

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Інжинірингу машинобудівних технологій

(повна назва кафедри)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розроблення технології виготовлення корпусу переднього  
БМД 15.812 з дослідженням процесу вигладжування перервних циліндричних  
поверхонь

Виконав: студент VI курсу, групи МІм-61  
спеціальності 131 “Прикладна механіка”

(шифр і назва спеціальності)

\_\_\_\_\_ Домарецький О.П.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник \_\_\_\_\_ Дячун А.Є.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль \_\_\_\_\_ Дячун А.Є.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_ Окіпний І.Б.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент \_\_\_\_\_  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль  
2023

## РЕФЕРАТ

Тема кваліфікаційної роботи: “Розроблення технології виготовлення корпусу переднього БМД 15.812 з дослідженням процесу вигладжування перервних циліндричних поверхонь”.

У кваліфікаційній роботі проведено дослідження динаміки вигладжування перервних циліндричних поверхонь. Представлено розрахункову схему до динамічної моделі процесу вигладжування перервних циліндричних поверхонь. Визначено умову максимально допустимого значення зміщення кульки у пазі відносно зовнішньої циліндричної поверхні заготовки. Побудовано графіки залежності максимально допустимого значення перекриття циліндричної заготовки та кульки від радіуса кульки та коефіцієнта тертя між поверхнями кульки та циліндричної частини заготовки.

Одержано та розв’язано дві системи диференціальних рівнянь для випадку вигладжування поверхні без перевантаження, коли запобіжна частина оправки для вигладжування не спрацьовує та у випадку спрацювання запобіжного механізму, використовуючи чисельний метод Рунге-Кутта із нульовими початковими координатами.

Побудовано графіки, де показано зміну лінійної деформації рухомої частини оправки для вигладжування поверхонь, пристрою для кріплення оправки, динамічного навантаження на рухомій частині оправки без спрацювання запобіжного механізму та із спрацюванням запобіжного механізму.

Вдосконалено технологічний процес виготовлення корпусу переднього БМД 15.812.

## ЗМІСТ

<b>Вступ .....</b>	
<b>1 Аналітична частина</b>	
1.1. Аналіз стану питання.....	
1.2. Висновки та постановка завдань.....	
<b>2 Науково-дослідна частина</b>	
2.1. Дослідження динаміки вигладжування перервних циліндричних поверхонь.....	
2.2. Висновки.....	
<b>3 Технологічно-конструкторська частина</b>	
3.1. Службове призначення деталі.....	
3.2. Вибір способу одержання заготовки.....	
3.3. Формування технологічного процесу .....	
3.4. Визначення припусків на оброблення.....	
3.5. Визначення режимів різання.....	
3.6. Розрахунок пристосування.....	
<b>4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях</b>	
Висновки.....	
Перелік посилань.....	
Додатки	

## ВСТУП

Процес вигладжування поверхонь використовується при виготовленні клапанів, штоків гідравлічних та пневматичних циліндрів, валів, підшипників та інших деталей. У деяких випадках вигладжування можна використовувати для поверхонь складної форми таких як лопаті турбін. Процесу вигладжування піддаються такі матеріали як сталі, алюмінієві сплави, латуні та титанові сплави. Використання технології вигладжування постійно зростає.

До основних переваг процесу вигладжування можна віднести: при вигладжуванні можна досягти низької шорсткості обробленої поверхні до 0,04 Ra, як при шліфуванні; змінюючи параметри вигладжування, можна одержати особливі структури поверхневих шарів, які називають регулярні рельєфи; вигладжування підвищує твердість, зносостійкість та стійкість до корозії оброблених поверхонь. Сформований шар із надлишковими напруженнями стиску підвищує втомну міцність поверхонь при змінних навантаженнях; дозволяє усувати дорогі і тривалі операції шліфування, що призводить до одержання економічного ефекту; оскільки вигладжування можна використовувати на стандартних металоріжучих верстатах без перевстановлення заготовки, тільки змінюючи інструмент, можна одержати скорочення часу на виготовлення деталі.

Більшістю дослідників вивчалось налагодження оптимальних параметрів процесу вигладжування з метою зниження шорсткості обробленої поверхні та підвищення її втомної міцності.

Тому подальші дослідження процесу вигладжування перервних циліндричних поверхонь є актуальними.

Актуальним є також розроблення технологічного процесу виготовлення корпусу переднього БМД 15.812.

# 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

## 1.1. Аналіз стану питання

Процес вигладжування – це процес холодного пластичного деформування матеріалів, при якому кулька підвищеної твердості переміщується під тиском по оброблюваній поверхні. Під час виконання рухів ковзання або кочення між інструментом та заготовкою можна одержати низьку шорсткість поверхні за рахунок перерозподілу матеріалу із вершин мікро виступів у впадини без зрізання матеріалу (рис. 1.1). Процесу вигладжування піддаються такі матеріали як сталі, алюмінієві сплави, латуні та титанові сплави. Використання технології вигладжування постійно зростає. Такий процес використовується при виготовленні клапанів, штоків гідравлічних та пневматичних циліндрів, валів, підшипників та інших деталей. У деяких випадках вигладжування можна використовувати для поверхонь складної форми таких як лопаті турбін.

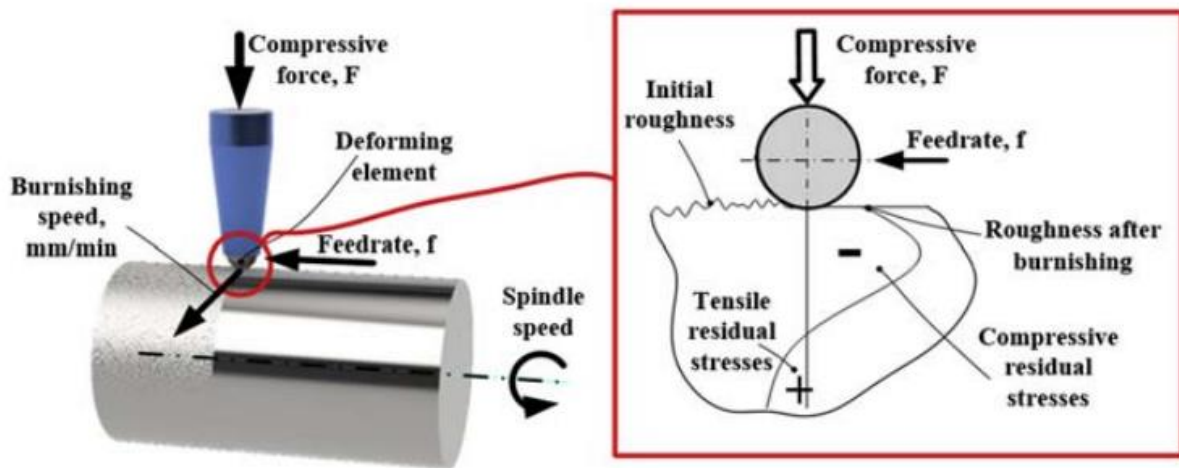


Рисунок 1.1 – Принцип роботи та параметри процесу вигладжування [12]

При застосуванні більшого контактного тиску глибина пластично деформованого шару зростає. Шари матеріалу, що розташовані нижче піддаються пружним деформаціям і після зняття навантаження відпружинюють, штовхаючи верхні деформовані шари і створюючи у них надлишкові напруження стиску.

До основних переваг процесу вигладжування можна віднести:

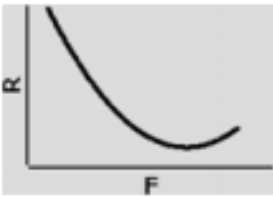
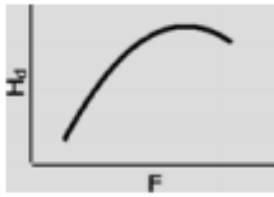
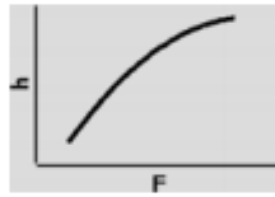
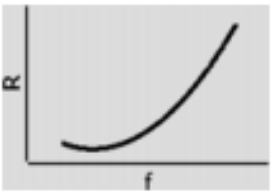
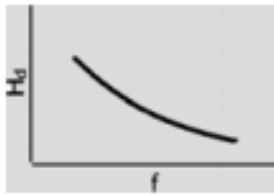
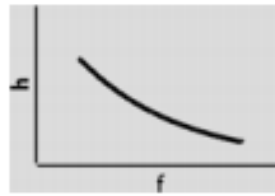
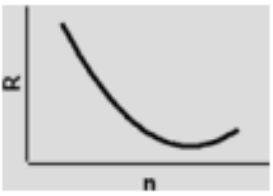
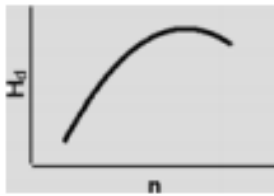
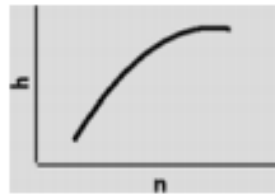
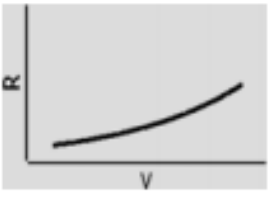
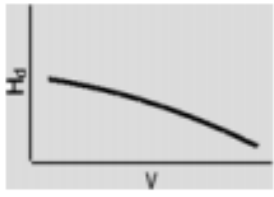
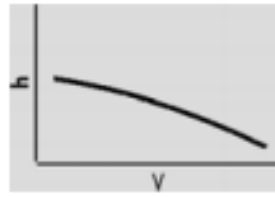
- при вигладжуванні можна досягти низької шорсткості обробленої поверхні до 0,04 Ra, як при шліфуванні;
- змінюючи параметри вигладжування, можна одержати особливі структури поверхневих шарів, які називають регулярні рельєфи;
- вигладжування підвищує твердість, зносостійкість та стійкість до корозії оброблених поверхонь. Сформований шар із надлишковими напруженнями стиску підвищує втомну міцність поверхонь при змінних навантаженнях;
- дозволяє усувати дорогі і тривалі операції шліфування, що призводить до одержання економічного ефекту;
- оскільки вигладжування можна використовувати на стандартних металоріжучих верстатах без перевстановлення заготовки, тільки змінюючи інструмент, можна одержати скорочення часу на виготовлення деталі.

Основні недоліки та обмеження процесу вигладжування пов'язані із формою та розмірами заготовок. Відносно малі заготовки із тонкими стінками не піддаються вигладжуванню. Оскільки вигладжування виконується без зняття матеріалу, не можливо підвищити точність форми обробленої поверхні, цей параметр потрібно забезпечити на попередніх операціях.

Більшістю дослідників вивчалось налагодження оптимальних параметрів процесу вигладжування з метою зниження шорсткості обробленої поверхні та підвищення її втомної міцності. Основними параметрами процесу вигладжування є сила вигладжування, подача, швидкість вигладжування та кількість переходів. Також вивчались такі параметри як діаметр кульки, глибина вигладжування, застосування мастильно-охолоджуючих технологічних середовищ, початкова шорсткість та твердість поверхні. Встановлено, що контактні напруження між інструментом та поверхнею, що піддається вигладжуванню залежать не тільки від прикладеної сили, але також від кривизни заготовки, радіуса кульки, пружних властивостей матеріалів. Тому при дослідженнях також враховувались діаметр та матеріал кульки на інструменті.

Вплив основних параметрів процесу вигладжування на якість циліндричної поверхні представлено у таблиці 1.1. В загальному підвищення сили вигладжування призводить до зменшення шорсткості поверхні  $Ra$ , підвищення коефіцієнта твердості  $Hd$ , як відношення твердості поверхні після вигладжування до початкової твердості та підвищення глибини деформованого шару  $H$ . При оптимальній силі вигладжування забезпечується переміщення усього матеріалу із вершин мікро виступів у впадини. Подальше збільшення сили вигладжування погіршує якість обробленої поверхні через виникнення адгезійного зношування.

Таблиця 1.1 - Вплив основних параметрів процесу вигладжування на якість циліндричної поверхні [12]

Параметри вигладжування	Шорсткість $Ra$ , мкм	Коефіцієнт твердості $Hd$	Глибина деформованого шару $H$ , мм
Сила $F$ вигладжування, Н			
Подача $f$ , мм/об			
Кількість переходів $n$			
Швидкість вигладжування $V$ , м/хв			

Збільшення кількості переходів має подібний вплив. Для покращення якості поверхні подача та швидкість вигладжування повинні бути низькими.

У роботі Rao та інших [15] встановлено вплив параметрів процесу вигладжування кулькою на поверхневу твердість заготовок із високоміцних низьковуглецевих сталей. В результаті статистичного аналізу визначено, що швидкість вигладжування, подача, мастильно-охолоджуюче технологічне середовище, діаметр кульки мають значний вплив на поверхневу твердість заготовки.

У роботі Abu Shreehan [18] досліджено вплив різних режимів вигладжування заготовки на поверхневу мікротвердість, шорсткість та точність форми одержаної поверхні. Визначено оптимальні параметри для досягнення мінімальної шорсткості і максимальної твердості поверхні. Також виведено емпіричні залежності для прогнозування мікротвердості та шорсткості поверхні заготовок із латуні після вигладжування.

У роботі Basak та Goktas [19] досліджено вплив частоти обертання заготовки, подачі інструменту, кількості переходів, зусилля притискання кульки до поверхні заготовки на поверхневу шорсткість та твердість заготовок із матеріалу Al 7075 T6. Для прогнозування найкращих режимів вигладжування використано модель нечіткої логіки.

У дослідженнях El-Taweel та El-Axir [21] використано метод Тагучі для визначення впливу режимів вигладжування: швидкості, подачі, сили та кількості проходів на поверхневу шорсткість та мікротвердість. Для оцінювання оптимальної комбінації різних рівнів режимів вигладжування кульками використано дисперсійний аналіз.

У роботі Esme [22] використано оптимізацію параметрів процесу вигладжування на основі використання поверхонь відгуку для досягнення необхідних показників шорсткості та мікротвердості поверхні. Також застосовано реляційний аналіз Грея та метод Тагучі. Значущість параметрів вигладжування на якісні характеристики поверхні оцінювалась дисперсійним аналізом.



У роботі Babu [23] оцінено вплив різних режимів вигладжування на характеристики обробленої поверхні, мікроструктуру поверхневого шару та його твердість для матеріалів заготовок із сталей, алюмінієвого сплаву та латуні. Для визначення параметрів, що найбільше впливають на характеристики поверхні, зокрема шорсткість використано метод Тагучі.

У статті Sai та Lebrun [25] проведено аналіз розвитку надлишкових напружень, мікротвердості та шорсткості обробленої поверхні для різних фінішних процесів: токарної обробки, шліфування та вигладжування. Результати показали, що використання процесу вигладжування сприяє хорошій якості обробленої поверхні, що підвищує її зносостійкість, втомну міцність та стійкість до корозії.

У роботі ElTayeb [26] для процесу вигладжування розроблено спеціальний інструмент із взаємозамінним адаптером. Вигладжування поверхні кулькою проведено на заготовці із алюмінієвого сплаву 6061 при різних режимах та розміщеннях інструменту з метою дослідження впливу швидкості вигладжування, сили вигладжування та розмірів інструменту на якість та трибологічні властивості обробленої поверхні.

У роботі Esme [27] розроблено модель для прогнозування шорсткості обробленої поверхні при вигладжуванні поверхні заготовки із матеріалу AA 7075, використовуючи штучну нейронну мережу. У модель штучної нейронної мережі для шорсткості поверхні включено зусилля вигладжування, кількість переходів, подачу та швидкість.

У роботі Ibrahim [28] перевірено можливість використання інструмента із кулькою для одержання хороших показників якості поверхні, таких як шорсткість поверхні та відхилення від круглості. При дослідженнях відхилення від круглості змінювали швидкість, подачу та силу вигладжування. Результати експериментальних досліджень використовувались як базу для створення моделі нечіткої логіки, яка контролює режими вигладжування.

Фактори, що впливають на процес вигладжування представлено на рис. 1.2 [29].



Рисунок 1.2 - Фактори, що впливають на процес вигладжування [29]

Для вигладжування зовнішніх поверхонь обертання розроблено значну кількість інструментів, зокрема на рис. 1.3 представлено робочі частини інструментів із кульками. Для зменшення тертя між кулькою та опорою використовуються один, два або три стандартні кулькові підшипники, кульки меншого діаметру, антифрикційні матеріали, камери з рідиною або повітрям.

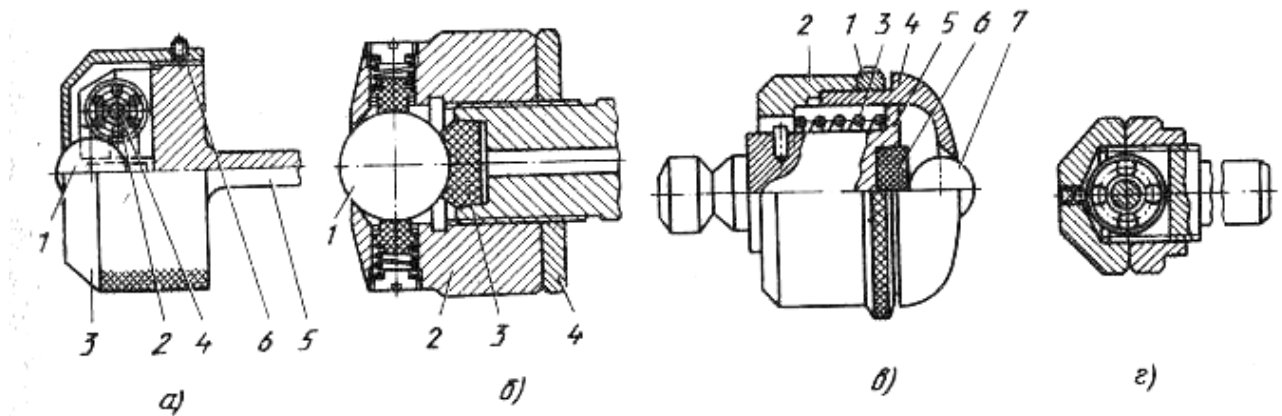


Рисунок 1.3 - Робочі частини інструментів із кульками для вигладжування зовнішніх поверхонь обертання [30]

На рисунку 1.4 показано інструменти для вигладжування поверхні кулькою із підпружиненою частиною оправки (рис. 1.4 а) та жорсткою оправкою (рис. 1.4 б)

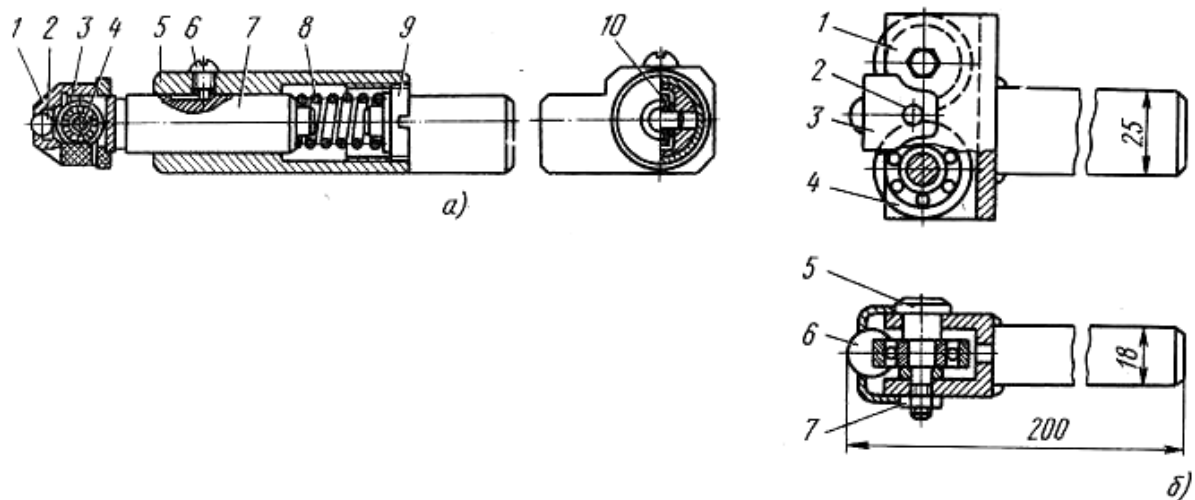


Рисунок 1.4 - Інструменти для вигладжування поверхні кулькою [30]

Для вигладжування поверхонь деталей підвищеної твердості використовуються оправки важільної дії (рис. 1.5)

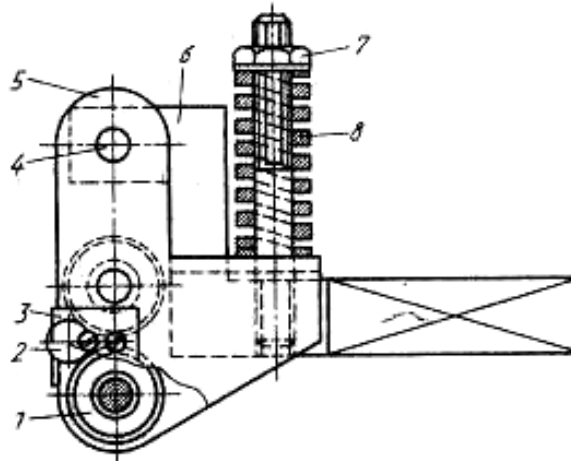


Рисунок 1.5 - Оправка важільної для вигладжування поверхонь деталей підвищеної твердості [30]

Також для вигладжування деталей низької жорсткості використовуються багатоконтактні інструменти (рис. 1.6)

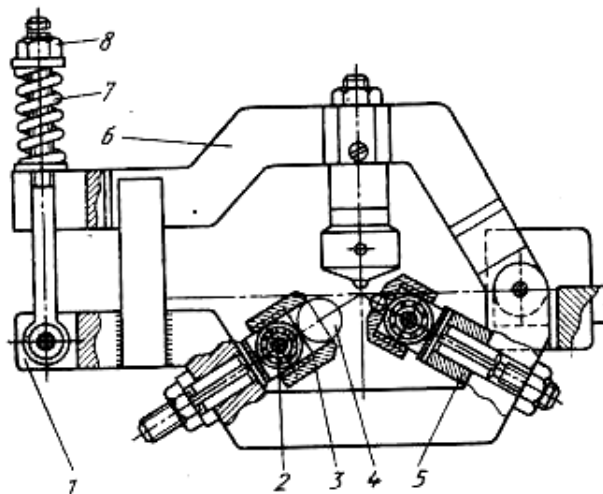


Рисунок 1.6 - Багатоконтактний інструмент для вигладжування деталей низької жорсткості [30]

## 1.2. Висновки та постановка завдань

Використання технології вигладжування постійно зростає. Такий процес використовується при виготовленні клапанів, штоків гідравлічних та

пневматичних циліндрів, валів, підшипників та інших деталей. У деяких випадках вигладжування можна використовувати для поверхонь складної форми таких як лопаті турбін.

До основних переваг процесу вигладжування можна віднести: при вигладжуванні можна досягти низької шорсткості обробленої поверхні до 0,04 Ra, як при шліфуванні; змінюючи параметри вигладжування, можна одержати особливі структури поверхневих шарів, які називають регулярні рельєфи; вигладжування підвищує твердість, зносостійкість та стійкість до корозії оброблених поверхонь. Сформований шар із надлишковими напруженнями стиску підвищує втомну міцність поверхонь при змінних навантаженнях; дозволяє усувати дорогі і тривалі операції шліфування, що призводить до одержання економічного ефекту; оскільки вигладжування можна використовувати на стандартних металоріжучих верстатах без перевстановлення заготовки, тільки змінюючи інструмент, можна одержати скорочення часу на виготовлення деталі.

У кваліфікаційній роботі вирішуються такі завдання:

1. Провести дослідження динаміки вигладжування перервних циліндричних поверхонь.

2. Визначити умову максимально допустимого значення зміщення кульки у пазі відносно зовнішньої циліндричної поверхні заготовки.

3. Вивести та розв'язати системи диференціальних рівнянь для випадку вигладжування поверхні без перевантаження, коли запобіжна частина оправки для вигладжування не спрацьовує та у випадку спрацювання запобіжного механізму.

5. Вдосконалити відомий технологічний процес виготовлення корпуса переднього БМД 15.812.

## 2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

### 2.1. Дослідження динаміки вигладжування перервних циліндричних поверхонь

Під час вигладжування перервних циліндричних поверхонь виникають ударні навантаження, перевищення величини яких може пошкоджувати поверхневий шар оброблюваної заготовки та підвищувати її шорсткість. Для уникнення такого явища можливе використання різноманітних засобів, зокрема запобіжних механізмів із підпружиненими кульками, що входять у зачеплення із конічними лунками. Принципова схема оправки із запобіжним механізмом для вигладжування перервних поверхонь представлена на рис. 2.1.

Процес вигладжування перервних циліндричних поверхонь супроводжується періодичною зміною в часі контактної взаємодії кульки на інструменті та поверхні заготовки, а відповідно і силових параметрів процесу. Також такий процес супроводжується ударними навантаженнями на заготовку та інструмент, а також складними процесами взаємодії заготовки та оправки для вигладжування. Для визначення впливу параметрів процесу вигладжування на динамічні характеристики елементів системи, до складу якої віднесено циліндричну заготовку із періодичними канавками на поверхні, оправку із кулькою, що взаємодіє із поверхнею заготовки, запобіжний механізм у вигляді кульок, що є у взаємодії із лунками на оправці та пружин стиску, пристрій для кріплення оправки, різцетримач застосовано розроблену динамічну модель у вигляді зосереджених мас і представлено системою елементів на схемі рис. 2.1.

При застосуванні в оправці запобіжного механізму виникає необхідність у дослідженні динаміки його роботи, оскільки динамічні навантаження, що виникають в процесі вигладжування перервних поверхонь перевищують навантаження при вигладжуванні звичайних циліндричних поверхонь.



Якщо динамічні навантаження перевищують граничну допустиму величину, що визначається регулюванням параметрів запобіжного механізму, під дією горизонтальної складової сили вигладжування із ударним навантаженням відбувається зміщення оправки для розкочування в радіальному напрямку відносно заготовки з виходом кульок із лунок оправки за рахунок виникнення сил, достатніх для подолання сили стиску пружин.

На рисунку 2.1 зображено основні елементи динамічної моделі процесу вигладжування перервних циліндричних поверхонь:  $I_1$  – момент інерції циліндричної заготовки із періодичним розташуванням пазів;  $I_2$  – приведений момент інерції елементів приводу обертання заготовки;  $m_1$  – маса циліндричної заготовки із періодичним розташуванням пазів;  $m_2$  – маса рухомої частини оправки для вигладжування поверхонь;  $m_3$  – маса хвостової частини оправки для вигладжування поверхонь;  $m_4$  – маса пристрою для кріплення оправки;  $m_5$  – маса різцетримача,  $m$  – маса кульки запобіжного механізму.

На рисунку 2.1 позначено коефіцієнти жорсткості та коефіцієнти демпфування:  $C_{12}$  – приведена жорсткість з'єднання між циліндричною заготовкою із періодичним розташуванням пазів та елементом приводу обертання заготовки;  $k_{1z}$ ,  $k_{1y}$  - приведені жорсткості циліндричної заготовки із періодичним розташуванням пазів у напрямках осей  $z$  та  $y$  відповідно;  $k_{23y}$  - лінійна жорсткість пружної частини оправки для вигладжування поверхні у напрямку осі  $y$ ;  $k_{45z}$ ,  $k_{45y}$  - лінійні жорсткості пристрою для кріплення оправки у напрямках осей  $z$  та  $y$  відповідно;  $k_{5z}$ ,  $k_{5y}$  - лінійні жорсткості різцетримача у напрямках осей  $z$  та  $y$  відповідно,  $C_k$  – жорсткість пружини стиснення запобіжного механізму.

Крім того на рисунку 2.1 позначено коефіцієнти демпфування:  $\beta_{12}$  – коефіцієнт демпфування між циліндричною заготовкою із періодичним розташуванням пазів та елементом приводу обертання заготовки;  $\beta_{1z}$ ,  $\beta_{1y}$  - коефіцієнти демпфування циліндричної заготовки із періодичним



розташуванням пазів у напрямках осей  $z$  та  $y$  відповідно;  $\beta_{23y}$  - коефіцієнт демпфування пружної частини оправки для вигладжування поверхні у напрямку осі  $y$ ;  $\beta_{45z}$ ,  $\beta_{45y}$  - коефіцієнти демпфування пристрою для кріплення оправки у напрямках осей  $z$  та  $y$  відповідно;  $\beta_{5z}$ ,  $\beta_{5y}$  - коефіцієнти демпфування різцетримача у напрямках осей  $z$  та  $y$  відповідно;  $\beta_k$  - коефіцієнт демпфування пружини стиснення запобіжного механізму.

На циліндричну заготовку із періодичним розташуванням пазів, що закріплена у затискному пристрої верстата та оправку для вигладжування діють проекції сили контакту  $P_k$  на вісі  $y$  та  $z$ :  $P_{ky}$ ,  $P_{kz}$ ; проекції сили тертя  $F_t$  між кулькою та поверхнею циліндричної частини заготовки на вісі  $y$  та  $z$ :  $F_{ty}$ ,  $F_{tz}$ , сила удару  $P_u$ , при цьому виникає крутний момент вигладжування  $M_v = (P_{kz} + F_{tz} + P_u) \cdot R_1$ , де  $R_1$  - зовнішній радіус циліндричної заготовки із періодичним розташуванням пазів.

Розрахункову схему для визначення силових параметрів взаємодії кульки 1 оправки 3 для розкочування із перервною поверхнею циліндричної заготовки 2 представлено на рис. 2.2. При виході кульки 1 із паза заготовки 2 відбувається контакт із початком циліндричної поверхні, при цьому на кульку діє сила контакту  $P_k$ , сила тертя  $F_t$  між кулькою та заготовкою та сила удару між кулькою та заготовкою  $P_u$ .

Величина перекриття  $H$  циліндричної заготовки та кульки має вплив на силові параметри процесу і відповідно на якість обробленої поверхні. Ця величина регулюється зміщенням оправки для розкочування механізмами обладнання. Величину перекриття  $H$  циліндричної заготовки та кульки згідно відповідно до розрахункової схеми на рис. 2.2 визначаємо за формулою:

$$H = R(1 - \cos \beta), \quad (2.1)$$

де  $R$  - радіус кульки;

$\beta$  – кут контакту між кулькою та початком циліндричної поверхні в момент початку контакту.

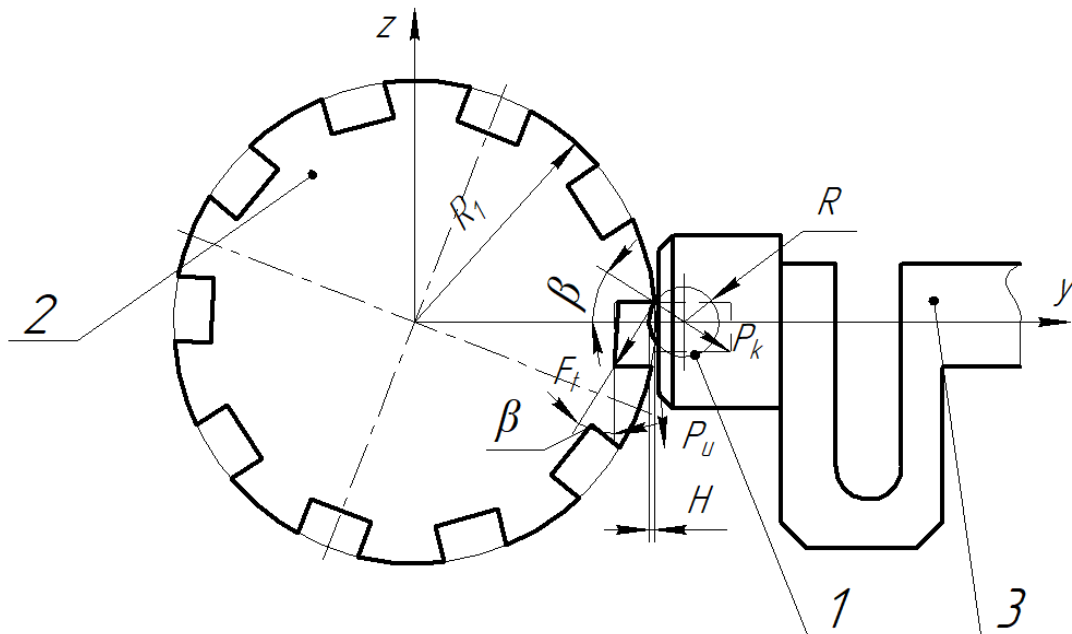


Рисунок 2.2 – Розрахункова схема для визначення силових параметрів взаємодії кульки 1 оправки 3 для розкочування із перервною поверхнею циліндричної заготовки 2

Із рівняння (2.1) знаходимо кут контакту між кулькою та початком циліндричної поверхні в момент початку контакту:

$$\beta = \arccos\left(1 - \frac{H}{R}\right). \quad (2.2)$$

Визначаємо проєкції сил контакту  $P_k$  на вісі  $y$  та  $z$ :

$$P_{kz} = P_k \sin \beta; \quad (2.3)$$

$$P_{ky} = P_k \cos \beta. \quad (2.4)$$

Проєкцію сил контакту  $P_k$  на вісі  $y$  визначаємо за формулою:

$$P_{ky} = k_{23y} H, \quad (2.5)$$

де  $k_{23y}$  - лінійна жорсткість пружної частини оправки для вигладжування поверхні у напрямку осі  $y$ .

Силу тертя між кулькою та поверхнею циліндричної частини заготовки визначаємо за формулою:

$$F_t = P_k f_1, \quad (2.6)$$

де  $f_1$  - коефіцієнт тертя між поверхнями кульки та циліндричної частини заготовки.

Визначаємо проєкції сили тертя  $F_t$  між кулькою та поверхнею циліндричної частини заготовки на вісі  $y$  та  $z$ :

$$F_{ty} = F_t \sin \beta; \quad (2.7)$$

$$F_{tz} = F_t \cos \beta. \quad (2.8)$$

Записуємо рівняння рівноваги на вісь  $y$ :

$$P_k \cos \beta - F_t \sin \beta = 0; \quad (2.9)$$

$$P_k (\cos \beta - f_1 \sin \beta) = 0. \quad (2.10)$$

Сила контакту  $P_k$  між кулькою та циліндричною поверхнею заготовки є більшою нуля, тому із рівняння (2.10) одержуємо нерівність:

$$1 - f_1 \operatorname{tg} \beta > 0, \quad (2.11)$$

Тоді

$$f_1 < \frac{1}{\operatorname{tg} \beta}. \quad (2.12)$$

Звідки допустимий кут контакту між кулькою та початком циліндричної поверхні в момент початку контакту:

$$\beta < \operatorname{arctg} \left( \frac{1}{f_1} \right). \quad (2.13)$$

Підставляючи рівняння (2.22) у нерівність (2.13), одержуємо:

$$\arccos\left(1 - \frac{H}{R}\right) < \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{f_1}\right). \quad (2.14)$$

Після розв'язку нерівності (2.14), встановлюємо допустиму величину перекриття  $H$  циліндричної заготовки та кульки

$$H < R \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{f_1^2}}} \right). \quad (2.15)$$

Умова (2.15) визначає максимально допустиме значення зміщення кульки у пазі відносно зовнішньої циліндричної поверхні заготовки. На основі нерівності (2.15) побудовано графіки залежності максимально допустимого значення перекриття  $H$  циліндричної заготовки та кульки від радіуса кульки та коефіцієнта тертя між поверхнями кульки та циліндричної частини заготовки (рис. 2.3, 2.4).

На основі графіків на рис. 2.3 та 2.4 робимо висновки, що збільшення максимально допустиме значення зміщення кульки у пазі відносно зовнішньої циліндричної поверхні заготовки можна досягти, збільшуючи радіус кульки та зменшуючи коефіцієнт тертя між поверхнями кульки та циліндричної частини заготовки, зокрема за рахунок використання у технологічному процесі мастильно-охолоджуючих технологічних середовищ.

Співвідношення між осьовою силою  $F$  на оправці і нормальною силою  $F_n$  на поверхні контакту між кулькою та лункою запобіжного механізму визначено із рівнянь рівноваги [31]:

$$\begin{aligned} F - F_n \cdot \cos \alpha + F_{t1} \cdot \sin \alpha &= 0; \\ F - F_n \cdot \sin \alpha - F_{t1} \cdot \cos \alpha &= 0; \\ F_{t1} &= F_n \cdot f. \end{aligned} \quad (2.16)$$

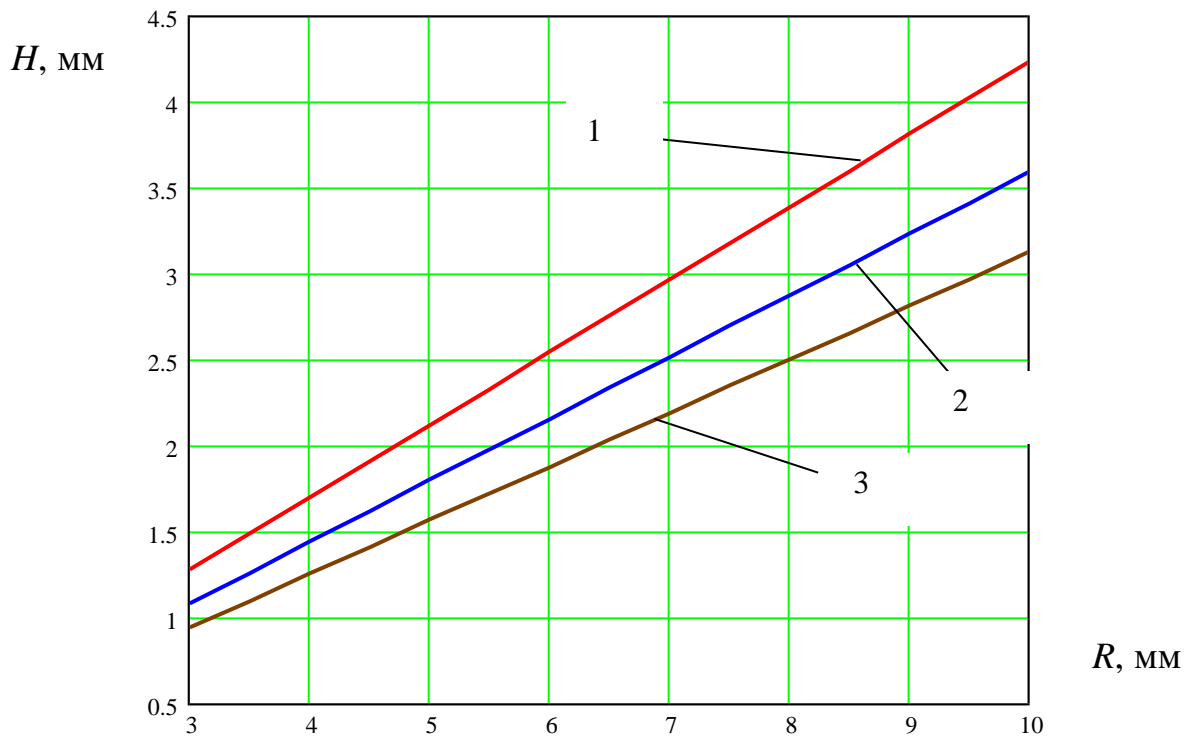


Рисунок 2.3 - Графіки залежності максимально допустимого значення перекриття  $H$  циліндричної заготовки та кульки від радіуса кульки:  
 1 -  $f_1=0,5$ , 2 -  $f_1=0,7$ , 3 -  $f_1=0,9$

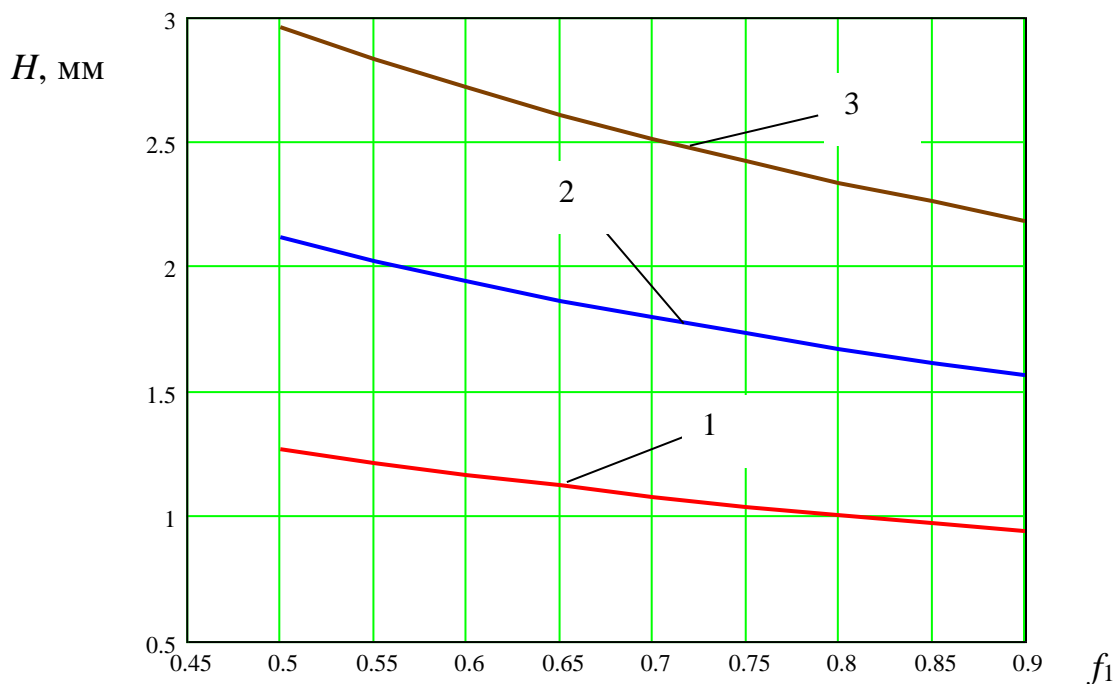


Рисунок 2.4 - Графіки залежності максимально допустимого значення перекриття  $H$  циліндричної заготовки та кульки від коефіцієнта тертя між поверхнями кульки та циліндричної частини заготовки:  
 1 -  $R=3$  мм, 2 -  $R=5$  мм, 3 -  $R=7$  мм

де  $F_{t1}$  - сила тертя між поверхнями кульки та лунки запобіжного механізму;

$\alpha$  - кут нахилу лунки;

$f$  - коефіцієнт тертя між поверхнями кульки та лунки запобіжного механізму.

Із системи рівнянь (2.16) осьова сила  $F$  на оправці :

$$F = F_n (\sin \alpha + f \cos \alpha). \quad (2.17)$$

Нормальну силу  $F_n$  на поверхні контакту між кулькою та лункою визначено за формулою [31]:

$$F_n = \frac{C_k (h + \lambda)}{\cos \alpha - f \sin \alpha}. \quad (2.18)$$

Тоді осьову силу на кульці визначено за формулою:

$$F = \frac{C_k (h + \lambda) (\operatorname{tg} \alpha + f)}{1 - f \operatorname{tg} \alpha}. \quad (2.19)$$

Кути повороту  $\varphi_1, \varphi_2$ , лінійні переміщення  $z_1, z_2, z_3, z_4, z_5, y_1, y_2, y_3, y_4, y_5$  елементів механічної системи рис. 2.1 та лінійне переміщення  $h$  кульок вибрано як узагальнені координати.

Кінетична енергія приведеної системи (рис. 2.1) для випадку вигладжування поверхні без перевантаження, коли запобіжна частина оправки для вигладжування не спрацьовує, тобто без переміщення кульок з виходом із лунок, при якому  $y_3 = y_4, z_2 = z_3 = z_4$ :

$$T = \frac{I_1 \cdot \dot{\varphi}_1^2}{2} + \frac{I_2 \cdot \dot{\varphi}_2^2}{2} + \frac{m_1 \cdot \dot{z}_1^2}{2} + \frac{(m_2 + m_3 + m_4) \cdot \dot{z}_4^2}{2} + \frac{m_5 \cdot \dot{z}_5^2}{2} + \frac{m_1 \cdot \dot{y}_1^2}{2} + \frac{m_2 \cdot \dot{y}_2^2}{2} + \frac{(m_3 + m_4) \cdot \dot{y}_4^2}{2} + \frac{m_5 \cdot \dot{y}_5^2}{2}. \quad (2.20)$$

Потенціальна енергія запропонованої моделі, коли запобіжна частина оправки для вигладжування не спрацьовує:

$$\begin{aligned} \Pi = & \frac{C_{12} \cdot (\varphi_1 - \varphi_2)^2}{2} + \frac{k_{1z} \cdot z_1^2}{2} + \frac{k_{1y} \cdot y_1^2}{2} + \frac{k_{45z} \cdot (z_5 - z_4)^2}{2} + \frac{k_{5z} \cdot z_5^2}{2} + \\ & + \frac{k_{23y} \cdot (y_3 - y_2)^2}{2} + \frac{k_{45y} \cdot (y_5 - y_4)^2}{2} + \frac{k_{5y} \cdot y_5^2}{2}. \end{aligned} \quad (2.21)$$

Функція розсіювання запропонованої моделі, коли запобіжна частина опправки для вигладжування не спрацьовує:

$$\begin{aligned} \Phi = & \frac{\beta_{12} \cdot (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2)^2}{2} + \frac{\beta_{1z} \cdot \dot{z}_1^2}{2} + \frac{\beta_{1y} \cdot \dot{y}_1^2}{2} + \frac{\beta_{45z} \cdot (\dot{z}_5 - \dot{z}_4)^2}{2} + \frac{\beta_{5z} \cdot \dot{z}_5^2}{2} + \\ & + \frac{\beta_{23y} \cdot (\dot{y}_3 - \dot{y}_2)^2}{2} + \frac{\beta_{45y} \cdot (\dot{y}_5 - \dot{y}_4)^2}{2} + \frac{\beta_{5y} \cdot \dot{y}_5^2}{2}. \end{aligned} \quad (2.22)$$

Використовуємо рівняння Лагранжа другого роду для розрахунку переміщень елементів запропонованої моделі [24]:

- крутних

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_n} + \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_n} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\varphi}_n} = M(\tau). \quad (2.23)$$

- лінійних:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{z}_n} + \frac{\partial \Pi}{\partial z_n} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{z}_n} = P_z(\tau), \quad (2.24)$$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{y}_n} + \frac{\partial \Pi}{\partial y_n} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{y}_n} = P_y(\tau). \quad (2.25)$$

Підставляючи рівняння (2.20), (2.21), (2.22) у рівняння Лагранжа (2.23), (2.24), (2.25), одержуємо систему диференціальних рівнянь для випадку вигладжування поверхні без перевантаження, коли запобіжна частина опправки для вигладжування не спрацьовує:

$$\begin{aligned}
& I_1 \cdot \ddot{\varphi}_1 + C_{12} \cdot (\varphi_1 - \varphi_2) + \beta_{12} (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) = (P_{kz} + F_{tz} + P_u) \cdot R_1; \\
& I_2 \cdot \ddot{\varphi}_2 + C_{12} \cdot (\varphi_2 - \varphi_1) + \beta_{12} (\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_1) = M_s; \\
& m_1 \cdot \ddot{z}_1 + k_{1z} \cdot z_1 + \beta_{1z} \cdot \dot{z}_1 = P_{kz} + F_{tz} + P; \\
& (m_2 + m_3 + m_4) \cdot \ddot{z}_4 + k_{45z} \cdot (z_4 - z_5) + \beta_{45z} \cdot (\dot{z}_4 - \dot{z}_5) = P_{kz} + F_{tz} + P_u; \\
& m_5 \cdot \ddot{z}_5 + k_{45z} \cdot (z_5 - z_4) + \beta_{45z} \cdot (\dot{z}_5 - \dot{z}_4) + k_{5z} \cdot z_5 + \beta_{5z} \cdot \dot{z}_5 = 0; \\
& m_1 \cdot \ddot{y}_1 + k_{1y} \cdot y_1 + \beta_{1y} \cdot \dot{y}_1 = P_{ky} + F_{ty} + P_u; \\
& m_2 \cdot \ddot{y}_2 + k_{23y} \cdot (y_2 - y_3) + \beta_{23y} \cdot (\dot{y}_2 - \dot{y}_3) = P_{ky} + F_{ty} + P_u; \\
& (m_3 + m_4) \cdot \ddot{y}_3 + k_{23y} \cdot (y_3 - y_2) + \beta_{23y} \cdot (\dot{y}_3 - \dot{y}_2) + \\
& + k_{45y} \cdot (y_4 - y_5) + \beta_{45y} \cdot (\dot{y}_4 - \dot{y}_5) = 0; \\
& m_5 \cdot \ddot{y}_5 + k_{45y} \cdot (y_5 - y_4) + \beta_{45y} \cdot (\dot{y}_5 - \dot{y}_4) + k_{5y} \cdot y_5 + \beta_{5y} \cdot \dot{y}_5 = 0.
\end{aligned} \tag{2.26}$$

де  $M_s$  – крутний момент на приводі заготовки.

Кінетична енергія приведеної системи для випадку вигладжування поверхні із перевантаженням із початком роботи запобіжної частини оправки, тобто при переміщенні кульок з виходом із лунок, при якому  $z_2 = z_3 = z_4$ :

$$\begin{aligned}
T = & \frac{I_1 \cdot \dot{\varphi}_1^2}{2} + \frac{I_2 \cdot \dot{\varphi}_2^2}{2} + \frac{m_1 \cdot \dot{z}_1^2}{2} + \frac{(m_2 + m_3 + m_4) \cdot \dot{z}_4^2}{2} + \\
& + \frac{m_5 \cdot \dot{z}_5^2}{2} + \frac{m_1 \cdot \dot{y}_1^2}{2} + \frac{m_2 \cdot \dot{y}_2^2}{2} + \frac{m_3 \cdot \dot{y}_3^2}{2} + \frac{m_4 \cdot \dot{y}_4^2}{2} + \frac{m_5 \cdot \dot{y}_5^2}{2} + \frac{m \cdot \dot{h}^2}{2}.
\end{aligned} \tag{2.27}$$

Потенціальна енергія запропонованої моделі із початком роботи запобіжної частини оправки:

$$\begin{aligned}
\Pi = & \frac{C_{12} \cdot (\varphi_1 - \varphi_2)^2}{2} + \frac{k_{1z} \cdot z_1^2}{2} + \frac{k_{1y} \cdot y_1^2}{2} + \frac{k_{45z} \cdot (z_5 - z_4)^2}{2} + \frac{k_{5z} \cdot z_5^2}{2} + \\
& + \frac{k_{23y} \cdot (y_3 - y_2)^2}{2} + \frac{k_{45y} \cdot (y_5 - y_4)^2}{2} + \frac{k_{5y} \cdot y_5^2}{2} + \frac{C_k \cdot (h + \lambda)^2}{2}.
\end{aligned} \tag{2.28}$$

Функція розсіювання запропонованої моделі із початком роботи запобіжної частини оправки:



$$\Phi = \frac{\beta_{12} \cdot (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2)^2}{2} + \frac{\beta_{1z} \cdot \dot{z}_1^2}{2} + \frac{\beta_{1y} \cdot \dot{y}_1^2}{2} + \frac{\beta_{45z} \cdot (\dot{z}_5 - \dot{z}_4)^2}{2} + \frac{\beta_{5z} \cdot \dot{z}_5^2}{2} + \frac{\beta_{23y} \cdot (\dot{y}_3 - \dot{y}_2)^2}{2} + \frac{\beta_{45y} \cdot (\dot{y}_5 - \dot{y}_4)^2}{2} + \frac{\beta_{5y} \cdot \dot{y}_5^2}{2} + \frac{\beta_k \cdot \dot{h}_2^2}{2}. \quad (2.29)$$

Підставляючи рівняння (2.27), (2.28), (2.29) у рівняння Лагранжа (2.23), (2.24), (2.25), одержуємо систему диференціальних рівнянь для випадку вигладжування поверхні із початком роботи запобіжної частини оправки:

$$\left. \begin{aligned} I_1 \cdot \ddot{\varphi}_1 + C_{12} \cdot (\varphi_1 - \varphi_2) + \beta_{12} (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) &= (P_{kz} + F_{tz} + P_u) \cdot R_1; \\ I_2 \cdot \ddot{\varphi}_2 + C_{12} \cdot (\varphi_2 - \varphi_1) + \beta_{12} (\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_1) &= M_s; \\ m_1 \cdot \ddot{z}_1 + k_{1z} \cdot z_1 + \beta_{1z} \cdot \dot{z}_1 &= P_{kz} + F_{tz} + P_u; \\ (m_2 + m_3 + m_4) \cdot \ddot{z}_4 + k_{45z} \cdot (z_4 - z_5) + \beta_{45z} \cdot (\dot{z}_4 - \dot{z}_5) &= P_{kz} + F_{tz} + P_u; \\ m_5 \cdot \ddot{z}_5 + k_{45z} \cdot (z_5 - z_4) + \beta_{45z} \cdot (\dot{z}_5 - \dot{z}_4) + k_{5z} \cdot z_5 + \beta_{5z} \cdot \dot{z}_5 &= 0; \\ m_1 \cdot \ddot{y}_1 + k_{1y} \cdot y_1 + \beta_{1y} \cdot \dot{y}_1 &= P_{ky} + F_{ty} + P_u; \\ m_2 \cdot \ddot{y}_2 + k_{23y} \cdot (y_2 - y_3) + \beta_{23y} \cdot (\dot{y}_2 - \dot{y}_3) &= P_{ky} + F_{ty} + P_u; \\ m_3 \cdot \ddot{y}_3 + k_{23y} \cdot (y_3 - y_2) + \beta_{23y} \cdot (\dot{y}_3 - \dot{y}_2) &= -\frac{nC_k(h+\lambda)(\operatorname{tg} \alpha + f)}{1 - f \operatorname{tg} \alpha}; \\ m_4 \cdot \ddot{y}_4 + k_{45y} \cdot (y_5 - y_4) + \beta_{45y} \cdot (\dot{y}_5 - \dot{y}_4) &= \frac{nC_k(h+\lambda)(\operatorname{tg} \alpha + f)}{1 - f \operatorname{tg} \alpha}; \\ m_5 \cdot \ddot{y}_5 + k_{45y} \cdot (y_5 - y_4) + \beta_{45y} \cdot (\dot{y}_5 - \dot{y}_4) + k_{5y} \cdot y_5 + \beta_{5y} \cdot \dot{y}_5 &= 0; \\ m \cdot \ddot{h} + C_k \cdot (h + \lambda) + \beta_k \dot{h} &= \frac{C_k(h + \lambda)}{\cos \alpha - f \sin \alpha}. \end{aligned} \right\} \quad (2.30)$$

Для розв'язку систем рівнянь (2.26) прийнято нульові початкові умови для часу  $t = 0$  в момент контакту між кулькою та поверхнею заготовки:

$$\begin{aligned} \varphi_1(0) = 0, \varphi_2(0) = 0, z_1(0) = 0, z_2(0) = 0, z_3(0) = 0, z_4(0) = 0; z_5(0) = 0; \\ h(0) = 0; y_1(0) = 0, y_2(0) = 0, y_3(0) = 0, y_4(0) = 0; y_5(0) = 0. \\ \dot{\varphi}_1(0) = 0, \dot{\varphi}_2(0) = 0, \dot{z}_1(0) = 0, \dot{z}_2(0) = 0, \dot{z}_3(0) = 0, \dot{z}_4(0) = 0; \dot{z}_5(0) = 0; \end{aligned}$$

$$\dot{h}(0) = 0; \dot{y}_1(0) = 0, \dot{y}_2(0) = 0, \dot{y}_3(0) = 0, \dot{y}_4(0) = 0; \dot{y}_5(0) = 0. \quad (2.31)$$

Для розв'язку систем диференціальних рівнянь (2.26) та (2.30) використано прикладне програмне забезпечення та чисельний метод Рунге-Кутта.

В результаті розв'язку систем диференціальних рівнянь (2.26) та (2.30) побудовано графіки, де показано зміну лінійної деформації рухомої частини оправки для вигладжування поверхонь в напрямку вісі  $y$  без спрацювання запобіжного механізму (рис. 2.5) та із спрацюванням запобіжного механізму (рис. 2.9), зміну лінійної деформації рухомої частини оправки для вигладжування поверхонь в напрямку вісі  $z$  без спрацювання запобіжного механізму (рис. 2.6) та із спрацюванням запобіжного механізму (рис. 2.10), зміну лінійної деформації пристрою для кріплення оправки в напрямку вісі  $y$  без спрацювання запобіжного механізму (рис. 2.7), зміну динамічного навантаження на рухомій частині оправки для вигладжування поверхонь в напрямку вісі  $y$  без спрацювання запобіжного механізму (рис. 2.8) та із спрацюванням запобіжного механізму (рис. 2.11).

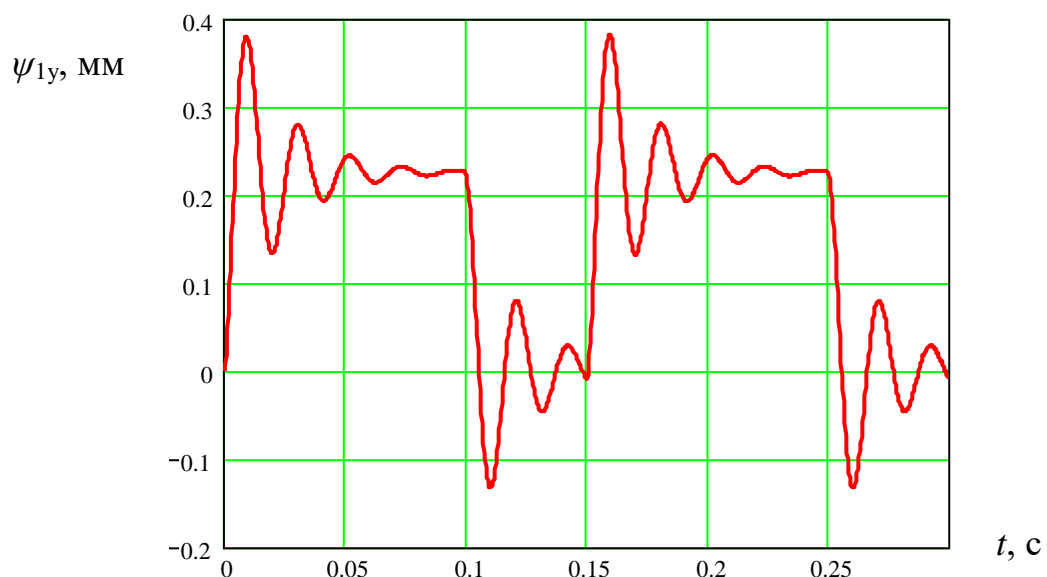


Рисунок 2.5 - Графік зміни лінійної деформації рухомої частини оправки для вигладжування поверхонь в напрямку вісі  $y$  без спрацювання запобіжного механізму

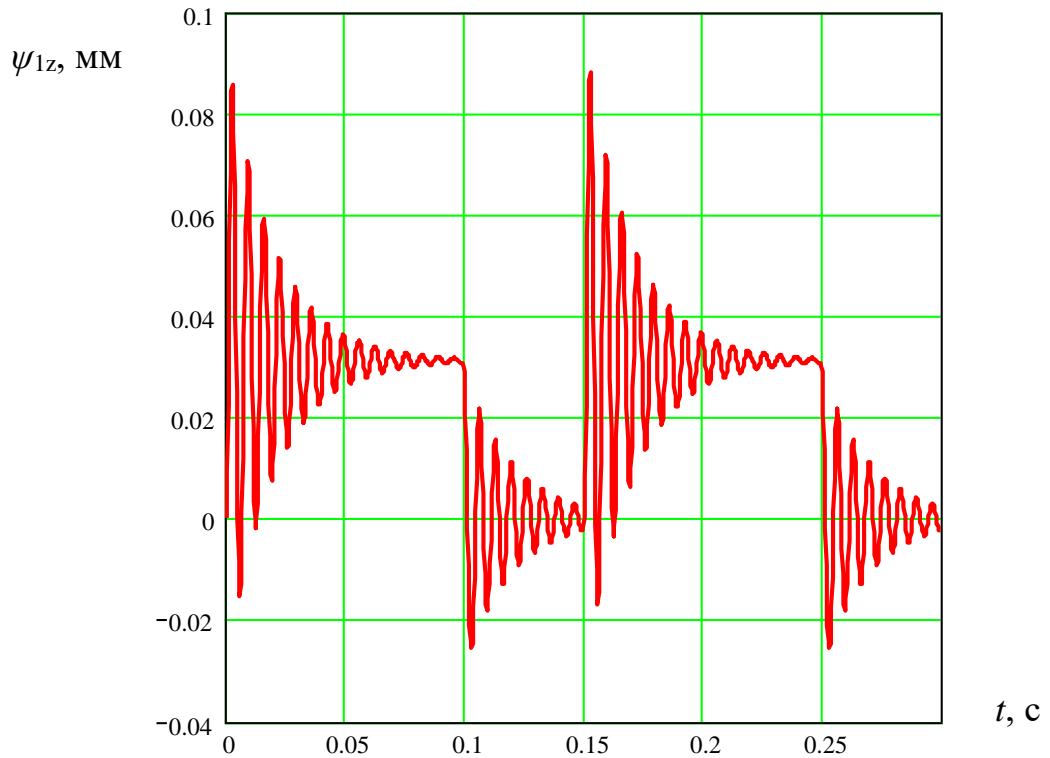


Рисунок 2.6 - Графік зміни лінійної деформації рухомої частини оправки для вигладжування поверхонь в напрямку вісі  $z$  без спрацювання запобіжного механізму

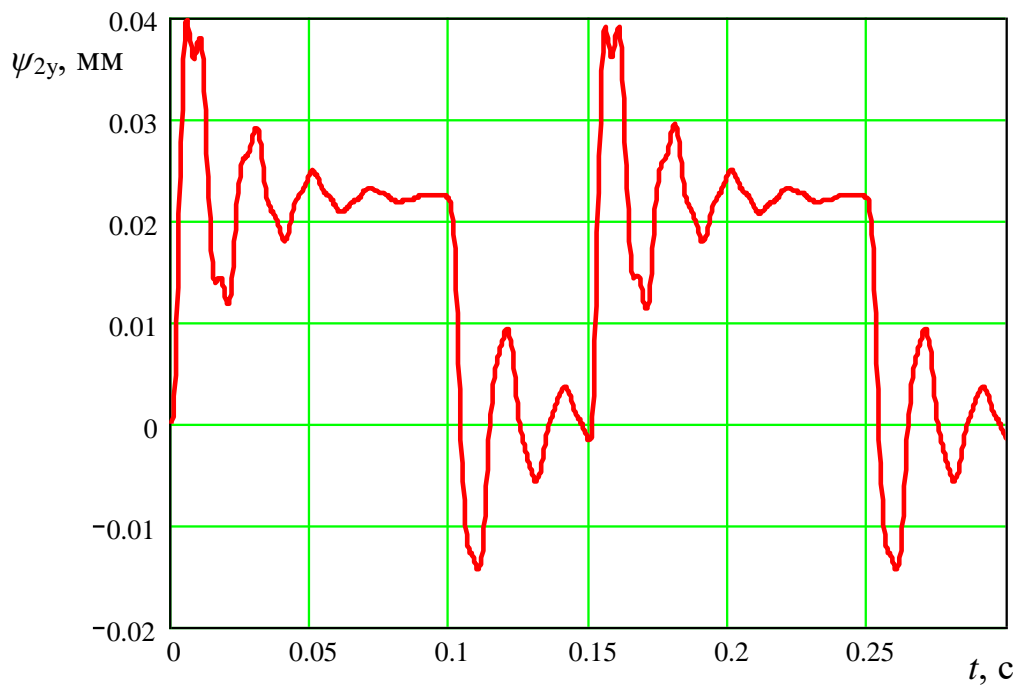


Рисунок 2.7 - Графік зміни лінійної деформації пристрою для кріплення оправки в напрямку вісі  $y$  без спрацювання запобіжного механізму

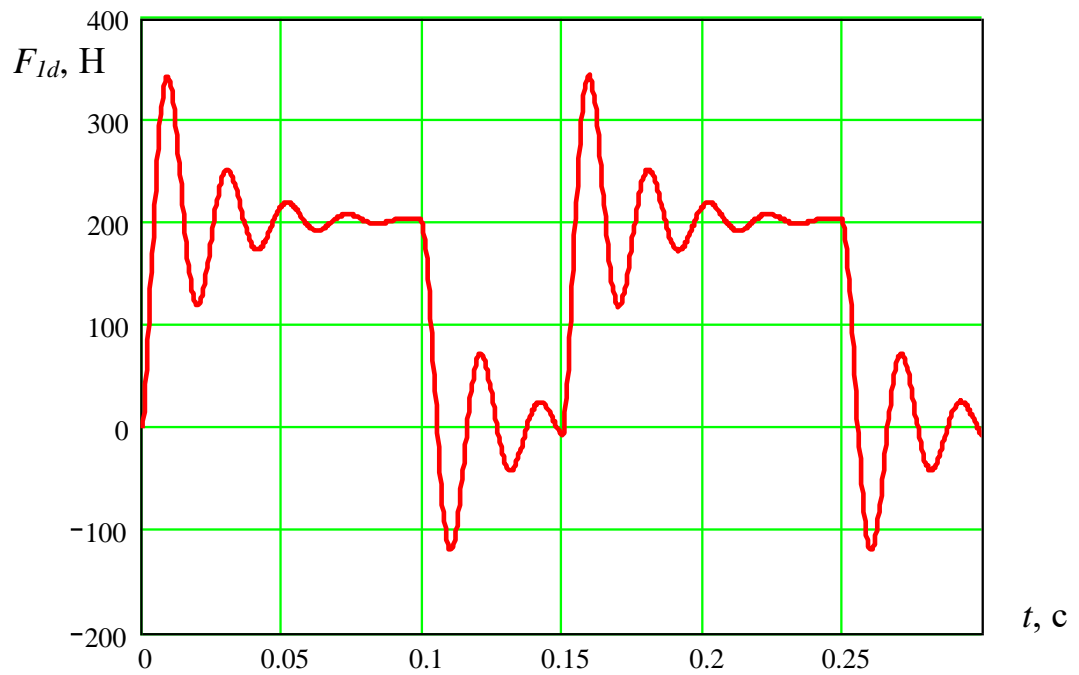


Рисунок 2.8 - Графік зміни динамічного навантаження на рухомій частині оправки для вигладжування поверхонь в напрямку вісі  $y$  без спрацювання запобіжного механізму

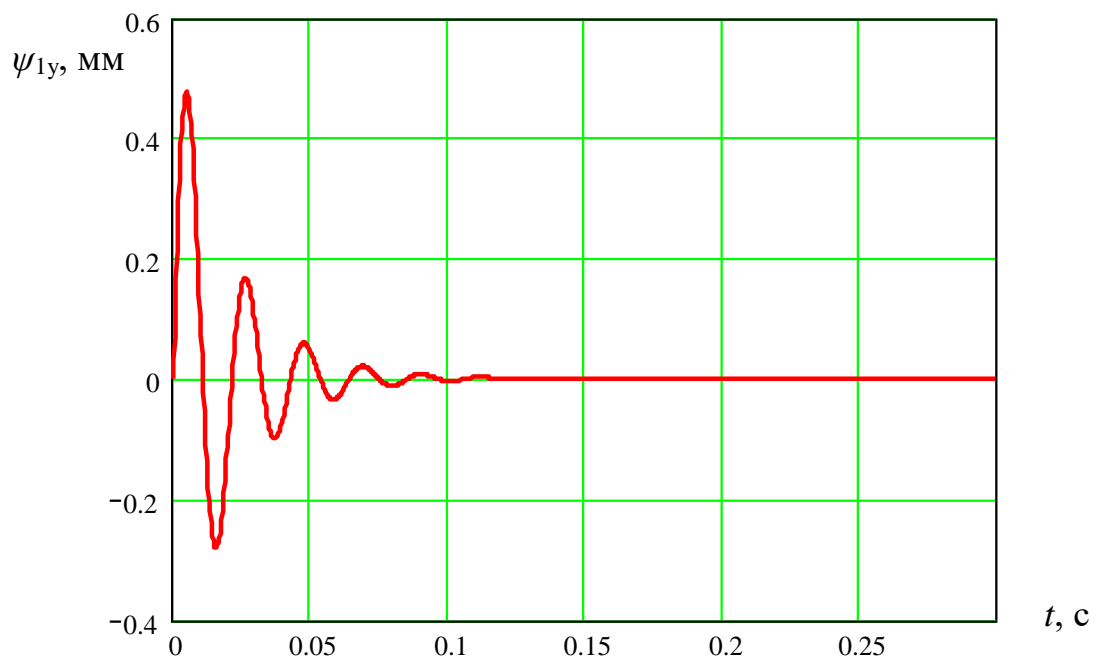


Рисунок 2.9 - Графік зміни лінійної деформації рухомої частини оправки для вигладжування поверхонь в напрямку вісі  $y$  із спрацюванням запобіжного механізму

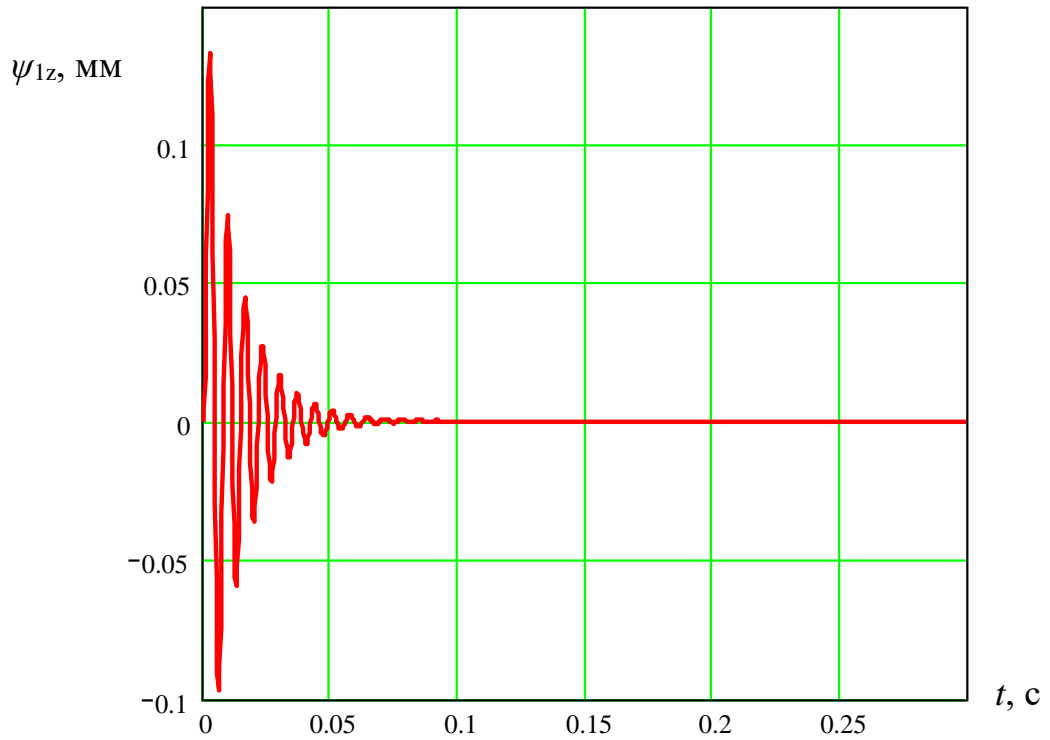


Рисунок 2.10 - Графік зміни лінійної деформації рухомої частини оправки для вигладжування поверхонь в напрямку вісі  $z$  із спрацюванням запобіжного механізму

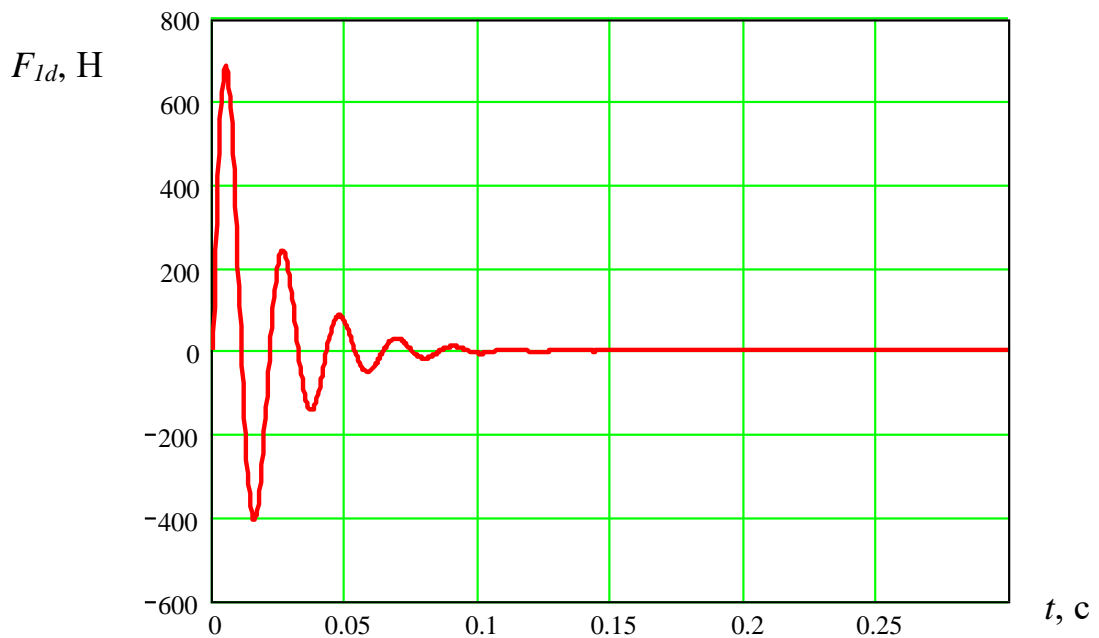


Рисунок 2.11 - Графік зміни динамічного навантаження на рухомій частині оправки для вигладжування поверхонь в напрямку вісі  $y$  із спрацюванням запобіжного механізму

На основі побудованих графіків (рис. 2.5 – рис. 2.11) визначено, що під час початкового етапу контакту між кулькою, що закріплена в оправці та зовнішньою циліндричною поверхнею заготовки для випадку нормальної роботи без спрацювання запобіжного механізму відбувається зростання лінійної деформації рухомої частини оправки в напрямку вісі  $y$  до 0,38 мм з подальшим затуханням коливань на рівні 0,22 мм, при цьому відбувається зростання лінійної деформації пристрою для кріплення оправки в напрямку вісі  $z$  до 0,04 мм з подальшим затуханням коливань на рівні 0,023 мм. Після виходу кульки з контакту із заготовкою відбувається затухаюче коливання рухомої частини оправки відносно нульового рівня. Також відбувається зростання лінійної деформації рухомої частини оправки в напрямку вісі  $z$  до 0,085 мм з подальшим затуханням коливань на рівні 0,03 мм. Максимальне значення динамічного навантаження на рухомій частині оправки для вигладжування поверхонь в напрямку вісі  $y$  без спрацювання запобіжного механізму дорівнює 350 Н, при цьому статичне навантаження дорівнювало 200 Н.

Під час початкового етапу контакту між кулькою, що закріплена в оправці та зовнішньою циліндричною поверхнею заготовки для випадку спрацювання запобіжного механізму відбувається перевищення навантаження на елементи системи вище допустимого рівня із зростання лінійної деформації рухомої частини оправки в напрямку вісі  $y$  до 0,5 мм з подальшим затуханням коливань до нульового рівня. Також відбувається зростання лінійної деформації рухомої частини оправки в напрямку вісі  $z$  до 0,12 мм з подальшим затуханням коливань на нульовому. Максимальне значення динамічного навантаження на рухомій частині оправки для вигладжування поверхонь в напрямку вісі  $y$  із спрацюванням запобіжного механізму дорівнює 700 Н. Запобіжний механізм дозволяє за 0,015 с припинити процес вигладжування поверхні при виникненні надлишкової сили при взаємодії із кулькою та пазом заготовки, що дозволяє уникнути пошкодження обробленої поверхні.

## 2.2. Висновки

В розділі представлено розрахункову схему до динамічної моделі процесу вигладжування перервних циліндричних поверхонь. Визначено умову максимально допустимого значення зміщення кульки у пазі відносно зовнішньої циліндричної поверхні заготовки. Побудовано графіки залежності максимально допустимого значення перекриття циліндричної заготовки та кульки від радіуса кульки та коефіцієнта тертя між поверхнями кульки та циліндричної частини заготовки. Визначено, що збільшення максимально допустиме значення зміщення кульки у пазі відносно зовнішньої циліндричної поверхні заготовки можна досягти, збільшуючи радіус кульки та зменшуючи коефіцієнт тертя між поверхнями кульки та циліндричної частини заготовки, зокрема за рахунок використання у технологічному процесі мастильно-охолоджуючих технологічних середовищ.

Одержано та розв'язано дві системи диференціальних рівнянь для випадку вигладжування поверхні без перевантаження, коли запобіжна частина оправки для вигладжування не спрацьовує та у випадку спрацювання запобіжного механізму, використовуючи чисельний метод Рунге-Кутта із нульовими початковими координатами.

На основі побудованих графіків визначено, що під час початкового етапу контакту між кулькою, що закріплена в оправці та зовнішньою циліндричною поверхнею заготовки для випадку нормальної роботи без спрацювання запобіжного механізму відбувається зростання лінійної деформації рухомої частини оправки в напрямку вісі  $y$  до 0,38 мм з подальшим затуханням коливань на рівні 0,22 мм, при цьому відбувається зростання лінійної деформації пристрою для кріплення оправки в напрямку вісі  $y$  до 0,04 мм з подальшим затуханням коливань на рівні 0,023 мм. Після виходу кульки з контакту із заготовкою відбувається затухаюче коливання рухомої частини оправки відносно нульового рівня. Також відбувається зростання лінійної деформації рухомої частини оправки в напрямку вісі  $z$  до 0,085 мм з подальшим

затуханням коливань на рівні 0,03 мм. Максимальне значення динамічного навантаження на рухомій частині оправки для вигладжування поверхонь в напрямку вісі  $y$  без спрацювання запобіжного механізму дорівнює 350 Н, при цьому статичне навантаження дорівнювало 200 Н.

Під час початкового етапу контакту між кулькою, що закріплена в оправці та зовнішньою циліндричною поверхнею заготовки для випадку спрацювання запобіжного механізму відбувається перевищення навантаження на елементи системи вище допустимого рівня із зростання лінійної деформації рухомої частини оправки в напрямку вісі  $y$  до 0,5 мм з подальшим затуханням коливань до нульового рівня. Також відбувається зростання лінійної деформації рухомої частини оправки в напрямку вісі  $z$  до 0,12 мм з подальшим затуханням коливань на нульовому. Максимальне значення динамічного навантаження на рухомій частині оправки для вигладжування поверхонь в напрямку вісі  $y$  із спрацюванням запобіжного механізму дорівнює 700 Н. Запобіжний механізм дозволяє за 0,015 с припинити процес вигладжування поверхні при виникненні надлишкової сили при взаємодії із кулькою та пазом заготовки, що дозволяє уникнути пошкодження обробленої поверхні.



## 3 ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

### 3.1. Службове призначення деталі

Деталь “Корпус передній” БМД 15.812 служить для базування вала та ущільнень, а також для упора підшипників кочення.

Основними поверхнями деталі є: внутрішня циліндрична поверхня  $\varnothing 85H9 (+^{0,087})$ , Ra 2,5, по якій монтується підшипник вузла. Торцеві поверхні деталі  $89\pm 0,3$ , Ra 12,5, які призначені для обмеження осьового зміщення елементів вузла – підшипників та ущільнень. Два наскрізних отвори  $\varnothing 6H14$ , Ra 12,5 для встановлення обмежувальної вісі. Шпонковий паз 8P9, зовнішня поверхня  $\varnothing 102h8$  призначені для передачі крутильного моменту встановлення зубчастого колеса. Поверхні  $\varnothing 83h14$ , Ra 10 та отвір  $\varnothing 67H14$  є другорядними.

Аналіз технічних вимог представлено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Аналіз технічних вимог

Позначення поверхні (поверхонь)	Зміст технічної вимоги	Метод виконання	Метод контролю
1	2	3	4
1,8	Торцева поверхня $89\pm IT14/2$ ; Ra 12,5	Напівчистова підрізка торця	Штангенциркуль
2	Фаска зовнішня $3\times 45^\circ$ ; Ra 20	Чорнове точіння	Шаблон фасочний $3\times 45^\circ$
3, 4	Отвори $\varnothing 6 H14$ , Ra 12,5	Свердління по кондуктору	Калібр-пробка 8221-3044H14
5	Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 83h14$ , Ra 10	Точіння напівчистове	Штангенциркуль Взірці шорсткості
6	Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 90$ , Rz 200	Не обробляється	Штангенциркуль

Закінчення таблиці 3.1

1	2	3	4
7	Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 102h8, Ra 2,5$	Проточування чистове	Калібр-скоба ( $\varnothing 102$ ) Взірці шорсткості
9	Фаска внутрішня $1,6 \times 45^\circ; Ra 20$	Однократне розточування	Фаскомір спеціальний $1,6 \times 45^\circ$
10	Отвір $\varnothing 85H9,$ $Ra 2,5$	Чистове розточування	Взірці шорсткості Калібр-пробка ( $\varnothing 85$ )
11	Торцева внутрішня поверхня $Ra 5; 29 \pm IT14/2, R1$	Напівчистова підрізка торця	Штангенциркуль
12	Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 78H14,$ $32 \pm IT14/2, Rz 80$	Однократне розточування	Штангенциркуль
13	Торцева поверхня $Rz 80; 38 \pm IT14/2$	Однократна підрізка торця	Штангенциркуль
14	Отвір $\varnothing 67H14,$ $Ra 12,5$	Напівчистове розточування	Штангенциркуль
15	Канавка внутрішня $\varnothing 88,5^{+0,46}, 22, 6^{+0,5},$ $b = 2,2^{+0,25}, Ra 10$	Розточування спеціальним канавочним різцем методом врізання	Шаблон спеціальний (22,6) Штангенциркуль спеціальний
16	Шпонковий паз $8P9_{(-0,065)}^{-0,015};$ $Rz20; 4H12^{(+0,12)};$ $Rz40;$	Фрезерування шпонковою фрезою	Калібр-глибиномір шпонковий 4H12 спеціальний Калібр-пробка шпонковий $8P9_{(-0,065)}^{-0,015}$
17	Шпонковий паз $12D10_{(+0,050)}^{(+0,120)};$ $l=57; Rz20;$ $70,3H11^{(+0,19)}; Rz40$	Протягування	Калібр-глибиномір шпонковий Калібр-пробка шпон- ковий

### 3.2. Вибір способу одержання заготовки

Деталь “Корпус передній” БМД 15.812 виготовляється із сірого чавуну СЧ18, що має хороші ливарні властивості. Тому запропоновано такі способи одержання заготовки:

- 1) лиття в кокіль;
- 2) лиття в піщані форми при машинній формовці.

Для розрахунку маси заготовки використано формулу:

$$Q = q + m_{\text{пр}}, \quad (3.1)$$

$q = 1,68$  – маса деталі, кг;

$$m_{\text{пр}} = V_{\text{пр}} \cdot \rho. \quad (3.2)$$

Результати вибору припусків представлено у таблиці 3.2.

Ескізи запропонованих варіантів литих заготовок представлено на рис. 3.1, 3.2.

Визначаємо об'єми припусків запропонованих варіантів литих заготовок:

- ЛИТТЯ В КОКІЛЬ

$$V_1 = \frac{\pi \cdot (10,56^2 - 8,14^2) \cdot 0,13}{4} = 4,61 \text{ см}^3;$$

$$V_2 = \frac{\pi \cdot (8,56^2 - 6,44^2) \cdot 1,3}{4} = 32,45 \text{ см}^3;$$

$$V_3 = \frac{\pi \cdot (8,56^2 - 8,3^2) \cdot 3,8}{4} = 12,66 \text{ см}^3;$$

$$V_4 = \frac{\pi \cdot (10,56^2 - 10,2^2) \cdot 3,2}{4} = 18,77 \text{ см}^3;$$

$$V_5 = \frac{\pi \cdot (6,7^2 - 6,44^2) \cdot 6}{4} = 16,1 \text{ см}^3;$$

$$V_6 = \frac{\pi \cdot (8,5^2 - 8,14^2) \cdot 2,78}{4} = 13,1 \text{ см}^3;$$

$$V_7 = 5,7 \cdot 1,2 \cdot 0,33 = 2,26 \text{ см}^3;$$

$$V_8 = 2,5 \cdot 0,8 \cdot 0,4 = 0,8 \text{ см}^3;$$

$$V_{\text{заг}} = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + V_6 + V_7 + V_8;$$

$$V_{\text{заг}} = 4,61 + 32,45 + 12,66 + 18,77 + 16,1 + 13,1 + 2,26 + 0,8 = 100,75 \text{ см}^3.$$

Таблиця 3.2 – Припуски деталі “Корпус передній” БМД 15.812

Оброблювана поверхня, її розмір, точність	Параметр шорсткості деталі, мкм	Допуск заготовки, мм	Загальний припуск, мм	Розмір заготовки із граничними відхиленнями
1	2	3	4	5
1) Лиття в кокінь				
Торцева поверхня 89±IT14/2; Ra 12,5	Ra 12,5	0,7	1,3 × 2 = 2,6	91,6±0,35
Зовнішня циліндрична поверхня Ø 83h14, Ra 10	Ra 10	0,7	1,3 × 2 = 2,6	Ø 85,6±0,35
Торцева поверхня Rz 80; 38±IT14/2	Rz 80	0,56	1,2	38,1±0,28
Отвір Ø 67H14, Ra 12,5	Ra 12,5	0,7	1,3 × 2 = 2,6	Ø 64,4±0,35
Отвір Ø 85H9, Ra 2,5	Ra 2,5	0,7	1,8 × 2 = 3,6	Ø 81,4±0,35
Торцева внутрішня поверхня Ra 5; 29±IT14/2, R1	Ra 5	0,56	1,2	27,8±0,28
Зовнішня циліндрична поверхня Ø 102h8, Ra 2,5	Ra 2,5	0,8	1,8 × 2 = 3,6	Ø 105,6±0,4
2) Лиття в піщані форми				
Торцева поверхня 89±IT14/2; Ra 12,5	Ra 12,5	2,8	3,6 × 2 = 7,2	96,2±1,4
Зовнішня циліндрична поверхня Ø 83h13, Ra 10	Ra 10	2,8	3,6 × 2 = 7,2	Ø 90,2±1,4
Отвір Ø 67H14, Ra 12,5	Ra 12,5	2,8	3,6 × 2 = 7,2	Ø 59,8±1,4
Отвір Ø 85H9, Ra 2,5	Ra 2,5	2,8	4,5 × 2 = 9,0	Ø 76±1,4
Торцева внутрішня поверхня Ra 5; 29±IT14/2, R1	Ra 5	2,2	3,2	29,4±1,1
Зовнішня циліндрична поверхня Ø 102h8, Ra 2,5	Ra 2,5	3,2	5 × 2 = 10	Ø 112±1,6

- лиття в піщані форми при машинній формовці:

$$V_1 = \frac{\pi \cdot (11,2^2 - 7,6^2) \cdot 0,36}{4} = 19,12 \text{ см}^3;$$

$$V_2 = \frac{\pi \cdot (9,02^2 - 5,98^2) \cdot 3,6}{4} = 129 \text{ см}^3;$$

$$V_3 = \frac{\pi \cdot (9,02^2 - 8,3^2) \cdot 3,8}{4} = 34,1 \text{ см}^3;$$

$$V_4 = \frac{\pi \cdot (11,2^2 - 10,2^2) \cdot 3,2}{4} = 53,76 \text{ см}^3;$$

$$V_5 = \frac{\pi \cdot (6,7^2 - 5,98^2) \cdot 6}{4} = 45,3 \text{ см}^3;$$

$$V_6 = \frac{\pi \cdot (8,5^2 - 7,6^2) \cdot 2,94}{4} = 29,3 \text{ см}^3;$$

$$V_7 = 5,7 \cdot 1,2 \cdot 0,33 = 2,26 \text{ см}^3;$$

$$V_8 = 2,5 \cdot 0,8 \cdot 0,4 = 0,8 \text{ см}^3;$$

$$V_{\text{заг}} = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + V_6 + V_7 + V_8;$$

$$V_{\text{заг}} = 19,20 + 129 + 34,1 + 53,76 + 45,3 + 29,3 + 2,26 + 0,8 = 313,72 \text{ см}^3.$$

Загальні маси припусків:

– лиття в кокіль:

$$m_{\text{пр1}} = 100,75 \cdot 7,2 = 725,4 \text{ г} = 0,725 \text{ кг}.$$

– лиття в піщані форми при машинній формовці:

$$m_{\text{пр2}} = 313,72 \cdot 7,2 = 2258,8 \text{ г} = 2,26 \text{ кг}.$$

Відповідно з формули (3.1) визначаємо маси заготовок:

– лиття в кокіль:

$$Q_1 = 1,68 + 0,72 = 2,4 \text{ кг}$$

– лиття в піщані форми при машинній формовці:

$$Q_2 = 1,68 + 2,26 = 3,94 \text{ кг}$$

Коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_{\text{в.м.}} = \frac{q}{Q}, \quad (3.3)$$

– лиття в кокіль:

$$K_{\text{в.м.1}} = \frac{1,68}{2,4} = 0,7.$$

– лиття в піщані форми при машинній формовці:

$$K_{\text{в.м.2}} = \frac{1,68}{3,94} = 0,43.$$

В результаті аналізу в умовах крупносерійного типу виробництва деталі “Корпус передній” БМД 15.812 вибрано лиття в кокіль.

### 3.3. Формування технологічного процесу

Здійснено проектування технологічного процесу механічної обробки деталі “Корпус передній” БМД 15.812.

005. Токарно-напівавтоматна.

1. Підрізати торець 1, витримуючи розмір  $90,3 \pm 0,7$  мм з поперечного супорта.
2. Точити остаточно поверхню 5 із підрізкою торця 13, витримуючи розміри  $\varnothing 83h13_{(-0,54)}$ ;  $38 \pm 0,3$  з поздовжнього супорта.
3. Розточити отвір 14, витримуючи розміри  $\varnothing 67H14^{(+0,46)}$ ;  $57 \pm 0,3$  з поздовжнього супорта.

4. Точити фаску 2, витримуючи розмір  $3 \times 45^\circ$  з поперечного супорта.
5. Перевірити розміри:  $90,3 \pm 0,7$  мм;  $\varnothing 83h13_{(-0,54)}$ ;  $38 \pm 0,3$ ;  $\varnothing 67H14^{(+0,46)}$ ;  $57 \pm 0,3$ ;  $3 \times 45^\circ$ .

Контроль 30 %.

#### 010. Токарно-напівавтоматна

1. Підрізати торець 8, витримуючи розмір  $89 \pm 0,3$  мм з поперечного супорта.
2. Розточити попередньо отвір 10 з підрізкою торця 11, витримуючи розміри  $\varnothing 84,6H12^{(+0,35)}$ ;  $29 \pm 0,2$  з поздовжнього супорта.
3. Розточити остаточно отвір 10, витримуючи розміри  $\varnothing 85H9^{(+0,087)}$ ;  $29 \pm 0,2$  з поздовжнього супорта.
4. Розточити фаску 9 та поверхню 12, витримуючи розміри  $1,6 \times 45^\circ$ ;  $\varnothing 78$ ;  $l = 3$  мм з поздовжнього супорта одночасно.
5. Розточити канавку 15, витримуючи розміри  $\varnothing 85,5^{+0,46}$ ;  $2,2^{+0,25}$  з поздовжнього супорта.
6. Зняти деталь.
7. Перевірити розміри:  $89 \pm 0,3$ ;  $\varnothing 84,6H12^{(+0,35)}$ ;  $\varnothing 85H9^{(+0,087)}$ ;  $29 \pm 0,2$ ;  $1,6 \times 45^\circ$ ;  $\varnothing 78$ ;  $\varnothing 85,5^{+0,46}$ ;  $2,2^{+0,25}$ .

Контроль 30 %.

#### 015. Горизонтально-протяжна.

1. Протягнути шпонковий паз 17, витримуючи розміри  $12D10^{(+0,120}_{+0,050)}$ ;  $l=57$ ;  $70,3H11^{(+0,19)}$ .
2. Перевірити розміри:  $12D10^{(+0,120}_{+0,050)}$ ;  $l=57$ ;  $70,3H11^{(+0,19)}$ .

#### 020 Операція. Вертикально-свердлильна.

1. Свердлити отвір 3, витримуючи розміри  $\varnothing 6H14$ ;  $l = 8$  мм.
2. Повернути деталь на  $180^\circ$ .
3. Свердлити отвір 4, витримуючи розміри  $\varnothing 6H14$ ;  $l = 8$  мм;  $25 \pm 0,2$ .
4. Перевірити розміри:  $\varnothing 6H14$ ;  $l = 8$  мм;  $25 \pm 0,2$ .

#### Операція 025. Шпонково-фрезерна.

1. Фрезерувати шпонковий паз 16, витримуючи розміри  $8P9_{-0,065}^{-0,015}$ ;  $4H12^{+0,12}$   $25H14^{+0,52}$ .

2. Перевірити розміри:  $8P9_{-0,065}^{-0,015}$ ;  $4H12^{+0,12}$   $25H14^{+0,52}$ .

030 Контроль.

### 3.4. Визначення припусків на оброблення

Результати оформлено у вигляді таблиці 3.4.

Габаритні розміри заготовки:  $\varnothing 105,6 \pm 0,4 \times 91,6 \pm 0,35$  мм.

Схема розташування припусків та допусків для поверхні  $\varnothing 85H9$  представлена на рис. 3.3.

Таблиця 3.4 – Розрахункові припуски

Технологічні операції і переходи обробки поверхонь деталі	Квалітет (ступінь точності)	Шорсткість, мкм	Допуск, мм	Припуск, мм	Операційні (проміжні) розміри із граничними відхиленнями
1	2	3	4	5	6
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 83h14$					
Напівчистове точіння	14	Ra 10	0,54	–	$\varnothing 83_{-0,54}$
Заготовка	6-тий клас	Rz 200	0,7	$1,3 \times 2 = 2,6$	$\varnothing 85,6 \pm 0,35$
Торцева поверхня $89 \pm IT14/2$ ;					





Рисунок 3.3 – Схема розташування припусків та допусків для поверхні  
 $\varnothing 85H9$

Продовження таблиці 3.4

1	2	3	4	5	6
Напівчистове точіння	IT14/2	Ra 12,5	0,3	–	89±0,3
Заготовка	6-тий клас	Rz 200	0,7	1,3 × 2 = 2,6	91,6±0,35
Торцева поверхня ; 38±IT14/2					
Однократне точіння	IT14/2	Rz 80	0,3	–	38±0,3
Заготовка	6-тий клас	Rz 200	0,56	1,2	36,8±0,28
Отвір $\varnothing 67H14$					
Напівчистове розточування	14	Ra 12,5	0,74		$\varnothing 67^{+0,74}$
Заготовка	6-тий клас	Rz 200	0,7	1,3 × 2 = 2,6	$\varnothing 64,4 \pm 0,35$
Торцева внутрішня поверхня 29±IT14/2					
Напівчистове розточування	IT14/2	Ra 5	0,2	–	29±0,2

### Закінчення таблиці 3.4

Заготовка	6-тий клас	Rz 200	0,56	1,2	27,8±0,28
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 102h8$					
Чистове точіння	8	Ra 2,5	0,054	0,2 × 2 = 0,4	$\varnothing 102_{-0,054}$
Напівчистове точіння	14	Ra 10	0,87	1,6 × 2 = 3,2	$\varnothing 102,4_{-0,87}$
Заготовка	6-тий клас точності	Rz 200	0,8	1,8 × 2 = 3,6	$\varnothing 105,6 \pm 0,4$

### 3.5. Визначення режимів різання

Результати розрахунку режимів різання деталі “Корпус передній” БМД 15.812 подано у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Режими різання технологічного процесу виготовлення деталі “Корпус передній” БМД 15.812

Номер, назва операції, зміст переходу	t, мм	L, мм	i	T <sub>м</sub> , хв	S, мм/об	n, об/хв	V, м/хв	S <sub>м</sub> , мм/хв	T <sub>о</sub> , хв	N, кВт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<b>005 Токарна напівавтоматна</b>										
Перехід 2. Підрізати торець 1, витримуючи розмір 90,3±0,7 мм з поперечного супорта	1,3	16,6	1	97	0,15	284	75,27	–	0,39	1,55
Перехід 3. Точити остаточно поверхню 5 із підрізкою торця 13, витримуючи розміри $\varnothing 83h14_{(-0,87)}$ ; 38±0,3 з поздовжнього супорта	1,3	41	1	154	0,37	284	74,7	–	0,39	1,6
Перехід 4. Розточити отвір 14, витримуючи розміри $\varnothing 67H14^{(+0,46)}$ ; 57±0,3 з поздовжнього супорта	1,3	60	1	154	0,55	282	59,5	–	0,39	1,27

Продовження таблиці 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Перехід 5. Точити фаску 2, витримуючи розмір 3×45° з поперечного супорта	3,0	16,35	1	77	0,15	284	74	–	0,39	3,23
010 Токарна напівавтоматна										
Перехід 2. Підрізати торець 8, витримуючи розміри 89±0,3 мм з поперечного супорта	1,3	16	1	98	0,26	229	74	–	0,27	1,43
Перехід 3. Розточити попередньо отвір 10 з підрізкою торця 11, витримуючи розміри $\varnothing 84,6H12^{(+0,35)}$ ; 29±0,2 з поздовжнього супорта; точити попередньо поверхню 7, витримуючи розмір $\varnothing 102,4 h14_{(-0,87)}$ з поздовжнього супорта	0,3	30,3	1	154	0,49	229	60,7	–	0,27	1,3
	1,6	36	1	154	0,49	229	81	-	0,27	2,1
Перехід 4. Розточити остаточно отвір 10, витримуючи розміри $\varnothing 85H9^{(+0,087)}$ ; 29±0,2 з поздовжнього супорта; точити остаточно поверхню 7, витримуючи розмір $\varnothing 102 h8_{(-0,054)}$ з поздовжнього супорта	0,2	30	1	154	0,48	229	60,81	–	0,27	0,2
	0,2	36	1	154	0,48	229	79,7	-	0,27	0,2
Перехід 5. Розточити фаску 9 та поверхню 12, витримуючи розміри 1,6×45°; $\varnothing 78$ ; l = 3 мм з поздовжнього супорта одночасно	5,5 1,6	9,3	1	68	0,15	229	55,9	–	0,27	4,03

## Продовження таблиці 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Перехід 6. Розточити канавку 15, витримуючи розміри $\varnothing 85,5^{+0,46}$ ; $2,2^{+0,25}$ з поздовжнього супорта	2,2	27,0 5	1	54	0,44	229	63,6	–	0,27	1,2
015 Горизонтально-протяжна										
Протягнути шпонковий паз 17, витримуючи розміри $12D10^{(+0,120}_{+0,050)}$ ; $l=57$ ; $70,3H11^{(+0,19)}$	3,3	710	1	56	$S_z =$ 0,04 мм	–	5	–	0,18	0,52
020 Вертикально-свердлильна										
Свердлити отвір 3, витримуючи розміри $\varnothing 6H14$ ; $l = 8$ мм Повернути деталь Свердлити отвір 4, витримуючи розміри $\varnothing 6H14$ ; $l = 8$ мм; $25 \pm 0,2$	3,0	14	2	24	0,14	704	18,92	–	0,26	0,72
025 Шпонково-фрезерна										
Фрезерувати шпонковий паз 16, витримуючи розміри $8P9^{(-0,015}_{-0,065)}$ ; $4H12^{(+0,12)}$ $25H14^{(+0,52)}$	0,2	25	20	64	$S_z$ мм/зуб 0,0625	804	21	402	2,5	0,7

Результати розрахунку технічних норм часу технологічного процесу виготовлення деталі “Корпус передній” БМД 15.812 подано у таблиці 3.6 та на графіку завантаження обладнання (рис. 3.4).

Таблиця 3.6 – Норми часу на механічну обробку деталі “Корпус передній”

БМД 15.812

Номер та назва операції	$T_o$ , хв	Допоміжний час, $T_d$ , с.			Час циклу напівавтомата, $T_{ц}$ , хв	Час обслуговування, $T_{об}$ , хв		$T_{відп}$ , хв	$T_{шт.}$ , хв
		$T_1$	$T_2$	$T_{3,5}$		$T_{тех.об.}$	$T_{орг.об.}$		
005 Токарна напівавтоматна	0,39	3,85	2	2,5	0,62	0,0078	0,018	0,0372	0,68
010 Токарна напівавтоматна	0,27	3,85	2	2,5	0,5	0,0054	0,0145	0,03	0,55
015 Горизонтально-протяжна	0,18								0,3
020 Вертикально-свердлильна	0,26	–	–	–	–	–	–	–	0,34
025 Шпонково-фрезерна	2,5	–	–	–	–	–	–	–	3,77

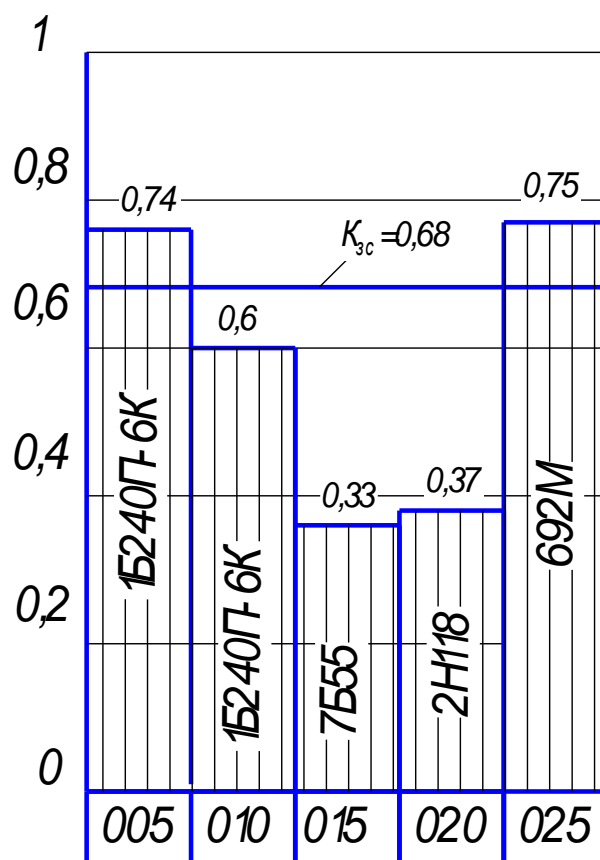


Рисунок 3.4 – Графік завантаження обладнання

### 3.6. Розрахунок пристосування

Для свердління двох отворів  $\varnothing 6\text{мм}$  довжиною 16мм, витримуючи розмір 14мм в деталі “Корпус передній” БМД 15.812 на 020 вертикально-свердлильній операції спроектовано спеціальний кондуктор.

Кондуктор є поворотним, що дозволяє за одну установку обробити два отвори, розміщених на одній вісі. Деталь в пристосуванні базується на цангу 18 по центральному отвору  $\varnothing 67\text{H}14$  з упором в торець, а також пазом 12 на шпонку 17.

Похибка базування на розмір 0,1 мм буде залежати від точності отворів  $\varnothing 25\text{H}8^{(+0,033)}$  (їх розташування). Допуск на розмір кута  $180^\circ$  становить  $3'30'' = 0,06^\circ$ .

Переводимо градуси в міліметри:

$$A_{Th} = A_{T\alpha} \cdot L \cdot 10^{-3}, \quad (3.4)$$

де  $A_{T\alpha}$  – допуск на кут  $180^\circ$ ,  $A_{T\alpha} = 0,06^\circ$ ;

$L$  – радіус міжосьової відстані  $\varnothing 144$  отворів  $\varnothing 25\text{H}8$ ;  $L = 72$  мм.

$$A_{Th} = 0,06 \cdot 72 \cdot 10^{-3} = 0,004 \text{ мм.}$$

Похибка установки:

$$\Delta \varepsilon_{y0,1} = \sqrt{4^2 + 40^2 + 15^2} = 43 \text{ мкм} = 0,043 \text{ мм.}$$

Умова виконання точності розміру 0,1 мм ( $0,043\text{мм} < 0,1 \text{ мм}$ ) виконується.

Для розрахунку сили затиску деталі на вертикально-свердлильній операції 020 при свердлінні двох отворів  $\varnothing 6\text{H}14^{(+0,3)}\text{мм}$  розроблено розрахункову схему на рис. 3.5.

Сила затиску деталі цангою [20]:

$$N = (Q + Q_1) \operatorname{tg} \left( \frac{\alpha}{2} + \varphi \right), \quad (3.5)$$

де  $Q$  – сила затиску заготовки;

$Q_1$  – сила стискання пелюстка цанги;

$\alpha$  – кут конуса цанги  $\alpha = 15^\circ$  [24].

$\varphi$  – кут тертя;  $\varphi = 8^\circ$  [24].

Сила затиску заготовки [20] :

$$Q = \frac{k}{f} \frac{2M_{кр}}{D}, \quad (3.6)$$

де  $D = 67$  мм;

$M_{кр}$  – момент різання, Н·м.

Сила стискання пелюстка цанги [20] :

$$Q_1 = 0,17 \cdot 10^3 \frac{t \cdot d^3 \cdot S_{max}}{l^3}, \quad (3.7)$$

де  $l = 80$  мм;

$t = 6$  мм;

$d = 67$  мм;

$S_{max} = 0,1$  мм [20].

Момент різання [16] :

$$M_{кр} = 10 \cdot C_M \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p, \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (3.8)$$

де  $D = 6$  мм;

$S = 0,14$  мм/об;

$K_p = 1,0$  [16];

$C_M = 0,015$ ;  $y = 0,8$ ;  $q = 2,2$  [16].

Підставляємо отримані значення отримаємо:

$$M_{різ} = 10 \cdot 0,015 \cdot 6^{2,2} \cdot 0,14^{0,8} \cdot 1,0 = 1,6 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Коефіцієнт запасу  $k = 3,12$ .

Визначаємо силу затиску заготовки :

$$Q = \frac{3,12 \cdot 2 \cdot 1,6}{0,067} = 149 \text{ Н.}$$

Визначаємо силу стискання пелюстка цанги:

$$Q_1 = 0,17 \cdot 10^3 \frac{6 \cdot 76^3 \cdot 0,1}{80^3} = 0,17 \cdot 0,51 \cdot 10^3 = 87,45 \text{ Н.}$$

Необхідна сила затиску деталі:

$$N = (149 + 87,45) \cdot \text{tg}(7,5 + 8) = 69,2 \text{ Н.}$$



## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 4.1. Характеристика дільниці механічної обробки деталі, що проектується з точки зору охорони праці

На дільниці виготовлення деталі “Корпус передній” БМД 15.812 порядок розташування устаткування і відстані між верстатами визначені розмірами верстатів, технологічними вимогами і вимогами техніки безпеки. До устаткування, що має електропривід є вільний підхід з усіх сторін шириною 1м зі сторони робочої зони та 0,6м – зі сторони неробочої зони.

При розробці плану виробничої дільниці враховані наступні вимоги:

1) Технологічне устаткування розміщено таким чином, що забезпечується потоковість виробничого процесу.

2) Розміщення технологічного устаткування, проходів та проїздів гарантує зручність та безпеку праці, можливість монтажу, демонтажу та ремонту устаткування.

3) Технологічне устаткування розміщено у відповідності із запроєктованими підйомно-транспортними засобами.

4) Робочі місця оснащені згідно з вимогами наукової організації праці. Передбачені місця для міжопераційного накопичування заготовок та напівфабрикатів.

5) На робочих місцях передбачена площа, на якій розміщуються стелажі, тара, столи.

Дана дільниця спроектована так, що дає можливість реконструкції та технічного переоснащення виробництва, зміни технологічних процесів та переходу на нові види продукції.

Будівля відноситься до категорії робіт II а, для якої ступінь вогнестійкості III а.

Ширина виходу з приміщення 1,2м, а висота 2,2м. Ширина основних проходів всередині дільниці 1,5м, а ширина проїздів 2,5м.

Двері, що ведуть безпосередньо назовні, обладнані тамбуром (повітряними

завісами).

З метою запобігання травматизму на ділянці застосовується попереджувальне фарбування будівельних конструкцій та знаки безпеки.

Для захисту внутрішніх поверхонь конструкції приміщення від дії вологи використовується олійна фарба.

Підлога виробничого приміщення щільна, зносостійка, вогнестійка, через неї в інші приміщення не повинна проникати вода, мастила, шкідливі речовини, гази.

Мікрокліматичні умови на ділянці:

- температура повітря  $t = (20..25)^\circ \text{C}$ ;
- відносна вологість  $\Theta = (40..60) \%$ ;
- барометричний тиск  $P = (0,9... 1,06) \cdot 10^5 \text{ Па}$ ;
- швидкість руху повітря  $V = 0,2 \text{ м/с}$  в холодний період року,  $V = 0,3 \text{ м/с}$  в теплий період року;
- інтенсивність тепловою опромінення від нагрітих поверхонь технологічного обладнання, освітлених установок  $70 \text{ Вт/м}^2$ .

У виробничому та допоміжному приміщеннях передбачена вентиляція, яка забезпечує вищеперелічені параметри мікроклімату. В даному випадку застосована витяжна вентиляція загальнообмінна, так як на ділянці відсутні шкідливі виділення і необхідна мала кількість повітрообміну. Крім того, на ділянці є природна організована вентиляція.

На ділянці для компенсування втрат тепла спроектована центральна водяна система опалення низького тиску.

Вибір системи природного освітлення визначено об'ємно-планувальним рішенням будівлі, характеристиками технологічного процесу та зорової роботи, що виконується в приміщенні, а саме на ділянці 2-х стороннє бокове освітлення. При цьому ширина вікон 4,5 м, висота підвіконника 1,5 м.

Штучне освітлення передбачається як на даній ділянці так і у побутових приміщеннях для компенсації нестачі природного світла та для освітлення приміщень у темний період доби. Загальне освітлення становить  $E_p = 300 \text{ лк}$ ;

евакуаційне освітлення  $E_{св} = 0,5$  лк, аварійне освітлення  $E_{ав.} = 2$  лк в середині приміщення, та  $E_{ав.} = 1$  лк на території, охоронне освітлення  $E = 0,5$  лк на рівні землі.

На кожному верстаті встановлено місцеве (штучне) освітлення лампами розжарювання.

Забороняється при виконанні робіт користуватися тільки місцевим освітленням.

Джерелом штучного освітлення є газорозрядні лампи низького (люмінесцентні) тиску. Для механічних цехів використовують газорозрядні лампи високого тиску типу ДРЛ, при цьому використовують світильники прямого світла ЛСП06. В даному випадку використані лампи ДРЛ-65.

Експлуатація технологічного оснащення пов'язана з виникненням шумів та вібрацій різної частоти та інтенсивності, а вони справляють несприятливий вплив на організм людини. На ділянці параметри шуму та вібрацій на робочих місцях відповідають допустимим нормам.

Все технологічне обладнання заземлене. Захист від прямих ударів блискавок та вторинного прояву атмосферної електрики забезпечено влаштуванням блискавковідводів та заземленням обладнання, яке знаходиться на ділянці. Захист будівлі від прямих ударів блискавок виконано окремо розташованими стержневими (тросовими) блискавковідводами, які встановлені на будівлі. На ділянці заземлювачі захисного заземлення технологічного обладнання об'єднані з захистом від прямого удару блискавок.

Протипожежний водогін об'єднаний з господарсько-житловим (виробничим) водоогоном. Втрати води на гасіння пожежі для сиринклерних установок, внутрішніх пожежних кранів та зовнішніх гідрантів розраховано на тривалість гасіння пожежі – 2 год., при цьому прийнято протипожежний водогін низького тиску.

На ділянці на випадок пожежі передбачена евакуація людей через евакуаційні виходи, які розташовані розосереджено. В нашому випадку спроектовано 2 евакуаційні виходи.

## **4.2. Вимоги до розміщення та будівництва промислового підприємства для запобігання надзвичайним ситуаціям**

Нові важливі промислові підприємства повинні будуватись за межами зони можливих сильних руйнувань (за межами міської забудови) [32]. У місті можна будувати лише підприємства, необхідні для обслуговування населення та потреб промислового, комунального, дорожнього та житлово-цивільного будівництва. При виборі місця будівництва об'єкта необхідно враховувати наявність поблизу підприємств, які можуть бути джерелом небезпеки (гідровузли, хімічні підприємства та ін.), рельєф місцевості, сейсмічність району, пануючі вітри та ін.

Проектування і будівництво нових промислових об'єктів здійснюється відповідно до таких вимог. Будівлі і споруди на об'єкті необхідно розміщувати розосереджено. Відстані між будівлями повинні забезпечувати протипожежні розриви з метою виключення можливості перенесення вогню з однієї будівлі на іншу.

Найбільш важливі виробничі споруди потрібно будувати заглибленими або зниженої етажності, прямокутної форми в плані. Це збільшить їх опірність до впливу ударної хвилі при вибухах. Хорошою стійкістю до впливу ударної хвилі володіють малоповерхові залізобетонні будівлі з металевими каркасами в бетонній опалубці.

Для підвищення стійкості до світлового випромінювання в будівлях, що будуються, і спорудах повинні застосовуватися вогнестійкі конструкції, а також вогнезахисна обробка елементів будівель, які горять. У складських приміщеннях повинна бути мінімальна кількість вікон і дверей. Складські приміщення для зберігання речовин, які легко запалюються (бензин, газ, нафта, мазут) повинні розміщуватися в окремих блоках заглибленого або напівзаглибленого типу на кордоні території об'єкта або за її межами. Деякі види унікального технологічного обладнання доцільно розміщувати в

найміцніших спорудах (підвальних і підземних цехах та спорудах) або застосовувати для їх захисту спеціальні захисні ковпаки. При будівництві і реконструкції підприємств, що мають вибухонебезпечні і небезпечні хімічні речовини, необхідно передбачати захист ємностей та комунікацій від руйнування ударною хвилею і конструкціями, що руйнуються, а також заходи, що виключають розлив вибухонебезпечних рідин. Душеві приміщення і місця для миття машин необхідно проектувати з урахуванням їх застосування для санітарної обробки людей та знезараження техніки і автотранспорту. Всі дороги на території об'єкта повинні бути з твердим покриттям і забезпечувати зручне і найкоротше сполучення між виробничими будівлями, спорудами і складами. На територію об'єкта повинне бути не менш двох в'їздів з різних напрямів.

Внутрішньозаводські залізничні шляхи повинні забезпечувати найбільш просту схему руху, займати мінімальну площу і мати випереджувальні ділянки. Системи побутової і виробничої каналізації повинні мати не менш двох випусків в міській каналізаційній мережі і пристрої для аварійних скидів в спеціально обладнані котловани.

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі представлено розрахункову схему до динамічної моделі процесу вигладжування перервних циліндричних поверхонь. Визначено умову максимально допустимого значення зміщення кульки у пазі відносно зовнішньої циліндричної поверхні заготовки. Побудовано графіки залежності максимально допустимого значення перекриття циліндричної заготовки та кульки від радіуса кульки та коефіцієнта тертя між поверхнями кульки та циліндричної частини заготовки. Визначено, що збільшення максимально допустиме значення зміщення кульки у пазі відносно зовнішньої циліндричної поверхні заготовки можна досягти, збільшуючи радіус кульки та зменшуючи коефіцієнт тертя між поверхнями кульки та циліндричної частини заготовки, зокрема за рахунок використання у технологічному процесі мастильно-охолоджуючих технологічних середовищ.

Одержано та розв'язано дві системи диференціальних рівнянь для випадку вигладжування поверхні без перевантаження, коли запобіжна частина оправки для вигладжування не спрацьовує та у випадку спрацювання запобіжного механізму, використовуючи чисельний метод Рунге-Кутта із нульовими початковими координатами.

На основі побудованих графіків визначено, що під час початкового етапу контакту між кулькою, що закріплена в оправці та зовнішньою циліндричною поверхнею заготовки для випадку нормальної роботи без спрацювання запобіжного механізму відбувається зростання лінійної деформації рухомої частини оправки в напрямку вісі  $y$  до 0,38 мм з подальшим затуханням коливань на рівні 0,22 мм, при цьому відбувається зростання лінійної деформації пристрою для кріплення оправки в напрямку вісі  $y$  до 0,04 мм з подальшим затуханням коливань на рівні 0,023 мм. Після виходу кульки з контакту із заготовкою відбувається затухаюче коливання рухомої частини оправки відносно нульового рівня. Також відбувається зростання лінійної деформації рухомої частини оправки в напрямку вісі  $z$  до 0,085 мм з подальшим

затуханням коливань на рівні 0,03 мм. Максимальне значення динамічного навантаження на рухомій частині оправки для вигладжування поверхонь в напрямку вісі  $y$  без спрацювання запобіжного механізму дорівнює 350 Н, при цьому статичне навантаження дорівнювало 200 Н.

Під час початкового етапу контакту між кулькою, що закріплена в оправці та зовнішньою циліндричною поверхнею заготовки для випадку спрацювання запобіжного механізму відбувається перевищення навантаження на елементи системи вище допустимого рівня із зростання лінійної деформації рухомої частини оправки в напрямку вісі  $y$  до 0,5 мм з подальшим затуханням коливань до нульового рівня. Також відбувається зростання лінійної деформації рухомої частини оправки в напрямку вісі  $z$  до 0,12 мм з подальшим затуханням коливань на нульовому. Максимальне значення динамічного навантаження на рухомій частині оправки для вигладжування поверхонь в напрямку вісі  $y$  із спрацюванням запобіжного механізму дорівнює 700 Н. Запобіжний механізм дозволяє за 0,015 с припинити процес вигладжування поверхні при виникненні надлишкової сили при взаємодії із кулькою та пазом заготовки, що дозволяє уникнути пошкодження обробленої поверхні.

Розроблено технологічний процес виготовлення корпусу переднього БМД 15.812.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кухарський О. М., Кушак І. В. Методичний посібник до курсового проекту по курсу “Технологія машинобудування”. Тернопіль, 2001. 58 с.
2. Пилипець М.І., Комар Р.В. Технологічні методи виробництва заготовок деталей машин. Тернопіль, 2019. 58 с.
3. Паливода Ю. Є. Заготовки у машинобудівному виробництві : навчально-методичний посібник / Паливода Ю.Є., Дячун А.Є. Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2023. 148 с.
4. Боженко Л. І. Технологія виробництва заготовок у машинобудуванні. Київ: НМК ВО, 1990. 264 с.
5. Добрянський С. С., Малафеев Ю. М. Методичні вказівки до лабораторних занять та самостійної роботи з дисципліни «Проектування та виробництво заготовок» Частина І. Розробка креслення та технології виготовлення литої заготовки. К.: НТУУ «КПІ», 2012. 71 с.
6. Кухарський, О. М., Кузьмін М. І. Визначення припусків табличним методом. Тернопіль : Видавництво ТДТУ, 2004. 135 с.
7. Паливода Ю. Є., Кухарський О. М. Визначення припусків розрахунково-аналітичним методом, Тернопіль, 2003. 81 с.
8. Розмірні ланцюги: навчально-методичний посібник / Укладачі : Паливода Ю.Є., Дячун А.Є., Капаціла Ю.Б, Ткаченко І.Г. – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2018. – 132 с.
9. Паливода Ю. Є., Ткаченко І. Г., Капаціла Ю. Б., Гевко Ів. Б. Технологія оброблення корпусних деталей : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2016. 156 с.
10. Методичні вказівки до практичних занять та самостійної роботи з дисциплін “Теоретичні основи технології виробництва деталей та складання машин ” та “Технологія машинобудування” для студентів спеціальностей 131 “Прикладна механіка” і 133 “Галузеве машинобудування” на тему “Структура технологічного процесу. Принципи побудови технологічних операцій” / Укладачі : Паливода Ю.Є., Дячун А.Є. - Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. – 53 с.



11. Дячун А. Є. Методичний посібник з виконання курсового проекту з дисципліни «Технологія обробки типових деталей та складання машин» / А. Є. Дячун, Ю. Б. Капаціла, Ю. Є. Паливода, І. Г. Ткаченко. Тернопіль : ТНТУ, 2016. 75 с.
12. S.D. Slavov, D.M. Dimitrov, M.Iv. Konsulova-Bakalova. Advances in burnishing technology. *Advanced Machining and Finishing*. 2021. p. 481- 525.
13. Жидецький В. Ц., Джигирей В. Ц., Мельников О. В. Основи охорони праці : навчальний посібник. Львів: Афіша, 2000. 350 с.
14. Жидецький В. Ц. Практикум із охорони праці : Навчальний посібник. Львів: Афіша, 2000. 349 с.
15. Rao D.S., Hebbar H.S., Komaraiah M. Surface hardening of high-strength low alloy steels (HSLA) dual-phase steels by ball burnishing using factorial design. *Mater Manuf Processes* 2007. 22. p. 825–829.
16. Паливода Ю.Є., Дячун А.Є., Лещук Р.Я. Інструментальні матеріали, режими різання і технічне нормування механічної обробки : навчальний посібник. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. 240 с.
17. Домарецький О., Домарецький І. Результати експериментальних досліджень шліфування плоскої поверхні переривчастим шліфувальним кругом. Матеріали VI Міжнародної студентської науково-технічної конференції "Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання": 27-28 квітня 2023 р.: тези доп. Тернопіль: вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2023. С. 225.
18. Abu Shreehah TA. Developing and investigating of elastic ball burnishing tool. *Int J Adv Manuf Technol*. 2008. 36. p. 270–279.
19. Basak H, Goktas HH. Burnishing process on Al-alloy and optimization of surface roughness and surface hardness by fuzzy logic. *Mater Des*. 2009. 30. p. 1275–1281.
20. Дичковський М. Г. Технологічна оснастка. Проектно-конструкторські розрахунки пристосувань: навч. посіб. Тернопіль : ТДТУ, 2001. 277 с.
21. El-Taweel TA, El-Axir MH. Analysis and optimization of the ball burnishing process through the Taguchi technique. *Int J Adv Manuf Technol*. 2009. 41 p. 301–310.

22. Esme U. Use of grey based Taguchi method in ball burnishing process for the optimization of surface roughness and micro hardness of AA 7075 aluminum alloy. *Mater Tehnol.* 2010. 44. p. 129–135.

23. Babu P.R., Ankamma K., Prasad T.S., Raj A.V., Prasad N.E. Optimization of burnishing parameters and determination of select surface characteristics in engineering materials. *Sadhana Acad Proc Eng Sci.* 2012. 37. p. 503–520.

24. Ivan Hevko, Andrii Diachun, Oleg Lyashuk, Yuriy Vovk, Andriy Hupka Study of Dynamic and Power Parameters of the Screw Workpieces with a Curved Profile Turning. *Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange. IV. DSMIE 2021.* Springer, Cham. P. 385-394.

25. Sai WB, Lebrun JL. Influence of finishing by burnishing on surface characteristics. *J Mater Eng Perform.* 2003. 12. p. 37–40.

26. El-Tayeb NSM, Low KO, Brevern PV. Enhancement of surface quality and tribological properties using ball burnishing process. *Mach Sci Technol.* 2008. 12. 234–248.

27. Esme U, Sagbas A, Kahraman F, Kulekci MK. Use of artificial neural networks in ball burnishing process for the prediction of surface roughness of AA 7075 aluminum alloy. *Mater Tehnol.* 2008. 42. p. 215–219.

28. Ibrahim AA, Abd Rabbo SM, El-Axir MH, Ebied AA. Center rest balls burnishing parameters adaptation of steel components using fuzzy logic. *J Mater Process Technol.* 2009. 209. p. 2428–2435.

29. Мороз С.А. Забезпечення мікротопографії кілець роликотидшипників на основі зміцнювально-вигладжувальної технології. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 «Технологія машинобудування». Луцьк, 2010. 185 с.

30. Третьяков О.Л. Обґрунтування параметрів виготовлення гвинтових робочих органів екструдерів. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 «Технологія машинобудування». Тернопіль, 2019. 208 с.

31. Іванов П.В. Розроблення технології виготовлення корпусу АЛЯЯ 732114.014 з дослідженням параметрів запобіжних патронів. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістр. Тернопіль, 2021. 69 с.

32. Стручок В.С. “Техноекологія та цивільна безпека. Частина «Цивільна безпека». Навчальний посібник. Тернопіль, 2022. 150 с.

33. Andriy Diachun, Vasyl Vasykiv, Oleg Korol, Volodymyr Myhailiuk, Ivan Golovatyi, Andriy Kuras. Investigation of geometrical parameters in screw surfaces whirling process. Вісник Тернопільського національного технічного університету. 2021. № 1(101). С. 68–78.

34. Oleg Lyashuk, Andrii Diachun, Ivan Kuchvara, Yuriy Vovk, Volodymyr Dzyura. Study of power parameters of forming profile elliptical screw workpieces. The International Journal of Integrated Engineering. Universiti Tun Hussein Onn Malaysia Publisher’s Office, 2021. Vol. 13 No. 4. P. 142-151.

35. Ляшук О.Л., Дячун А.Є., Третьяков О.Л. Дослідження деформації заготовки в процесі нарізання зовнішніх радіусних канавок пристроєм із декількома різцями. Перспективні технології та прилади. Зб. наук. праць. Луцьк, 2018. Вип. 12. С. 105-110.

36. Ляшук О.Л., Дячун А.Є., Клендій В.М., Третьяков О.Л. Дослідження силових параметрів процесу зміцнення гвинтових поверхонь робочих органів деформуючими пуансонами. Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. Івано-Франківськ, 2018. №. 1 (66). С. 38-43.

37. Дячун А.Є., Дзюра В.О., Клендій В.М., Третьяков О.Л. Дослідження методом 3d сканування шорсткості гвинтових поверхонь після процесу ударного зміцнення. Сільськогосподарські машини. Збірник наукових статей. Луцьк, 2017. №38. С. 66-74.