фіксуються відхилення стрілки індикатора для кожної ділянки зубчастого вінця, що дозволяє визначити фактичне значення радіального биття та встановити відповідність деталі заданим вимогам точності.

					КНУ.КБР.131.26.1-02.03.КЧ		Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата			

4 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Охорона праці та екологічна безпека виробництва

4.1.1 Організація безпечного виробничого середовища та мінімізація професійних ризиків у технологічному комплексі виготовлення зубчастого колеса

Проектування та розгортання технологічного процесу механічної та термічної обробки деталі колесо зубчасте масою 9,4 кг зі сталі 45Л вимагає суворого дотримання комплексних нормативних вимог законодавства України про охорону праці, зокрема Закону України «Про охорону праці», НПАОП 0.00-1.71-16 «Правила охорони праці під час обробки металів різанням» та стандартів безпеки праці системи ДСТУ. Створення безпечного виробничого середовища на дільниці верстатів із ЧПК базується на ідентифікації, аналізі та системній мінімізації небезпечних і шкідливих виробничих факторів (ДШВФ), які виникають на кожному етапі технологічного маршруту.

У процесі виконання механообробних операцій на токарних і фрезерних обробних центрах Haas VF-4 та Haas ST-30, зубофрезерному верстаті Gleason Genesis та вертикально-протяжному комплексі Hoffmann основними джерелами механічних небезпек є робочі органи верстатів, що обертаються та рухаються з високою швидкістю, а також зона безпосереднього зняття стружки інструментом Sandvik Coromant. Висока швидкість різання та інтенсивне стружкоутворення створюють ризик вилітання гарячої елементної або зливної стружки сталі 45Л, яка має гострі кромки і високу температуру. Для захисту операторів у конструкції зазначеного обладнання передбачені повністю закриті кабінки з міцним оглядовим склом (полікарбонат) та системами автоматичного електромеханічного блокування дверей. Робота верстата при відкритих захисних огороженнях повністю блокується на рівні стійки ЧПК.

Специфічним шкідливим фактором для операцій 015, 020 та 030 є утворення масляного туману та дрібнодисперсних аерозолів мастильно-охолоджувальних рідин (ЗОР), що використовуються для охолодження зони різання. Тривалий вплив цих речовин на органи дихання та шкіру персоналу може викликати професійні захворювання. Мінімізація цього ризику досягається шляхом оснащення кожної зони обробки локальними аспіраційними установками (вловлювачами масляного туману), інтегрованими безпосередньо у верхню частину кабінки верстатів Haas та Gleason, що забезпечує очищення повітря до нормативних показників. На мийній операції 035 в автоматизованій установці Durr Ecosclean захист від випаровувань лужних або синтетичних мийних розчинів забезпечується абсолютною герметизацією камери та автоматичним циклом вентиляції перед відкриттям завантажувальних дверей.

					КНУ.КБР.131.26.1-02.04.0ЕЧ							
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата								
Розроб.		Зарицький			Організаційно-економічна частина				Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Кравцова										
Н. Контр.		Нечаєв										
Затверд.		Рязанцев										
					Кафедра ТМ гр. ПМ-23ск							

Окрему групу ризиків становлять термічні небезпеки під час виконання операції 040 (Покращення сталі 45Л) в автоматизованій печі Aichelin. Основними ДШВФ тут є висока температура поверхонь обладнання, теплове випромінювання від розпечених заготовок під час їх переміщення, а також ризик отримання термічних опіків. Організація безпеки в термічному відділенні базується на максимальній автоматизації процесу завантаження-вивантаження та застосуванні теплоізоляційних матеріалів нового покоління для футерування печі, що дозволяє утримувати температуру зовнішніх стінок кожуха в межах, безпечних для дотику (не більше 45 °С). Зона вивантаження деталей огорожується захисними екранами, а персонал забезпечується спеціальним спецодягом із суконних або фетрових тканин з вогнестійким просоченням, захисними щитками та термостійкими крагами.

Ергономічні фактори та важкість праці пов'язані з масою деталі. Оскільки вага зубчастого колеса на початкових етапах обробки становить 9,4 кг, ручне завантаження у затискні пристосування верстатів протягом робочої зміни призводить до значного статико-динамічного навантаження на опорно-руховий апарат оператора, що перевищує допустимі гігієнічні нормативи важкості праці. Для усунення цього фактора та мінімізації ризиків травмування і падіння деталей, дільниця оснащується локальними підйомно-транспортними механізмами — консольно-поворотними кранами з вакуумними або магнітними захватами, розміщеними біля кожного верстата Haas, Gleason та Hoffmann. Використання механізованого завантаження повністю знімає фізичне навантаження з оператора, зводячи його роль до керування маніпулятором та верифікації розмірів інструментами Mitutoyo на контрольній операції 045.

Акустичне навантаження (шум та вібрація) генерується приводними механізмами верстатів, гідростанціями та процесом дробіння стружки, особливо під час силового фрезерування та вертикального протягування на верстаті Hoffmann. Для зниження рівнів шуму до нормативних вимог (не більше 80 дБА відповідно до ДСН 3.3.6.037-02) застосовуються такі інженерні рішення: (1) встановлення верстатів на індивідуальні віброізолюючі фундаменти або віброопори; (2) розміщення шумних вузлів (насоси, компресори) у звукоізолюючих кожухах; (3) використання операторами індивідуальних протишумних навушників або берушів під час перебування в зоні роботи важкого обладнання.

Електробезпека на дільниці забезпечується жорстким дотриманням «Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів» (НПАОП 40.1-1.21-98). Все обладнання Haas, Gleason, Hoffmann, Aichelin, що працює під напругою 380 В, має надійне захисне заземлення з опором контуру не більше 4 Ом, системи автоматичного захисного вимкнення (ПЗВ) при пошкодженні ізоляції та приховану прокладку силових кабелів у металевих рукавах або кабельних каналах підлоги. Регулярний контроль стану ізоляції та перевірка цілісності заземлюючих провідників виконуються електротехнічним персоналом із відповідною групою допуску.

					КНУ.КБР.131.26.1-02.04.0ЕЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Організаційні заходи захисту включають проведення обов'язкових інструктажів (вступного, первинного на робочому місці, повторного раз на 3 місяці), забезпечення персоналу сертифікованими засобами індивідуального захисту (захисне взуття зі сталевим підноском, протиосколкові окуляри, спецодяг класу захисту ЗМіВ) та організацію раціонального режиму праці й відпочинку з регламентованими перервами для зниження втоми. Впровадження зазначеного комплексу технічних та організаційних рішень гарантує мінімізацію професійних ризиків, запобігає виробничому травматизму і створює оптимальні умови для високої продуктивності праці персоналу.

4.1.2 Оцінка техногенного впливу механообробного і термічного виробництва на довкілля та заходи з його екологізації

Сучасне машинобудівне виробництво, пов'язане з механічною та термічною обробкою металів, є джерелом значного техногенного навантаження на навколишнє природне середовище. Екологічна безпека дільниці з виготовлення зубчастого колеса зі сталі 45Л регламентується Законами України «Про охорону навколишнього природного середовища», «Про управління відходами», «Про охорону атмосферного повітря» та чинними санітарно-гігієнічними нормами. Основними чинниками впливу розробленого технологічного процесу на довкілля є утворення твердих металевих відходів, відпрацьованих мастильно-охолоджувальних рідин (ЗОР), відпрацьованих технологічних розчинів мийної операції, а також газові викиди термічного відділення.

Найбільшим за об'ємом видом твердих відходів на дільниці є металева стружка, що утворюється на фрезерних, токарних та зубофрезерних операціях (015, 020, 025, 030) під час роботи інструменту Sandvik Coromant на верстатах Haas, Gleason та Hoffmann. З огляду на значний припуск на обробку литої заготовки, обсяг утвореної стружки сталі 45Л є суттєвим. Для мінімізації техногенного впливу на дільниці впроваджується система роздільного збору та переробки відходів. Металева стружка підлягає обов'язковому сепаруванню від залишків ЗОР за допомогою центрифугування, після чого вона направляється на операцію брикетування. Отримані компактні брикети відвантажуються на переплавку як вторинна сировина, що дозволяє реалізувати концепцію безвідходного виробництва (циркулярної економіки) та суттєво зменшити виснаження природних ресурсів.

Рідкі токсичні відходи формуються в результаті експлуатації мастильно-охолоджувальних технологічних засобів. Відпрацьовані емульсії ЗОР та шлами є небезпечними забруднювачами гідросфери та ґрунтів у разі їх неконтрольованого скидання. Технологічні рішення проекту передбачають застосування сучасних напівсинтетичних ЗОР із подовженим терміном служби та організацію замкнутого циклу їх циркуляції на верстатах із ЧПК Haas та Gleason через індивідуальні та централізовані системи фільтрації й сепарації. На мийній операції 035 в автоматизованій установці Durr Escoclean використовуються сумісні водні мийні розчини, які піддаються безперервній регенерації (масловідділенню та ультрафільтрації) безпосередньо всередині мийного комплексу. Повністю

					КНУ.КБР.131.26.1-02.04.0ЕЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

відпрацьовані рідкі концентрати не зливаються у загальну каналізаційну мережу, а акумулюються у спеціальних резервуарах і передаються ліцензованим підприємствам для фізико-хімічної нейтралізації та утилізації.

Атмосферні викиди шкідливих речовин локалізовані переважно на операції 040 (Термічна) в автоматизованій печі Aichelin під час покращення сталі 45Л. Процеси нагріву, витримки та охолодження деталей у гартувальних середовищах супроводжуються виділенням продуктів термічної деструкції масел, аерозолів, а також оксидів вуглецю і азоту. Для очищення відхідних газів термічна піч оснащується високоефективною системою допалювання газів і каталітичними конвертерами. Це забезпечує зниження концентрації забруднюючих речовин у викидах до рівнів, що є значно нижчими за встановлені нормативи гранично допустимих викидів. Крім того, гарячі гази з печі проходять крізь рекуператори для попереднього підігріву повітря, що подається в пальники, суттєво знижуючи витрати енергоносіїв і зменшуючи теплове забруднення атмосфери.

Важливим аспектом екологізації виробництва є підвищення його загальної енергоефективності. Використання сучасного високопродуктивного обладнання з ЧПК дозволяє скоротити сумарний штучно-калькуляційний час обробки деталі, що безпосередньо зменшує питоме споживання електроенергії на одиницю продукції порівняно зі стандартним універсальним обладнанням. Запроваджений комплекс технологічних та інженерно-екологічних заходів мінімізує техногенний пресинг на навколишнє середовище, забезпечує повну екологічну нормативність виробничого процесу та підвищує загальну культуру промислового підприємства.

4.2 Економічна ефективність впровадження автоматизованого комплексу та розрахунок техніко-економічних показників дільниці

Для визначення технологічної собівартості виготовлення зубчастого колеса було проведено актуалізацію ринкової вартості основного технологічного обладнання відповідно до цінових показників 2026 року (табл. 4.1, 4.2).

Таблиця 4.1 – Розрахунок вартості основного технологічного обладнання (верстати)

Операція	Обладнання	Ціна в грн
1	2	3
015	Вертикальний обробний центр Haas VF-4	4200000
020	Токарний центр Haas ST-30	3800000
030	Вертикально-протяжний верстат Hoffmann RAW 16-1600	6500000
040	Зубофрезерний центр Gleason Genesis 600H	15200000
045	Мийна установка Durr Ecoclean 81W	3400000
050	Камерна піч Aichelin SQF	5600000
Сума		38700000

					КНУ.КБР.131.26.1-02.04.0ЕЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Таблиця 4.2 – Розрахунок вартості станочного оснащення та пристосувань

Операція	Обладнання	Ціна в грн
1	2	3
015	Пневматичні затиски-лещата з ЧПК керуванням	160 000
020	Гідравлічний самоцентрувальний патрон	140 000
025	Автоматичний поворотний стіл з ЧПК, прецизійна опора з гідрозатиском	850 000
030	Гідравлічна оправка прецизійного типу	200 000
045	Стіл гранітний прецизійний Mitutoyo 517	250 000
Усього		1600000

Формування об'єктивної бази для обчислення сумарного фонду заробітної плати виробничої дільниці реалізовано шляхом систематизації вихідних даних, представлених у таблиці 4.3. Розрахунок фінансових витрат на оплату праці персоналу базується на плановому випуску продукції в кількості 540 деталей на рік та повній трудомісткості виконання механічних і термічних операцій. Системний облік погодинних тарифних ставок робітників-відрядників та умов праці допоміжного персоналу дозволяє точно визначити питомі витрати на оплату праці у собівартості виробу.

Таблиця 4.3 – Вихідні економічні параметри для обчислення заробітної плати персоналу дільниці

Наіменування витрат	Значення	Одиниці вимірювання
1	2	3
Ставка одного працівника першого розряду	106,46	грн/год
Трудомісткість виготовлення одного виробу	1,5	год
Трудомісткість механічних операцій на один виріб	0,9	год
Планова кількість одиниць продукції	540	шт
Чисельність допоміжних робітників	1	осіб

Для проведення системного розрахунку виробничої собівартості продукції та визначення ключових техніко-економічних параметрів виробництва було систематизовано комплекс вихідних даних (табл. 4.4). Запропонований масив інформації інтегрує параметри прямих матеріальних витрат, балансову вартість парку обладнання та чинні норми часу на операціях механічної й термічної обробки. Чітка фіксація обсягів річного виробництва та кваліфікаційних тарифних ставок дозволяє сформувати достовірну базу для розрахунку зносу основних засобів та фінансових витрат на оплату праці персоналу.

Комплексний фінансово-економічний аналіз, проведений на основі чинної нормативно-правової бази України, дозволив сформувати підсумкові показники ефективності проектного виробництва. Наведений у таблицях 4.5 масив даних деталізує структуру собівартості та ілюструє ключові економічні результати

					КНУ.КБР.131.26.1-02.04.0ЕЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

роботи дільниці. Розраховані параметри є нормативним обґрунтуванням доцільності практичної реалізації розробленого технологічного процесу механічної та термічної обробки деталей.

Таблиця 4.4 – Вихідні економічні параметри для обчислення собівартості

Найменування витрат	Значення	Одиниці вимірювання
1	2	3
Норма витрати основного матеріалу на деталь	7,92	кг/шт
Ціна заготовок з урахуванням методу їх отримання	100000	грн/т
Річний обсяг виробництва продукції	540	шт
Маса заготовки	9,2	кг
Маса деталі	7,89	кг
Ціна відходів матеріалу	6000	грн/т
Місячна тарифна ставка першого розряду	15000	грн/міс.
Тарифний коефіцієнт і-го розряду	1,78	-
Штучний час виконання і-ї операції	4,8	хв/шт
Кількість верстатів, що обслуговуються одним робітником	2	шт
Кількість операцій	6	шт
Первісна вартість машин та обладнання	38700000	грн
Первісна вартість технологічного оснащення	1600000	грн
Первісна вартість будівлі	18647463	грн

Таблиця 4.5 – Обчислена собівартість

Найменування	Витрати	
1	2	
Сировина та матеріали за вирахуванням зворотних відходів	466063	грн/рік
Паливо та енергія на технологічні цілі	23303	грн/рік
Основна заробітна плата виробничих робітників	275689	грн/рік
Додаткова заробітна плата виробничих робітників	55138	грн/рік
Відрахування до бюджетних та позабюджетних фондів	314	грн/рік
Загальноновиробничі витрати	671678	грн/рік
Разом: цехова собівартість	1492184	грн/рік
Загальногосподарські витрати	344611	грн/рік
Разом: виробнича собівартість	1836794	грн/рік
Витрати реалізації продукції	27552	грн/рік
Інші платежі, відрахування та податки	241578	грн/рік
Разом: повна собівартість	2105925	грн/рік
Собівартість одиниці виробленої продукції	3900	грн/шт
Ціна продажу одиниці продукції	7000	грн/шт
Початкові інвестиції	4 211 850	грн
Дохід від продажу продукції	3780000	грн/рік
Прибуток від продажу продукції	1674075	грн/рік
Строк окупності	2,52	р

На основі проведених розрахунків та сформованого масиву підсумкових техніко-економічних показників дільниці з виготовлення зубчастих коліс було виконано комплексний аналіз структури собівартості, рентабельності виробництва та інвестиційної привабливості проекту. Загальна структура повної собівартості, яка становить 2105925 грн/рік, свідчить про високу технологічність та капіталомісткість проектного виробництва. Чисті витрати на сировину та матеріали з вирахуванням вартості зворотних відходів складають 466063 грн/рік, або близько 22,1% від повної собівартості, що підтверджує раціональність вибору фасонного литва як методу отримання заготовки та ефективність повернення коштів за рахунок реалізації сталевих стружки. Сумарний фонд заробітної плати виробничих робітників, що об'єднує основну заробітну плату у розмірі 275689 грн/рік та додаткову у кількості 55138 грн/рік, становить 330827 грн/рік, займаючи лише 15,7% від загальних витрат. Така невелика питома вага прямої оплати праці безпосередньо обумовлена високим рівнем автоматизації виробництва при використанні сучасних обробних центрів із ЧПК Haas, Gleason та Hoffmann, які мінімізують загальну трудомісткість виконання операцій. Натомість накладні витрати, до яких належать загальновиробничі витрати у сумі 671678 грн/рік та загальногосподарські витрати обсягом 344611 грн/рік, сумарно становлять 1016289 грн/рік, досягаючи 48,3% у структурі повної собівартості. Такий розподіл є цілком типовим для сучасних автоматизованих машинобудівних дільниць, де значна частина фінансових коштів спрямовується на амортизацію високовартісного парку обладнання, технологічні енергоносії, у сумі 23303 грн/рік, обслуговування прецизійних інструментальних систем Sandvik Coromant та загальне утримання розвиненої цехової інфраструктури.

Аналіз вартісних показників одиниці виробу та загальних комерційних результатів демонструє високу маржинальність технологічного процесу при заданому обсязі виробництва у 540 деталей на рік. При собівартості одиниці виробленої продукції на рівні 3900 грн/шт. та встановленій ціні продажу одиниці продукції у розмірі 7000 грн/шт. питомий чистий прибуток з кожного реалізованого зубчастого колеса становить 3100 грн, що забезпечує показник рентабельності продукції на рівні 79,5%. Зазначений рівень прибутковості суттєво перевищує середньогалузеві нормативні індекси для машинобудівного сектору і свідчить про надвисоку економічну ефективність розроблених інженерних рішень. Ключові результати функціонування дільниці повністю підтверджують комерційну доцільність початкових капіталовкладень, які становлять 4211850 грн та покривають витрати на придбання, монтаж і налагодження всього комплексу обладнання та станочного оснащення. При зазначених інвестиціях загальний річний дохід від продажу продукції складає 3780000 грн/рік, а чистий щорічний прибуток підприємства після вирахування повної собівартості, усіх податків, зборів та інших обов'язкових платежів у сумі 241578 грн/рік дорівнює 1674075 грн/рік. Розрахунковий строк окупності початкових інвестицій становить точно 2,52 роки. Для капіталомісткого машинобудівного сектору повернення вкладеного капіталу менш ніж за три роки є відмінним інтегральним показником, який мінімізує потенційні фінансові ризики та робить дану дільницю

					КНУ.КБР.131.26.1-02.04.0ЕЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

високопривабливою для практичного впровадження. Таким чином, запровадження проектного технологічного процесу забезпечує оптимальне поєднання високої точності обробки та вагомої економічної вигоди завдяки концентрації операцій і раціональному використанню матеріальних ресурсів.

					КНУ.КБР.131.26.1-02.04.0ЕЧ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Результатом виконання КБР є успішно розроблений повний пакет інженерно-технологічних та конструкторських рішень, що охоплює комп'ютерне просторове моделювання і робочі креслення циліндричного зубчастого колеса, призначеного для редукторного вузла вантажопідйомної машини. Радикальне переосмислення виробничого процесу дозволило повністю відмовитися від неефективної обробки на застарілих універсальних верстатах, замінивши її прогресивним циклом на базі ЧПК-обладнання Haas, Gleason і Hoffmann, а також сучасного термічного комплексу компанії Aichelin. Таке капітальне технологічне оновлення дільниці гарантує бездоганне дотримання жорстких параметрів точності, необхідних для стабільного випуску деталей заданої серійної партії обсягом 540 штук на рік.

Спроектований інноваційний маршрут механічної обробки базується на впровадженні передової станочної оснастки, включаючи високоточні поворотні столи з цифровим керуванням, гідравлічні патрони із автоматичним самоцентруванням та прецизійні затискні пристосування, що сукупно забезпечило надійну фіксацію заготовки масою 9,4 кг та мінімізувало непродуктивні допоміжні витрати часу. Завдяки раціональному поєднанню технологічних можливостей токарних, фрезерних, зубообробних та вертикально-протяжних верстатів моделей Haas ST-30, Haas VF-4, Gleason Genesis 600H та Hoffmann RAW 16-1600 у комбінації з інтенсивними режимами різання інструментальними системами Sandvik Coromant, вдалося суттєво скоротити загальну тривалість операцій. У результаті сумарні витрати штучного часу на виготовлення деталі склали 91,96 хвилини, а підсумковий штучно-калькуляційний час зафіксовано на рівні 92,18 хвилини. Практичну цінність роботи додатково підвищено за рахунок створення цифрових керуючих програм для автоматизованого формування геометрії евольвентного вінця та токарного профілювання.

Комп'ютерна верифікація міцнісної надійності деталі реалізована за допомогою скінченно-елементного аналізу в програмному середовищі SolidWorks Simulation. Симуляція найбільш несприятливих умов експлуатації у вигляді аварійного заклинювання передачі під дією розрахункового крутного моменту 300 Нм при нерухомо зафіксованому шпонковому пазі маточини підтвердила високу експлуатаційну стійкість колеса із литої сталі 45Л. Отримане максимальне значення еквівалентних напружень за фон Мізесом склало 241,8 МПа, що забезпечує значний відрив від небезпечної границі текучості матеріалу у 530 МПа, при цьому сумарний пружний зсув периферійних точок вінця не перевищив 0,323 мм. Розрахунковий коефіцієнт безпеки на рівні 2,19 та топологічний аналіз за допомогою інструменту Design Insight довели високу деформаційну жорсткість

					<i>КНУ.КБР.131.26.1-02.B</i>			
<i>Змін.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ Документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Висновки</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Зарицький</i>						
<i>Перевір.</i>		<i>Кравцова</i>						
<i>Н. Контр.</i>		<i>Нечаєв</i>				<i>Кафедра ТМ гр. ПМ-23ск</i>		
<i>Затверд.</i>		<i>Рязанцев</i>						

конструкції та обґрунтованість застосування полегшеної форми диска з чотирма спицями.

Економічне обґрунтування інженерних рішень продемонструвало відмінні комерційні перспективи модернізації виробництва, оскільки при первинних капіталовкладеннях у розмірі 4211850 грн та отриманні стабільного чистого прибутку на рівні 1674075 грн за рік, капітальні інвестиції у створення дільниці повністю окупаються за 2,52 роки. Соціальна та екологічна складові проекту успішно вирішені завдяки інтеграції локальних систем уловлювання масляного туману в робочих зонах ЧПК-верстатів, використанню термічних печей Aichelin із функцією каталітичного допалювання відхідних газів, впровадженню консольних маніпуляторів для усунення важкої ручної праці операторів, а також організації замкнутого процесу центрифугування та брикетування відходів сталевих стружки. Усі вимоги та завдання, поставлені технічним запитом на розробку, виконано у повному обсязі, що дає підстави рекомендувати розроблений проект до реального промислового впровадження.

					КНУ.КБР.131.26.1-02.В	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. <https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/tools/coroplus-toolguide>
2. https://ecat.pilotprecision.com/?page=16&_hstc=65312559.07375c25f58342bb454aff1c08b7a237.1778572570232.1778572570232.1778572570232.1&_hssc=65312559.4.1778572570232&_hsfp=c39958dbe69f4986b3403e7601b91abd
3. Каталог та технічний посібник Seco 2020: "Токарна обробка"
4. Каталог абразивного інструмента LUCABRASIV 2015
5. Каталог зубообробного інструмента FETTE 2015
6. ДСТУ 2675:2008 "Патрони самоцентруючі трикулачкові. Основні розміри"
7. ANDRE Абразивный инструмент
8. Кіяновський М.В., Цивінда Н.І., Цівко Ф.В. Довідник нормувальника машинобудівного виробництва. Кривий Ріг: Видавничий центр КТУ, 2008.
9. Технологія обробки типових деталей (курсове проектування) Григурко О.І, Брендуля М.Ф., Доценко С.М, Навчальний посібник. Львів., Новий світ, 2008, 576 с.
10. Горбатюк Е.О., Мазур М.П., Зенкін А.С., Каразей В.Д. Технологія машинобудування Навчальний посібник. Львів., Новий світ, 2008, 360 с.
11. Пальчевський Б.О. Дослідження технологічних систем (моделювання, проектування, оптимізація): Навчальний посібник. Львів: Світ, 2001. 232 с.
12. Руденко П. О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні – К.: Вища школа, 1993р.
13. Рудь В. Д. Курсове проектування з технології машинобудування: Навчальний посібник: ІСДО, 1996р.
14. Руденко П.А. Проектування технологічних процесів в машинобудуванні. Київ: Вища школа. 1985.
15. Боженко Л.І. Технологія машинобудування. Проектування та виробництво заготовок. Львів: Світ, 1996.
16. Рудь В.Д. Курсове проектування з технології машинобудування: Навч. посібник. К.: ІСДО, 1996. 300 с.
17. Методичні вказівки до курсової роботи Механоскладальні дільниці та цехи машинобудівних заводів. Полтава: ПДТУ ім. Юрія Кондратюка, 1999, 29 с.
18. Економіка підприємства: Підручник / За ред. С. Ф. Покропивного. К.: КНЕУ, 2001.
19. 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.
20. ДБН В.2.5-28-2006 Природне і штучне освітлення.

					<i>КНУКБР.131.26.1-02.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>Зарицький</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-23ск</i>		

21. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
22. Жидецький В.Ц., Основи охорони праці. Підручник Київ 2002р.
23. Закон України Про охорону навколишнього природного середовища, 1991 року зі змінами № 554-ІХ від 13.04.2020
24. Закон України Про охорону праці, нова редакція, м. Київ, 21 листопада 2002 року, № 341-ІХ від 05.12.2019, ВВР, 2020, № 13, ст.68
25. Охорона праці: Навчальний посібник / За ред. В. Кучерявого. Львів: Оріана-Нова, 2007. 368 с.

					КНУ.КБР.131.26.1-02.СВД	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

					КНУ.КБР.131.26.1-02.Д						
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата							
Розроб.		Зарицький			Додатки			Літ.		Арк.	Аркушів
Перевір.		Кравцова									
Н. Контр.		Нечаєв						Кафедра ТМ гр. ПМ-23ск			
Затверд.		Рязанцев									

Перв. застосов.		Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка				
Справ. №		A2			КНУ.КБР.131.26.01-02.ПК	Пристосування контрольне	1					
						Документація						
							Деталі					
		A2	1		КНУ.КБР.131.26.01-02.КЗ	Деталь	1					
		БК	2			Плита	2					
		БК	3			Цанга	1					
		БК	4			Конус	1					
		БК	5			Гайка	1					
		БК	6			Втулка	1					
Підп. і дата		БК	7			Стійка	1					
							Стандартні вироби					
							Болт згідно стандарту					
			8			M8×35	4					
			9			M24×220	1					
						Гвинт згідно стандарту						
			10			M6×15	1					
						Шайба згідно стандарту						
			11			8	4					
Зам. нб. №			12			24	1					
						Підшипник згідно стандарту						
			13			7210A	1					
			14			Індикатор ИЧ50	1					
						згідно стандарту						
		КНУ.КБР.131.26.01-02.ПКС					Літ. Аркуш Аркушів н 1 1					
		Інв. № орг.						Приймач	Кафедра ТМ ПМ-23ск			
				Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.					Дата
				Розроб.	Зарицький							
Перев.	Кравцова											
Руковод.												
Н.контр.	Нечаєв											
Затв.	Рязанцев											

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

**АЛЬБОМ КРЕСЛЕНЬ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-
ЗАСВІДЧУЮЧИХ АРКУШІВ**

КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ БАКАЛАВРСЬКОЇ РОБОТИ

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка

на тему: Технологічна підготовка виготовлення колеса зубчастого
циліндричного редуктора з використанням CAD/CAE-систем і
верстатів з ЧПК

Виконав здобувач гр. ПМ-23ск

(підпис)

Володимир ЗАРИЦЬКИЙ

Керівник КБР

(підпис)

Дар'я КРАВЦОВА

Нормоконтроль

(підпис)

Василь НЕЧАСВ

Завідувач кафедри

(підпис)

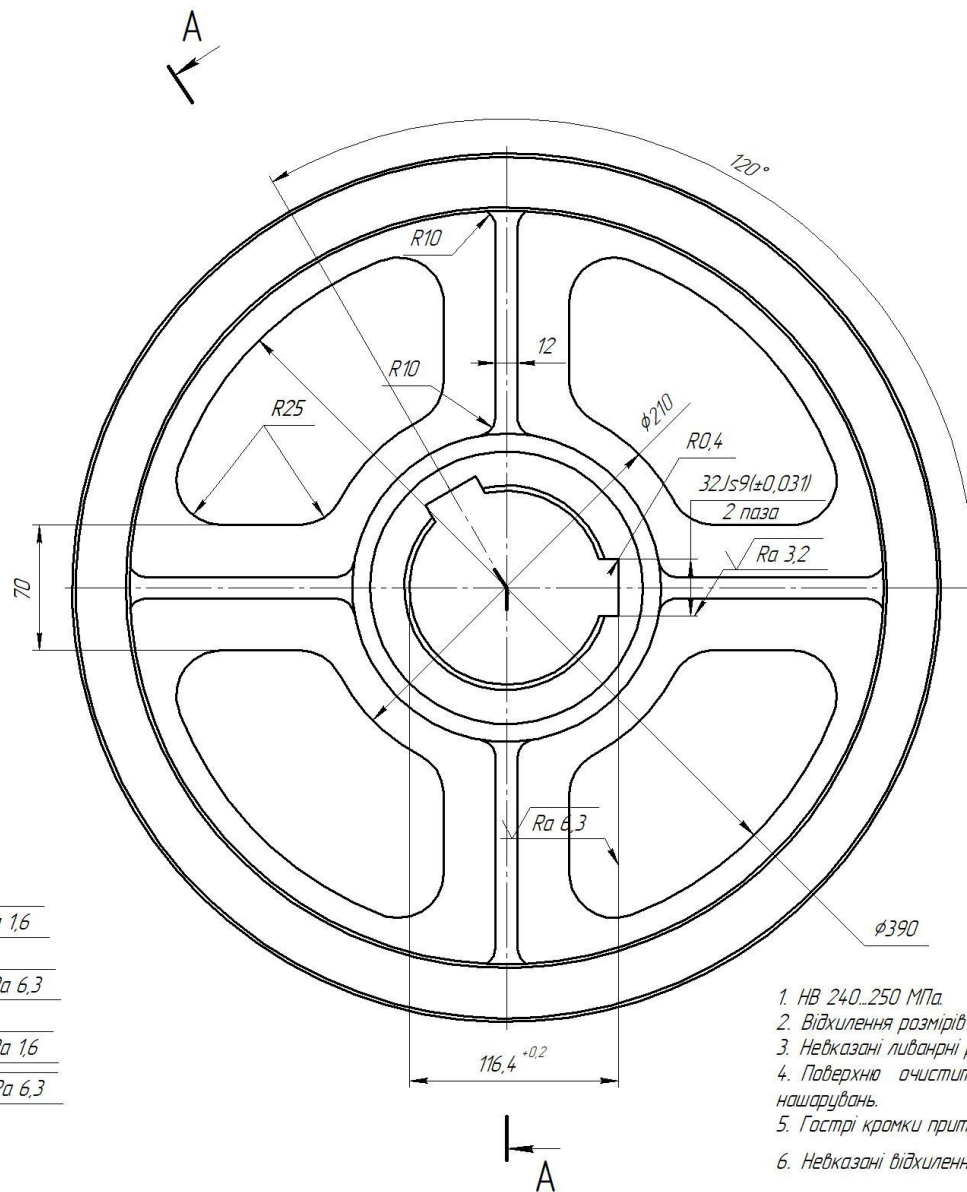
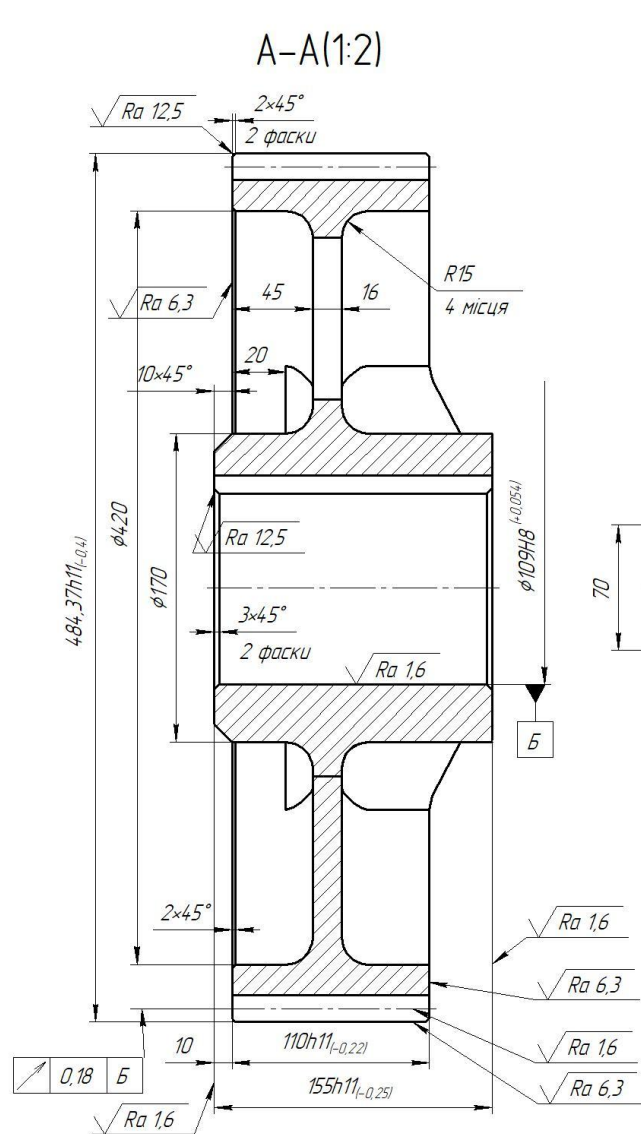
Антон РЯЗАНЦЕВ

Кривий Ріг
2026 р.

ВІДОМІСТЬ ЕЛЕКТРОННИХ ДОКУМЕНТІВ КБР

№	Формат	Позначення	Найменування	К-сть листів	Прим.
			<u>Графічні матеріали</u>		
1	A2	КНУ.КБР.131.26.1-02.КЗ	Колесо зубчасте	1	
2	A2	КНУ.КБР.131.26.1-02.КЗЗ	Колесо зубчасте (заготовка)	1	
3	A1	КНУ.КБР.131.26.1-02.СЗТО	Структура та зміст технологічних операцій обробки	1	
4	A1	КНУ.КБР.131.26.1-02.РТК	Розрахунково- технологічна карта	1	
5	A2	КНУ.КБР.131.26.1-02.ПК	Пристосування контрольне	1	
6	A2	КНУ.КБР.131.26.1-02.АПР	Аналіз проектних рішень	1	

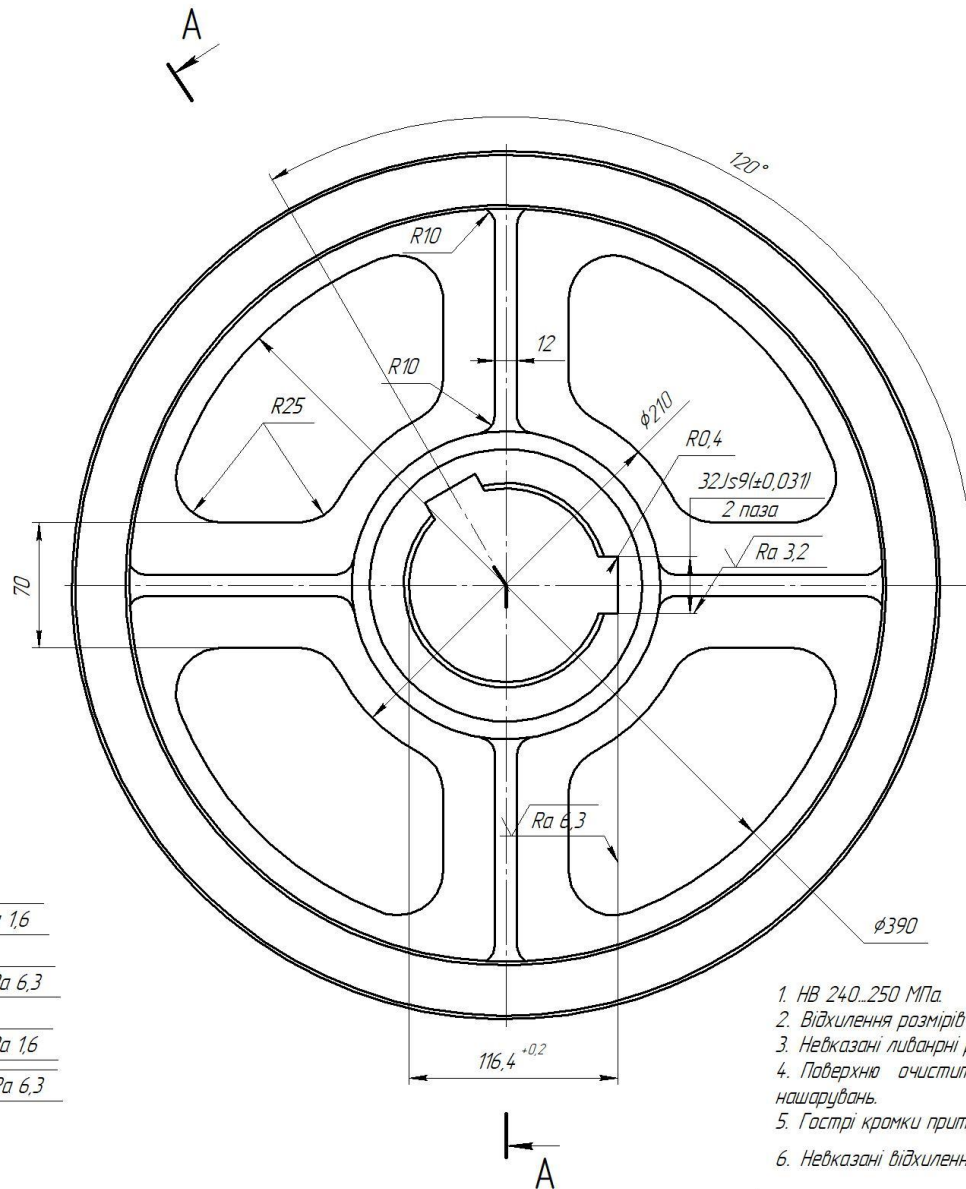
					КНУ.КБР.131.26.1-02.ВЕД						
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата	Відомість електронних документів КБР				Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.	Зарицький										
Перевір.	Кравцова										
									Кафедра ТМ гр. ПМ-23ск		
Н. контр.	Нечаєв										
Затверд.	Рязанцев										



Модуль	m	5,5
Число зубців	z	86
Вихідний контур	-	-
Коефіцієнт зміщення вихідного контура	ξ	-0,4
Ступінь точності	-	8-В
Дільничний діаметр	d	477,78

1. НВ 240..250 МПа.
2. Відхилення розмірів вилучка за II класом точності згідно стандарту.
3. Невказані ливарні радіуси R 3.5 мм, ливарні ухили 15.2°.
4. Поверхню очистити від землі, пригарів та інших ливарних нашарувань.
5. Гострі кромки притупити r 0.5..1 мм.
6. Невказані відхилення розмірів Н14, h14, IT $\frac{14}{7}$.

					КНУ.КБР.131.26.01-02.КЗ			
Эм. Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Колесо зудчасте	Лит	Маса	Масштаб	
Розроб.	Зорницький				Н	7,89	12	
Лектор	Кравцова							
Техн.пр.					Архив	1	Архив	1
Рисувальн.								
Нормувальн.	Нечасів			Сталь 45Л ДСТУ 8781:2018	Кафедра ТМ ПМ-23к			
Затв.	Резанцев							



Модель	m	5,5
Число зубців	z	86
Вихідний контур	-	-
Коефіцієнт зміщення вихідного контура	ξ	-0,4
Ступінь точності	-	8-8
Дільний діаметр	d	477,78

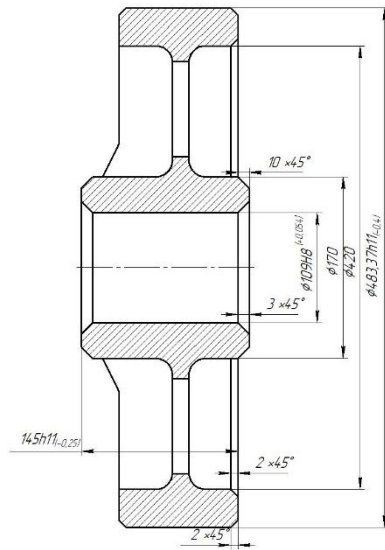
1. НВ 240..250 МПа.
2. Відхилення розмірів вилучка за II класом точності згідно стандарту.
3. Невказані ливарні радіуси R 3.5 мм, ливарні ухили 1,5..2°.
4. Поверхню очистити від землі, пригарів та інших ливарних нашарувань.
5. Гострі краї притупити r 0,5..1 мм.
6. Невказані відхилення розмірів Н14, н14, ІТ ¹⁴/₂.

						КНУКБР.131.26.01-02.К3					
						Колесо зубчасте		Лит.	Маса	Масштаб	
Зм	Арк	№ докум	Підп	Дата	Н				7.89	12	
Розроб	Зарицький					Сталь 45Л ДСТУ 8781:2018		Аркш	Т	Аркшів	Т
Перев	Кращаєва										
І.контр											
Рук.роб											
Н.контр			Нечас					Кафедра ТМ			
Затв.			Рязанцев					ТМ-23ск			
Копія						Формат		А2			

[illegible]

*Розрахунково-технологічна карта налагодження інструменту на верстаті Haas ST-30
операція 020*

Креслення деталі



Перероблене креслення деталі

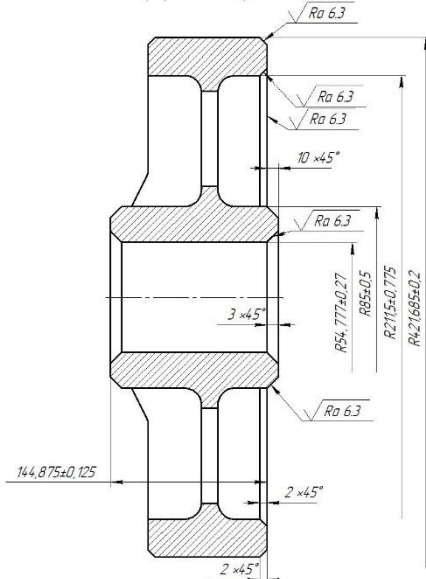
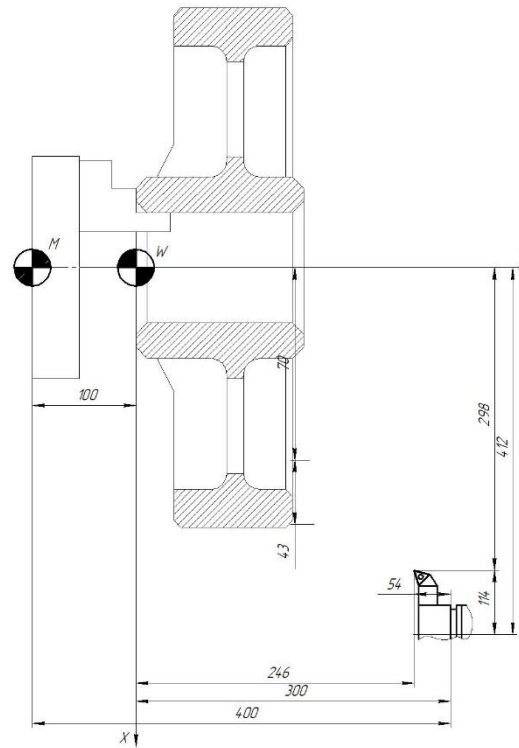


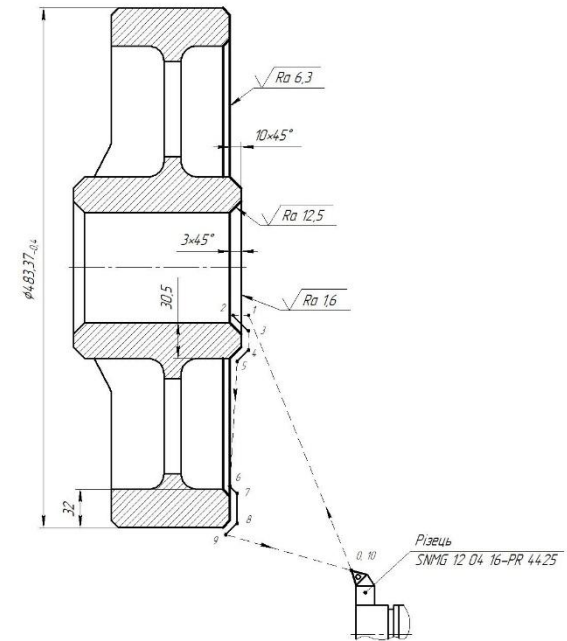
Схема розташування деталі



Основні параметри обробки деталі

$t, \text{ мм}$	$S, \text{ мм/а\ddot{o}}$	$V, \text{ м/х\ddot{o}}$	$\eta, \text{ а\ddot{o}/х\ddot{o}}$	$N_{\text{вн}}, \text{ кВт}$	$L_{\text{вн}}, \text{ мм}$	$t_0, \text{ х\ddot{o}}$
18	0,5	70	40	2,5	22,5	2241

Схема обробки деталі



Координати опорних точок деталі

№ точки	Координаты, м	
	X	Z
0	298	246
1	52	158
2	52	150
3	60	157
4	73	157
5	85	172
6	206	172
7	214	178
8	238	178
9	245	188
10	298	246

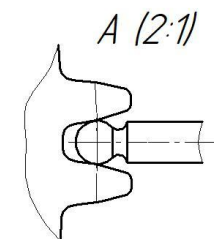
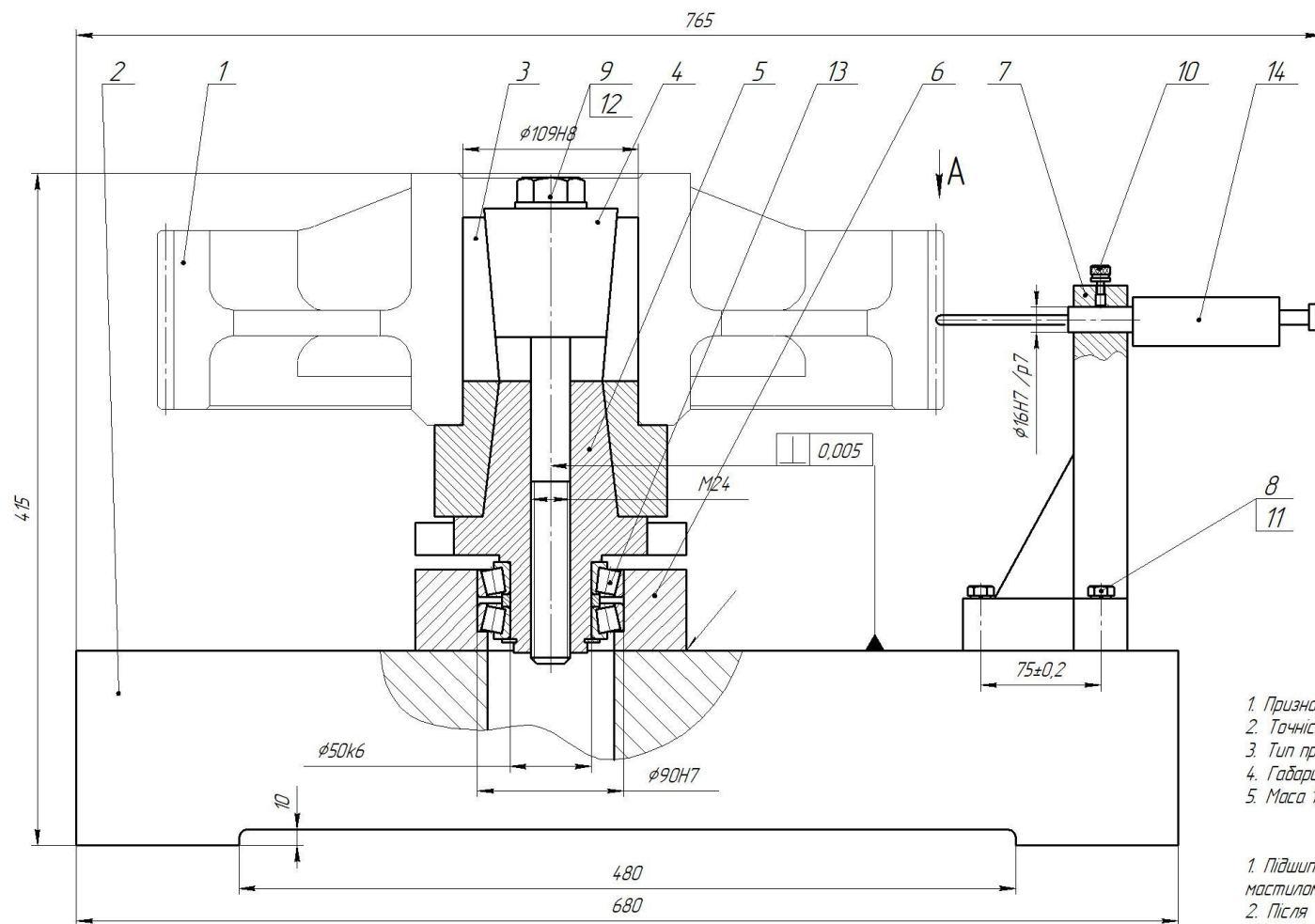
Координати нульових точок
в СК деталі

Координати	Нуль програми	Нуль перестата	Нуль випадку
X_0	-298	-	-
Y_0	0	-	-
Z_0	+246	-	-
X_n	-	-	0
Y_n	-	-	0
Z_n	-	-	0
X_{10}	-	0	-
Y_{10}	-	0	-
Z_{10}	-	-100	-

						КНУКБР.131.26.01-02.РТК											
						Разработка- технологична карта											
						Лист		Риски		Материал							
						И	И	И	И	И	И	И	И				
						Автом		Т		Автом		Т					
						Копирова ТМ ПМ-23сх											
						Калининград											
						Файловы 21											

Перф. застос.	
Спроб. №	

Підп. і дата	
Лист № змін	
Взам. інв. №	
Підп. і дата	
Лист № ориг.	



Технічна характеристика

1. Призначення: контроль радіального биття деталі колеса зубчасте
2. Точність вимірювання 0,01 мм.
3. Тип приводу: ручний.
4. Габаритні розміри 765×300×415 мм.
5. Маса 135,4 кг.

Технічні вимоги

1. Підшипник качення на 2/3 вільного об'єму заповнити консистентним мастилом солідол "С" згідно стандарту
2. Після встановлення та закріплення деталь повинна вільно обертатись навколо осі.

						КНУ.КБР.131.26.01-02.ПК											
						Пристосування контрольне				Лист	Маса	Масштаб					
Зм	Арк	№ докум	Підп	Вста	Н						135,4	1:2					
Розроб		Зорянський				Архив		1	Архив		1						
Перед		Кравцова				Кафедра ТМ ПМ-23ск											
Т.контр																	
Рішавий																	
Н.контр		Нечасов															
Затв		Рязанцев				Копія											
						Формат А2											

DetailsMesh type	Solid Mesh
Meshes Used	Blended curvature-based mesh
Jacobian points for High quality mesh	4 points
Max Element Size	26.8805 mm
Min Element Size	5.3761 mm
Mesh quality	High
Total nodes	248919
Total elements	161919
Maximum Aspect Ratio	12.478
Percentage of elements with Aspect Ratio < 3	90.8
Percentage of elements with Aspect Ratio > 10	0.0247
Percentage of distorted elements	0
Number of distorted elements	0
Reuse mesh for identical bodies	On
Number of bodies that have reused mesh	0
Time to complete mesh(hh:mm:ss)	00:00:57

Параметри сітки кінцевих елементів



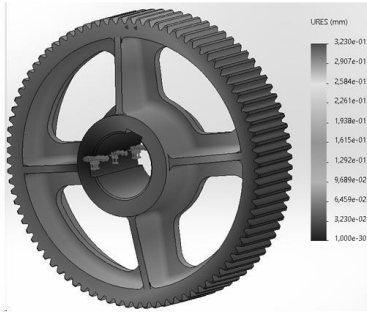
Сітка для обчислень методом кінцевих елементів



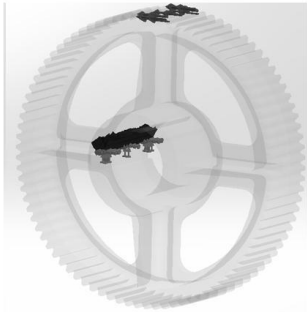
Схема прикладання зовнішнього навантаження та граничних умов



Розподіл внутрішніх напружень при навантаженні



Епюра переміщень



Результати аналізу «Design Insight»

КНУ.КБР.131.26.01-02.АПР						Лист	Маса	Масштаб
Зм.	Арх.	№ док-м	Підп.	Дата	Аналіз проектних рішень			
Розроб.	Зарішський							
Перев.	Кравцова				Архив			
Т.контр.	Корв'як							
К.контр.	Нечаєв				Кафедра ТМ ПМ-23ск			
Затв.	Резанцев							
Копія						Формат А2		

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

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

_____ (дата)

_____ (підпис)

ЗАВДАННЯ на кваліфікаційну бакалаврську роботу

Здобувача групи ПМ-23ск Зарицького Володимира Денисовича

1. Тема: Технологічна підготовка виготовлення колеса зубчастого циліндричного редуктора з використанням 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 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. Колесо зубчасте. 2. Колесо зубчасте (заготовка). 3. Структура та зміст технологічних операцій обробки. 4. Розрахунково-технологічна карта. 5. Пристосування контрольне. 6. Аналіз проектних рішень

6. Календарний план:

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

Дата видачі завдання: «26» лютого 2026 р.

Завдання видав керівник КБР

/ Кравцова Д.Ю. /

Завдання отримав
здобувач освіти

/ Зарицький В.Д. /