

Міністерство освіти і науки України
Луцький національний технічний університет
Факультет транспорту та механічної інженерії
Кафедра прикладної механіки та мехатроніки

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «МАГІСТР»

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ
МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЛОПАТКИ МЛВ-24
ГАЗОТУРБІННОГО ДВИГУНА ЗА ДОПОМОГОЮ
FUTURE CAM**

**IMPROVEMENT OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF
MACHINING THE BLADE OF THE MLV-24 GAS TURBINE
ENGINE BLADE USING FUTURE CAM**

спеціальність 131 Прикладна механіка

(шифр і назва спеціальності)

освітня програма «Прикладна механіка»

(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти
Групи: ПМм-21
МАКАРУК Любов Віталіївна

(підпис)

Керівник:
к.т.н., доцент
ПОВСТЯНОЙ Олександр Юрійович

(підпис)

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
«___» _____ 2025 р.

к.т.н., доцент

Гарант освітньої програми:
ЧЕТВЕРЖУК Тарас Іванович

(підпис)

Луцьк – 2025 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет транспорту та механічної інженерії

Кафедра прикладної механіки та мехатроніки

Ступінь вищої освіти: магістр

Галузь знань: 131 Прикладна механіка

Спеціальність: 131 Прикладна механіка

Освітня програма: 131 Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Р.Г.Редько

« ___ » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ДРУГОГО (МАГІСТЕРСЬКОГО) РІВНЯ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Макарук Любові Віталіїани

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: удосконалення технологічного процесу механічної обробки лопатки МЛВ-24 газотурбінного двигуна

Керівник роботи: *д.т.н., професор Повстяной Олександр Юрійович*

затверджені наказом закладу вищої освіти від «14» червня 2025 року №391/01-07

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи: «1» грудня 2025 року

3. Вихідні дані до роботи: *існуючі технічні рішення та основні функціональні характеристики газотурбінних двигунів*

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

1. Аналіз характеристики виробництва.

2. Технологічна частина.

3. Вибір та обґрунтування принципу дії пристрою.

4. Розробка технологічного планування ділянки.

5. Спеціальний розділ.

5. Перелік графічного матеріалу :

графічний матеріал виконано у вигляді презентації, яка складається з 12 слайдів

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Розділ 1</i>	<i>Повстяной О.Ю.</i>		
<i>Розділ 2</i>	<i>Повстяной О.Ю.</i>		
<i>Розділ 3</i>	<i>Повстяной О.Ю.</i>		
<i>Розділ 4</i>	<i>Повстяной О.Ю.</i>		
<i>Показник запозичень тексту</i>			
<i>Академічна доброчесність</i>	<i>Полінкевич Р.М.</i>		

7. Дата видачі завдання 14.06.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Аналіз проблеми за темою роботи та постановка задач</i>	<i>01.09.2025 р.</i>	
2	<i>Аналіз і вибір напрямків дослідження</i>	<i>10.09.2025 р.</i>	
3	<i>Теоретичне дослідження та практична реалізація</i>	<i>20.09.2025 р.</i>	
4	<i>Опис засобів розробки об'єкта проєктування</i>	<i>01.10.2025 р.</i>	
5	<i>Загальні висновки та рекомендації</i>	<i>20.10.2025 р.</i>	
6	<i>Оформлення роботи</i>	<i>10.11.2025 р.</i>	
7	<i>Оформлення презентації</i>	<i>20.11.2025 р.</i>	
8	<i>Здача чистового варіанту кваліфікаційної роботи на кафедру</i>	<i>01.12.2025 р.</i>	

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Макарук.Л.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

Повстяной О.Ю.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Макарук Л.В. Удосконаленням технологічного процесу механічної обробки деталі лопатка МЛВ-24 газотурбінного двигуна за допомогою Future CAM. Рукопис.

Кваліфікаційна робота магістра ОП «Прикладна механіка» спеціальності 131 Прикладна механіка. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2025.

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків.

У даній випускній роботі на тему: «Удосконалення технологічного процесу механічної обробки деталі лопатка МЛВ-24 газотурбінного двигуна за допомогою Future CAM» розроблено дільницю по виготовленню лопатки з детальною розробкою її технологічного процесу. У пояснювальній записці розроблено технологічний процес виготовлення лопатки МЛВ-24 газотурбінного двигуна., розроблено конструкції верстатного та контрольного пристрою, розроблено дільницю по виготовленню даної деталі. Виконаний розділ з охорони праці. Обґрунтування актуальності вирішення питань охорони праці.

Ключові слова: лопатка, карта налагодження, верстатний пристрій, дільниця, вібрація, шум.

ANNOTATION

Makaruk L. Improvement of the technological process of mechanical processing of a part of the MLV-24 gas turbine engine blade using FeatureCam

Manuscript.

Master's qualification work OP "Applied Mechanics" specialty 131 Applied Mechanics. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2025.

Bachelor's qualification work consists of an introduction, six chapters, conclusions, a list of sources used, appendices.

In this graduation work on the topic: “Design of a section with improvement of the technological process of mechanical processing of a part of the MLV-24 gas turbine engine blade. ” a section for the manufacture of a blade with a detailed development of its technological process has been developed. In the explanatory note, the technological process for the manufacture of a MLV-24 gas turbine engine blade has been developed., the designs of the machine tool and control device have been developed, a section for the manufacture of this part has been developed. The section on labor protection has been completed. Justification of the relevance of solving labor protection issues.

Keywords: blade, adjustment map, machine tool, section, vibration, noise.

ЗМІСТ

	ст.
ВСТУП	7
1. ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА	8
1.1 Характеристика об'єкта виробництва та службове призначення, аналіз технічних умов для деталі	8
1.2 Вибір методу одержання заготовки	8
1.3 Методи обробки поверхонь	9
1.4 Визначення типу та організаційної форми виробництва	11
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	17
2.1 Аналіз технологічності конструкції деталі	17
2.2 Вибір технологічних баз	18
2.3 Розрахунок припусків і визначення допусків на технологічні розміри	19
2.4 Розмірний аналіз технологічного процесу	22
2.5 Вибір обладнання, розрахунок режимів різання	25
2.6 Нормування технологічного процесу	37
3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	41
3.1 Проектування технологічного оснащення	41
3.1.1 Вибір і обґрунтування принципу дії пристрою, структурної схеми	41
3.1.2 Силовий розрахунок параметрів приводу	41
3.1.3 Розрахунок пристрою на точність	42
3.2 Розрахунок на точність контрольного пристрою	43
4 ПРОЕКТУВАННЯ МЕХАНІЧНОЇ ДІЛЬНИЦІ	48
4.1 Уточнення типу виробництва	48
4.2 Визначення кількості працівників на дільниці	50
4.3 Розрахунок виробничої площі дільниці	53

4.4	Розробка технологічного планування ділянки	54
5	СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ	55
5.1	Адитивні технології (3д-друк) та гібридне виробництво лопаток газотурбінного двигуна	55
5.2	Дослідження селективного лазерного плавлення (SLM/DMLS)	56
5.3	Порівняльна характеристика типового технологічного процесу і технологічного процесу гібридних технологій.	59
6	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	68
7	СПИСОК ПОСИЛАНЬ	69
8	ДОДАТКИ	70

ВСТУП

Удосконалення технологічного процесу виробництва лопаток для газотурбінних двигунів є значним проривом у сфері машинобудування. Лопатки газових турбін виконують ключову роль, адже їм потрібно витримувати екстремальні умови експлуатації, такі як високі температури, тиск і швидкість обертання, при цьому зберігаючи міцність конструкції та високий рівень ефективності. Процес їх створення вимагає неабиякого рівня майстерності, застосування актуальних знань у галузях матеріалознавства, сучасних методів обробки та жорсткого контролю якості.

Газотурбінні двигуни знайшли широке застосування в різних галузях, серед яких авіація, енергетика та промисловість. Їхні продуктивність і надійність багато в чому визначаються якістю й довговічністю лопаток, що робить технологію проєктування і виготовлення цих деталей важливим завданням для підвищення ефективності та безпеки роботи двигунів

Мета кваліфікаційної роботи – вдосконалення комплексного технологічного процесу механічного виробництва лопаток газотурбінних двигунів за допомогою 3-D друку та використання адаптивних технологій – перехід від традиційного лиття та важкої механічної обробки до методів адитивного виробництва.

Об’єкт дослідження – процес виготовлення та ремонту лопаток газотурбінних двигунів з використанням сучасного обладнання.

Предмет дослідження – вдосконалення етапів механічної обробки та формування геометрії лопаток газотурбінних двигунів шляхом впровадження адитивних технологій та адаптивних алгоритмів керування обробкою для підвищення точності та зниження трудомісткості

- **Запропоновано** нові методи та алгоритми виготовлення, обробки та ремонту лопаток газотурбінних двигунів.

- **Застосовано** методику дослідження ключових параметрів процесу виготовлення лопаток ГТД за допомогою комп’ютерного моделювання 3-D деталі

із застосуванням програмного забезпечення Future CAM.

- Змодельовано нетрадиційні методи отримання заготовок та деталей ГТД, також адитивні технології дозволяють складне охолодження, створюючи внутрішні структури, такі як гіроїдні решітки, які неможливо відлити.

- Отримано швидкість – скорочення циклу розробки прототипів з місяців до днів. Ремонтпридатність - дають можливість відновлювати зношені лопатки замість їх повної заміни (що економить до 70% вартості). Дозволяє створювати змієподібні канали та гратчасті структури всередині стінки лопатки. Це збільшує площу тепловіддачі та дозволяє підвищити температуру газів перед турбіною (що підвищує ККД двигуна), не розплавляючи лопатку.

Основними завданнями роботи є:

1. Вибір матеріалу: дослідження та відбір матеріалів, які здатні витримувати інтенсивні експлуатаційні навантаження та умови середовища.

2. Розробка процесу: удосконалення виробничого циклу, що включає заходи механічної обробки, доведення виробів і забезпечення високої якості.

3. Оптимізація: застосування сучасних програмних рішень і передових технологій для максимізації ефективності, точності та економічності всього процесу.

4. Забезпечення безпеки: впровадження ефективних протоколів охорони праці та ергономічних практик з метою захисту працівників і дотримання вимог галузевих стандартів.

Цей проєкт не лише покращує технологічний процес, але й сприяє розвитку більш безпечних і продуктивних систем у контексті газотурбінного машинобудування.

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Службове призначення і характеристика об'єкта виробництва, аналіз технічних умов на деталь

Об'єктом розробки технологічного процесу виготовлення є лопать вентилятора, що інтегрується в конструкції газотурбінних двигунів різної модифікації. Специфіка експлуатації даної деталі зумовлена функціонуванням у критично напружених умовах, де ключові вимоги щодо зносостійкості та механічної міцності висуваються до поверхонь, які безпосередньо сприймають аеродинамічний тиск газоповітряних потоків.

Високий рівень надійності та експлуатаційної довговічності виробу забезпечується суворим дотриманням встановлених параметрів точності та шорсткості робочих поверхонь. Зокрема, технічні вимоги передбачають мінімальні допуски на відхилення геометричної форми профілю.

Матеріалом деталі обрано титановий деформований сплав марки VT5, який характеризується високою корозійною стійкістю та жароміцністю. Основними легуючими компонентами в структурі даного сплаву виступають алюміній та олово. Показник твердості матеріалу становить 230 НВ.

Таблиця 1.1 Хімічний склад сплаву VT5:

C	Si	Fe	N	V	Ti	Mo	O	Zr	H
<0.1	<0.12	<0.3	<0.05	4.5-6.2	1.2	<0.8	<0.2	<0.3	<0.015

1.2 Вибір методу одержання заготовки

Етап проектування заготовки передбачає вибір оптимального методу її отримання, визначення геометричної конфігурації, розрахунок міжопераційних припусків і допусків, а також формування технічних умов на виготовлення. Вибір конкретного технологічного процесу отримання заготовки детермінований

комплексом чинників: технологічними властивостями матеріалу (у даному випадку — титанового сплаву VT5), конструктивною складністю деталі, її габаритними розмірами та заданою програмою випуску.

Застосування методу лиття у закриті форми дозволяє забезпечити підвищену точність геометричних параметрів та стабільність масових характеристик за рахунок прецизійного дозування розплаву. Варто зазначити, що хоча точне дозування металу потребує додаткових капіталовкладень через складність інструментального оснащення та зниження продуктивності на етапі підготовки шихти, воно є економічно виправданим з огляду на зменшення обсягів подальшої механічної обробки.

Попри можливість використання гарячого штампування (видавлювання на КГШП) для отримання стрижневих заготовок зі складним профілем та перемінним перерізом, для досліджуваної деталі найбільш раціональним є саме лиття. Даний вибір обґрунтований специфікою експлуатації лопаті вентилятора.

Технологічна перевага обраного методу полягає у формуванні сприятливого радіального розташування волокон (макроструктури), що критично важливо для забезпечення міцнісних характеристик деталі. З огляду на сукупність техніко-економічних факторів, прийнято метод лиття у закриті форми. Отримана заготовка характеризується наступними параметрами:

- Точність розмірів: у межах 12-го квалітету ($\approx IT12$);
- Параметри шорсткості: $Rz = 160$ мкм.

1.3 Вибір методу обробки поверхонь

Вибір методів фінішної та попередньої обробки поверхонь заготовки визначається сукупністю технічних і експлуатаційних чинників. Пріоритетними серед них є функціональне призначення деталі, специфіка робочих умов поверхонь, а також регламентовані показники точності геометричних параметрів, квалітети допусків та параметри мікрогеометрії (шорсткості).

З огляду на високі вимоги до якості виробу, технологічний процес механічної

обробки проектується як багатостадійний і реалізується через послідовне виконання декількох технологічних переходів. Така стратегія дозволяє забезпечити поступове досягнення заданих параметрів точності, мінімізувати залишкові напруження в поверхневому шарі титанового сплаву та гарантувати стабільність фізико-механічних властивостей лопаті.

Зокрема, структурування обробки на чорновий, напівчистовий та чистовий етапи дозволяє:

- Нівелювати похибки, що виникають внаслідок пружних деформацій системи ВІДСП (верстат-інструмент-деталь-приспосовування);
- Рационально розподілити припуски для досягнення мінімальних показників шорсткості на фінішних операціях;
- Забезпечити стабільність геометричної форми складного профілю лопаті.

Заготовка виготовлена за методом лиття в кокіль досягає точності Н12.

Уточнення:

$$\varepsilon = \frac{T_3}{T_d} \quad (1.1)$$

де: T_3 – допуск розміру заготовки;

T_d – допуск розміру готової деталі.

Для найбільш спрямованого вибору числа ступенів:

$$n = \frac{\lg E}{0.46} \quad (1.2)$$

Заготовка виготовлена методом лиття в закриті форми з точністю Н12.

Уточнення:

$$\varepsilon = \frac{T_3}{T_d} = \frac{360}{58} = 6,2$$

$$n = \frac{\lg \varepsilon}{0.46} = \frac{\lg 6,2}{0,46} = 1,72$$

Приймаємо $n=2$ ступені обробки.

Таблиця 1.3 - Загальне уточнення

Розмір	Квалітет	Допуск		E	N	
		3	4		5	6
Ø60	H10	740	120	6,16	1,71	2
Ø60	H10	740	120	6,16	1,71	2
Ø35	H7	620	25	24,8	3,03	3
Ø12	H7	360	58	6,2	1,72	2
Ø30	H10	520	84	6,19	1,72	2
Ø35	H10	620	100	6,2	1,72	2

З огляду на те, що підвищення точності і зниження шорсткості в ході механічної обробки відбувається спочатку різко, а потім повільніше, розподіляємо досяжні параметри точності розмірів і шорсткості поверхонь по переходах. Отримані результати зведені в таблиці 1.2

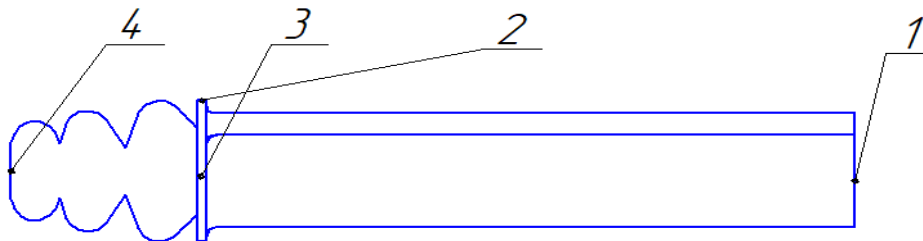


Рисунок 1.1 - Обробка основних поверхонь деталі.

Таблиця 1.4 – Плани обробки основних поверхонь деталі

№	Характеристики		Характеристики по операціям		Технологічні операції
	Деталь	Заготовка	1	2	
1	25h12 Ra 0,63	IT12 Rz 160	IT13 Rz 30		Чорнове точіння

				h12 Ra 0,63	Чистове точіння
2	1,5h7 Ra 0,63	IT12 Rz 160	h8 Rz 40		Чорнове фрезерування
				h7 Ra 0,63	Чистове фрезерування
3	31h7 Ra 0,63	IT12 Rz 160	h8 Rz 40		Чорнове фрезерування
				h7 Ra 0,63	Чистове фрезерування
4	12h7 Ra 0,63	IT12 Rz 160	h8 Rz 40		Чорнове точіння
				h7 Ra 0,63	Чистове точіння

1.3 Визначення типу та організаційної форми виробництва

Коефіцієнт закріплення операції визначаємо за формулою:

$$K_{з.о.} = \frac{O}{P} \quad (1.3)$$

де O – число операцій; P – кількість місць.

Кількість робочих місць визначаємо за формулою:

$$m_p = \frac{N \cdot T_{ш-к}}{60 \cdot F_d \cdot \eta_{з.н.}} \quad (1.4)$$

де N= 275700 - річна програма випуску, шт.;

$T_{ш-к}$ - штучно-калькуляційний час, хв;

$$T_{ш-к} = T_0 \cdot \varphi \quad (1.5)$$

φ - коефіцієнт, що залежить від типу виробництва і методу обробки поверхні;

F_d - дійсний річний фонд $F_d=4029$ год;

$\eta_{з.н.} = 0.8$.

T_0 - основний технологічний час.

Основний технологічний час і штучно-калькуляційний час відповідно визначаємо:

005 Токарна операція :

1. Точити поверхню 1 начорно;

$$T_{01} = 0,17 \cdot L \cdot 10^{-3} = 0,17 \cdot 25 \cdot 10^{-3} = 0,4 \text{ хв} \quad (1.6)$$

2. Точити поверхню 1 начисто

$$T_{02} = 0,1 \cdot L \cdot 10^{-3} = 0,1 \cdot 25 \cdot 10^{-3} = 0,2 \text{ хв} \quad (1.7)$$

Визначаємо основний технологічний час і штучно-калькуляційний час

$$T_0 = 0,4 + 0,3 = 0,7 \text{ хв} \quad (1.8)$$

$$T_{шк} = 1,36 \cdot 0,7 = 0,95 \text{ хв} \quad (1.9)$$

010 Горизонтально-фрезерна операція:

1. Фрезерувати поверхню 2 начорно;

$$T_{01} = 7 \cdot L \cdot 10^{-3} = 7 \cdot 38 \cdot 10^{-3} = 1 \text{ хв} \quad (1.10)$$

2. Фрезерувати поверхню 2 начисто;

$$T_{02} = 4 \cdot L \cdot 10^{-3} = 4 \cdot 38 \cdot 10^{-3} = 0,8 \text{ хв} \quad (1.11)$$

Визначаємо основний технологічний час і штучно-калькуляційний час

$$T_0 = 1,8 \text{ хв} \quad (1.12)$$

$$T_{шк} = 1,31 \cdot 1,8 = 2,3 \text{ хв} \quad (1.13)$$

015 Вертикально-фрезерна операція:

1. Фрезерувати поверхню 3 начорно;

$$T_{01} = 7 \cdot L \cdot 10^{-3} = 7 \cdot 31 \cdot 10^{-3} = 0,5 \text{ хв} \quad (1.14)$$

2. Фрезерувати поверхню 3 начисто;

$$T_{02} = 4 \cdot L \cdot 10^{-3} = 4 \cdot 31 \cdot 10^{-3} = 0,7 \text{ хв} \quad (1.15)$$

Визначаємо основний технологічний час і штучно-калькуляційний час

$$T_0 = 1,2 \text{ хв} \quad (1.16)$$

$$T_{\text{шк}} = 1,31 \cdot 1,2 = 1,5 \text{ хв} \quad (1.17)$$

020 Токарна операція :

1. Точити поверхню 4 начорно;

$$T_{01} = 0,17 \cdot L \cdot 10^{-3} = 0,17 \cdot 12 \cdot 10^{-3} = 1,4 \text{ хв} \quad (1.18)$$

2. Точити поверхню 4 начисто

$$T_{02} = 0,1 \cdot L \cdot 10^{-3} = 0,1 \cdot 12 \cdot 10^{-3} = 1,2 \text{ хв} \quad (1.19)$$

Визначаємо основний технологічний час і штучно-калькуляційний час

$$T_0 = 1,4 + 1,2 = 2,6 \text{ хв} \quad (1.20)$$

$$T_{\text{шк}} = 1,36 \cdot 2,6 = 3,5 \text{ хв} \quad (1.21)$$

Результати необхідно записати в таблицю 1.5.

Таблиця 1.5-Норми часу по операціях

Ном ер опер ації	Т ₀ , х в	Т _д , хв			Т _{обст} , хв	Т _{від} , хв	Т _ш х в
		Т _{ус} , хв	Т _{уп} , хв	Т _{ви} , хв			
005	0,7	0,8	0,04	0,16	1,2	0,02	0,95
010	1,8	0,8	0,04	0,16	1,2	0,02	2,3
015	1,2	0,8	0,04	0,16	1,2	0,02	1,5
020	2,6	0,8	0,04	0,16	1,2	0,02	3,5

Для визначення форми організації виробництва треба співставити середню норму часу $T_{\text{шк-сер}}$ з розрахунковим тактом випуску n :

$$T_{\text{шк}} = \frac{\sum T_{\text{шк}}}{n} = \frac{8,25}{4} = 2,06 \text{ хв} \quad (1.25)$$

Вибираємо $\eta_{\text{з.н.}} = 0.8$

Розрахункова кількість обладнання, необхідну для виконання кожної операції, визначаємо за формулою:

$$m_p = \frac{N \cdot T_{\text{ш-к}}}{60 \cdot F_d \cdot \eta_{\text{з.н.}}} \quad (1.26)$$

де $N = 275700$ - річна програма випуску, шт.;

$T_{\text{ш-к}}$ - штучно-калькуляційний час, хв; $T_{\text{ш-к}} = T_0 \cdot \varphi$

φ - коефіцієнт, що залежить від типу виробництва і методу обробки поверхні;

F_d - дійсний річний фонд ($F_d = 4029$ год);

$\eta_{\text{з.н.}} = 0.8$ - нормативний коефіцієнт завантаження обладнання;

T_0 - основний технологічний час.

Таблиця 1.6-Зведення основних даних.

Операція	$T_{\text{ш-к}}$	m_p	P	$\eta_{\text{з.ф.}}$	O
1	2	3	4	5	6
005	0,95	1,35	2	1,35	1
010	2,3	3,2	4	3,2	1
015	1,5	2	2	2	1
020	3,5	4,9	5	4,9	1
Σ	8,25		13	11,45	4

Коефіцієнт закріплення операції визначаємо за формулою:

$$K_{\text{з.о.}} = \frac{\sum O}{\sum P} = \frac{4}{13} = 0,3$$

Оскільки $K_{\text{з.о.}} < 1$ то приймаємо масовий тип виробництва.

Добовий випуск виробів визначаємо за формулою:

$$N_c = \frac{N}{256} = \frac{275700}{256} = 1076.95 \text{ шт}$$

де $N=275700$ - річна програма випуску, шт.

256 – робочі дні у році.

Добову продуктивність поточної лінії визначаємо за формулою:

$$Q_c = \frac{F_c}{T_{\text{шк-с}}} \cdot \eta_{\text{з.ф.ср}} = \frac{952}{2,06} \cdot 2,8 = 1294 \text{ шт}$$

F_c - при 2-х змінній роботі, $F_c=952$ хв.;

$$T_{\text{шк-с}} = \frac{\sum T_{\text{шт.сер}}}{n} = \frac{8,25}{4} = 2,06$$

де n – кількість операцій;

$$\eta_{\text{з.ф.ср}} = \frac{\sum \eta_{\text{з.ф.}}}{n} = \frac{11,45}{4} = 2,8$$

Оскільки добовий випуск виробів більший добової продуктивності групової лінії, тоді ми застосовуємо потокову форму організації виробництва.

$$N_c > Q_c \cdot 0,6$$

$$1076.95 > 1294 \cdot 0,6 = 776,4;$$

Форма організації виробництва потокова .

Розраховуємо такт випуску виробів при такому виді виробництва:

$$t = \frac{60 \cdot F_d}{N} = \frac{60 \cdot 4029}{275700} = 0,8 \text{ хв}$$

$F_d=4029$ год - дійсний річний фонд роботи пристроїв.

N - програма випуску.

РОЗДІЛ 2

ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Аналіз технологічності конструкції деталі

Проектування технологічного процесу (ТП) виготовлення деталі базується на принципах типізації та уніфікації, з використанням існуючих типових або групових технологічних рішень. Структура маршрутної технології детермінована конструктивно-технологічними особливостями виробу та специфічними вимогами до точності його функціональних поверхонь.

Стратегія обробки реалізується за наступним алгоритмом:

Підготовка технологічних баз: На початкових операціях здійснюється підготовка основних технологічних баз шляхом базування за чорновими (необробленими) поверхнями.

Етап формоутворення: Виконується основний обсяг робіт із формування геометрії деталі до досягнення параметрів чистової обробки (відповідно до 7–9-го квалітетів точності).

Другорядна обробка: Реалізуються операції місцевої обробки на раніше підготовлених сегментах.

Фінішне доведення: Здійснюється остаточна обробка відповідальних поверхонь (7-й квалітет), що завершується операціями з досягненням параметрів шорсткості $Ra \leq 0,63$ мкм.

Проектування технологічних параметрів здійснюється на основі експлуатаційних умов деталі, регламентованих конструкторською документацією та галузевими стандартами.

Технологічний аналіз конструкції

Оцінка технологічності виробу проводиться за двома критеріями:

Якісна оцінка: передбачає аналіз відповідності обраного матеріалу, конфігурації деталі, точності поверхонь та методів отримання заготовок сучасним виробничим можливостям.

Кількісна оцінка: базується на розрахунку абсолютних та відносних техніко-

економічних показників порівняно з базовою деталлю (еталоном).

До ключових кількісних індикаторів належать:

- Коефіцієнт використання матеріалу (КВМ);
- Середній клас точності та шорсткості поверхонь;
- Технологічна собівартість виготовлення;
- Питома трудомісткість операцій.

1. Коефіцієнт точності обробки:

$$K_{т.о.} = 1 - \frac{1}{A_{ср}}$$

Де $A_{ср}$ - середній квалітет

$$A_{ср} = \frac{n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_{19}}{\sum n_i}$$

$n_1 \dots n_{19}$ - кількість розмірів відповідного квалітету;

$$A_{ср} = \frac{7 \cdot 3 + 12 + 8}{5} = 8.2$$

$K_{т.о.} = 1 - \frac{1}{8.2} = 0.87 > 0.8$, отже, наша деталь технологічна.

2. Коефіцієнт шорсткості:

$$K_{ш} = \frac{1}{Ш_{ср}}$$

$Ш_{ср}$ - середня шорсткість поверхонь;

$$Ш_{ср} = \frac{0.01n_1 + 0.02n_2 + \dots + 40n_{13} + 80n_{14}}{\sum n_i}$$

$$Ш_{ср} = \frac{5 \cdot 0.63}{5} = 0.63$$

$K_{ш} = \frac{1}{0.63} = 1.5 > 0.32$ - отже, наша деталь технологічна.

3. Коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_{м.м} = \frac{Q_{дет.}}{Q_{заг.}} = \frac{2.17}{2.57} = 0.84 \geq 0.8 - - \text{отже, наша деталь технологічна.}$$

$Q_{дет.}$ - маса деталі;

$Q_{заг.}$ - маса заготовки.

2.2 Вибір та розрахункове обґрунтування технологічних баз

Найскладніший розділ проектування технологічного процесу – це вибір і технологічне обґрунтування технологічних баз. Розробка маршруту і вибору баз повинна проводитись паралельно.

Очікувана похибка обробки:

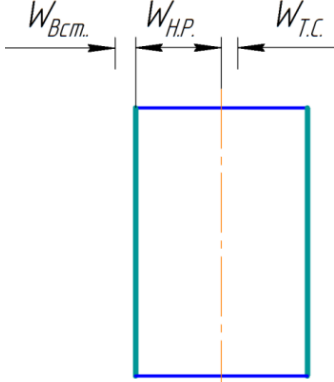
$$A_{\Sigma} = A_{н.р.} + A_{т.с.} + A_{уст.}$$

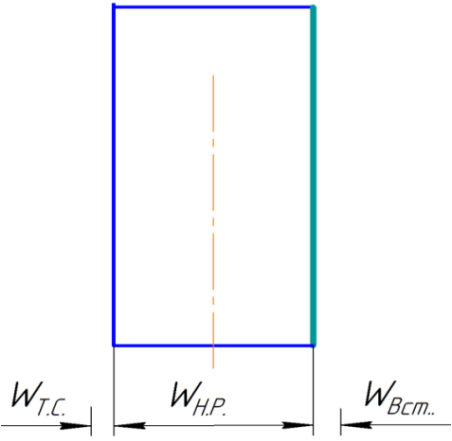
Похибка потрібного настроюваного розміру і похибка технологічної системи в сумі мають дорівнювати середній статичній точності.

Похибка установки:

$$A_{уст.} = \sqrt{A_{б}^2 + A_{закр.}^2}$$

Таблиця 2.1- Похибка обробки

Ескіз операції	Розрахунок
1	2
	$W_{Аоп} = W_{н.р.} + W_{втс} + W_{тс} = 0,22\text{мм}$ $W_{втс} = 0.11\text{мм}$ $W_{н.р.} + W_{тс} = W_c$ $W_c = 0,11\text{мм}$

	$W_{\text{Аоп}} = W_{\text{н.р.}} + W_{\text{втс}} + W_{\text{тс}} = 0,25\text{мм}$ $W_{\text{втс}} = 0,05\text{мм}$ $W_{\text{н.р.}} + W_{\text{тс}} = W_{\text{с}}$ $W_{\text{с}} = 0,2\text{мм}$
---	---

2.3 Визначення допусків на технологічні розміри і розрахунок припусків

Припуск розрахунково-аналітичним методом розраховується на точнішу поверхню деталі. На інші поверхні – назначаються відповідно до ДСТУ.

Поверхня для розрахунку припуску - торець $l\ 25h12$.

Розрахунок припуску звести в таблицю 2.2

Таблиця 2.2 – Визначення припусків та міжопераційних розмірів

Технологічні переходи обробки поверхні	Елементи припуску				Розр. Припуск, мкм	Допуск, мкм	Макс. Допустимий розмір, мм		Макс. Допустиме значення припусків	
	$R_{z_{i-1}}$	h_{i-1}	ρ_{i-1}	ε			l_{min}	l_{max}	$Z_{min}^{пр}$	$Z_{max}^{пр}$
Заготовка	7.5	0	54		-	50	4,06	4,86		
Чорнове точіння	5.5	0	20	0	106.4	2	24,725	4.97	75	65
Чистов						2	2	2		

ε	0	5			25.3	0	5	5,04	0	10
точіння										
я										

Загальне значення просторових відхилень для заготовки даного типу визначається:

$$\rho_z = \rho_{кор.}$$

Короблення слід розраховувати за формулою:

$$\rho_{кор.} = \Delta_k \cdot L = 0.9 \cdot 25 = 22.5 \text{ мкм}$$

$\varepsilon = 50 \text{ мм}$ - похибка на чорнове точіння;

На основі записаних в таблиці даних здійснюємо розрахунок мінімальних значень міжопераційних припусків:

$$2 \cdot Z_{min} = 2 \cdot (R_{z_{i-1}} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{yi}^2})$$

Мінімальний припуск на чорнове точіння:

$$2 \cdot Z_{min1} = 2 \cdot (25,5 + 00 + \sqrt{454^2 + 50^2}) = 2 \cdot 106,4 \text{ мкм}$$

Мінімальний припуск на чистове точіння:

$$2 \cdot Z_{min2} = 2 \cdot (20 + 25 + \sqrt{420^2 + 0^2}) = 2 \cdot 25,3 \text{ мкм}$$

Розмір l починається з кінця, з розміру 25,04 мм, дослідним відхиленням разового мінімального припуску кожного технологічного переходу:

$$l_{p3} = 25.04$$

$$l_{p2} = l_{p3} - 2Z_{min2}^{пп} = 25.04 - 2 \cdot 0.0253 = 24.94$$

$$l_{p1} = l_{p2} - 2Z_{min1}^{пп} = 25.03 - 2 \cdot 0.0106 = 24.97$$

Граничні розміри розраховуємо таким чином:

l_{max} - з разового розміру l округленням до точності допуску відповідного переходу;

l_{min} - з найбільшого граничного розміру відніманням допуску відповідного переходу.

Таким чином:

Для чистового точіння:

$$l_{max} = 25,04$$

$$l_{min} = 25,04 - 0,06 = 25$$

Для чорнового точіння:

$$l_{max} = 24,978$$

$$l_{min} = 24,978 - 0,25 = 24,725$$

Для заготовки:

$$l_{max} = 24,86$$

$$l_{min} = 24,96 - 0,36 = 24,6$$

Значення припусків $2Z_{min}^{pp}$ будуть рівні різниці найбільших граничних розмірів певного переходу з попереднього, а максимальне значення $2Z_{max}^{pp}$ відповідно різниці найменших граничних розмірів. Тоді:

Для чистового точіння:

$$2Z_{min}^{pp} = 25,04 - 24,97 = 0,07\text{мм} = 70\text{мкм}$$

$$2Z_{max}^{pp} = 25 - 24,725 = 0,275\text{мм} = 275\text{мкм}$$

Для чорнового точіння:

$$2Z_{min}^{pp} = 24,97 - 24,86 = 0,11\text{мм} = 110\text{мкм}$$

$$2Z_{max}^{pp} = 24,725 - 24,06 = 0,665\text{мм} = 665\text{мкм}$$

Припуски $2Z_{min}^{pp}$ і $2Z_{max}^{pp}$ отримуємо:

$$2Z_{min}^{pp} = 110 + 70 = 180\text{мкм}$$

$$2Z_{max}^{pp} = 665 + 275 = 940\text{мкм}$$

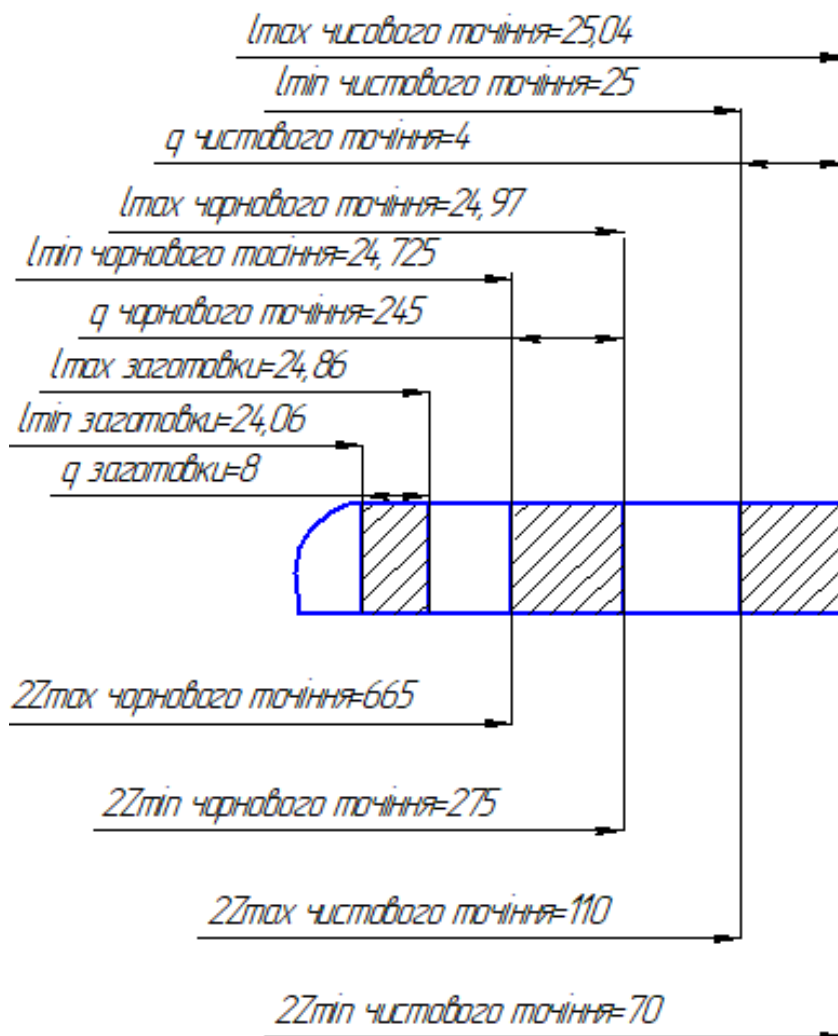


Рисунок 2.1 – Розміщення припусків на обробку торця $l25h12$

2.4 Розмірний аналіз технологічного процесу

За допомогою даного методу будемо визначати розміри заготовки і розміри припусків для технологічних операцій.

$$A_{01} = 160H12({}_0^{+0.4})$$

$$A_{02} = 124H12({}_0^{+0.4})$$

$$A_{03} = 38.51H12({}_0^{+0.25})$$

$$A_{04} = 122.5H12({}_0^{+0.4})$$

$$A_{010.1} = 157.5H11({}_0^{+0.25})$$

$$A_{010.2} = 122.5H11({}_0^{+0.25})$$

$$A_{025.1} = 37H11({}_0^{+0.16})$$

$$A_{020.1} = 120H11({}_0^{+0.22})$$

$$Z_{005.1}^H = A_{01} - A_{010.1} = 160 - 157.5 = 2.5\text{мм}$$

$$Z_{005.1}^{max} = A_{01}^{max} - A_{005.1}^{min} = 124 - 122.5 = 1.5\text{мм}$$

$$Z_{005.1}^{min} = A_{01}^{min} - A_{005.1}^{max} = 38.51 - 37 = 1.5\text{мм}$$

$$Z_{005.1}^H = ({}_{-0.01}^{+0.06})\text{мм}$$

$$Z_{025.1}^H = A_{025.1} - l_1 - l_2 - A_{04} = 37 - 0 - 0 - 34.5 = 2.5\text{мм}$$

$$Z_{025.1}^{max} = A_{025.1}^{max} - l_1 - l_2 - A_{04}^{min} = 37.61 - 0.06 - 0.06 - 34.5 = 1.99\text{мм}$$

$$Z_{025.1}^{min} = A_{025.1}^{min} - l_1 - l_2 - A_{04}^{max} = 37 - 0.06 - 0.06 - 34.36 = 2.52\text{мм}$$

$$Z_{025.1}^H = 2.5({}_{-0.02}^{+0.01})\text{мм}$$

$$Z_{020.1}^H = A_{020.1} - l_1 - l_2 - A_{03} = 120 - 0 - 0 - 118.5 = 1.5\text{мм}$$

$$Z_{020.1}^{max} = A_{020.1}^{max} - l_1 - l_2 - A_{03}^{min} = 120 - 0.06 - 0.06 - 118 = 1.88\text{мм}$$

$$Z_{020.1}^{min} = A_{020.1}^{min} - l_1 - l_2 - A_{03}^{max} = 120 - 0.06 - 0.06 - 118.36 = 1.52\text{мм}$$

$$Z_{025.1}^H = 1.5({}_{-0.01}^{+0.01})\text{мм}$$

Запропонований варіант може бути прийнятий, так як якісний аналіз розмірної схеми граф-дерева (рис.2.1 і рис.2.2.) та ланцюгів в осьовому і радіальному напрямках показує правильність розрахунків.

2.5 Розрахунок режимів різання, вибір обладнання

Таблиця 2.3 – Режими різання

№	Перехід	t,мм	S,мм/об	V,м/хв	n,хв ⁻¹	N _e ,кВт	T _{осн} ,хв
005	1	1,75	0,7	172	2000	4,5	0,017
	2	0,75	0,3	260	3500	1,5	0,02
010	1	1,75	0,18	267	2500	2,2	0,08
	2	0,75	0,6	215	2000	3,1	0,03
015	1	1,75	0,16	267	2500	2,2	0,06
	2	0,75	0,6	215	2000	3,1	0,02
020	1	1,75	0,8	162	2500	4,7	0,006
	2	0,75	0,3	260	4000	1,5	0,01

2.6 Нормування технологічного процесу

Залежно від організаційної форми виробництва здійснюємо розрахування основних технічних норм часу. Для поточної форми організації виробництва розраховуємо штучний час:

$$T_{шт} = T_o + T_d + T_{об} + T_{пер}$$

Де:

T_o- основний час, хв;

T_д-допоміжний час, хв;

T_{об}- час на обслуговування робочого місця, хв;

T_{пер}-час перерви, хв.

Основний час визначається за формулою:

$$T_{o1} = \frac{L}{S \cdot n} = \frac{25}{0,7 \cdot 2000} = 0,017 \text{ хв}$$

Де L – довжина оброблюваної деталі.

S – подача (м/хв)

n – частота обертання шпинделя верстату.

Допоміжний час визначається по формулі:

$$T_B = T_{y.c} + T_{z.o} + T_{y.n} + T_{n.z}$$

$T_{y.c}$ - час на установку і зняття деталі;

$T_{z.o}$ - час на закріплення і розкріплення деталі;

$T_{y.n}$ - час на управління;

$T_{n.z}$ - час на вимірювання деталі.

Під час розрахунку додаткового часу вводимо коефіцієнт $k=1$ для масового виробництва.

$T_{y.c} = 0,11 \cdot 1 = 0,11 \text{ хв}$ - час на установку і зняття деталі за допомогою патрона з пневматичним затискачем;

$T_{z.o} = 0,04 \cdot 1 = 0,04 \text{ хв}$ - час на закріплення і розкріплення деталі за допомогою пневматичного зажиму;

$T_{y.n} = 0,01 \cdot 1 = 0,01 \text{ хв}$ - час на управління увімкнення верстата за допомогою кнопки;

$T_{n.z} = 0,15 \cdot 1 = 0,15 \text{ хв}$ - час на вимірювання деталі скобою двохсторонньою.

$$T_B = 0,11 + 0,04 + 0,01 + 0,15 = 0,31 \text{ хв.}$$

Підготовчо-заклучний час:

$T_{пз1} = 16 \text{ хв}$ - час на налаштування верстатного пристрою ;

$T_{пз2} = 2 \text{ хв}$ - час на установку фрез;

$T_{пз3} = 10 \text{ хв}$ - час на додаткові прийоми.

$$T_{пз} = 16 + 2 + 10 = 28 \text{ хв.}$$

Операційний час знаходимо по формулі:

$$T_{оп} = T_o + T_B$$

$$T_{оп} = 0,037 + 0,31 = 0,347 \text{ хв.}$$

$$T_{\text{оп}} = 0,11 + 0,31 = 0,42 \text{ хв.}$$

$$T_{\text{оп}} = 0,8 + 0,31 = 1,11 \text{ хв.}$$

$$T_{\text{оп}} = 0,016 + 0,31 = 0,362 \text{ хв.}$$

Час на обслуговування робочого місяця складає 6% від операційного:

$$T_{\text{об}} = \frac{T_{\text{оп}} \cdot 6}{100}$$

$$T_{\text{об}} = \frac{0,347 \cdot 6}{100} = 0,02 \text{ хв.}$$

$$T_{\text{об}} = \frac{0,42 \cdot 6}{100} = 0,025 \text{ хв.}$$

$$T_{\text{об}} = \frac{1,11 \cdot 6}{100} = 0,06 \text{ хв.}$$

$$T_{\text{об}} = \frac{0,362 \cdot 6}{100} = 0,02 \text{ хв.}$$

Час перерви і відпочинок складає 9% від операційного часу:

$$T_o = \frac{T_o \cdot 9}{100}$$

$$T_{\text{об}} = \frac{0,347 \cdot 9}{100} = 0,031 \text{ хв.}$$

$$T_{\text{об}} = \frac{0,42 \cdot 9}{100} = 0,037 \text{ хв.}$$

$$T_{\text{об}} = \frac{1,11 \cdot 9}{100} = 0,09 \text{ хв.}$$

$$T_{\text{об}} = \frac{0,362 \cdot 9}{100} = 0,032 \text{ хв.}$$

Тоді штучний час буде дорівнювати:

$$T_{\text{шт}} = 0,037 + 0,31 + 0,347 + 0,02 = 0,714 \text{ хв.} \approx 1 \text{ хв.}$$

$$T_{\text{шт}} = 0,11 + 0,31 + 0,42 + 0,025 = 0,865 \text{ хв.} \approx 1 \text{ хв.}$$

$$T_{\text{шт}} = 0,8 + 0,31 + 0,11 + 0,06 = 1,28 \text{ хв.} \approx 2 \text{ хв.}$$

$$T_{\text{шт}} = 0,016 + 0,31 + 0,362 + 0,02 = 0,748 \text{ хв.} \approx 1 \text{ хв.}$$

РОЗДІЛ 3

КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Проектування технологічного оснащення

3.1.1 Вибір і обґрунтування принципу дії, структурної схеми

У контексті масового типу виробництва проектування технологічного оснащення орієнтоване на максимізацію рівня автоматизації допоміжних переходів. Основним завданням є повна елімінація або суттєве скорочення частки важкої ручної праці та нівелювання впливу суб'єктивного фактора на етапах базування та закріплення заготовки. Це досягається шляхом впровадження високопродуктивних пристроїв з механізованим приводом.

Відповідно до розробленої схеми базування, конструкція пристрою передбачає використання пневматичного або гідравлічного привода, що забезпечує стабільність сили затиску та скорочення часу на встановлення/зняття деталі.

Технічні параметри базування та затиску:

- Базова поверхня: Позиціонування деталі здійснюється по опорній поверхні протяжністю 120 мм, що забезпечує необхідну стійкість та жорсткість технологічної системи.
- Система затиску: Фіксація заготовки реалізується через рівномірне прикладання зусилля W на ділянках довжиною 25 мм та 12 мм.
- Силовий аналіз: Використання механізованого привода дозволяє точно регламентувати зусилля затиску $\$W\$$, запобігаючи деформації тонкостінних елементів лопаті та забезпечуючи повторюваність позиціонування в межах заданого допуску.

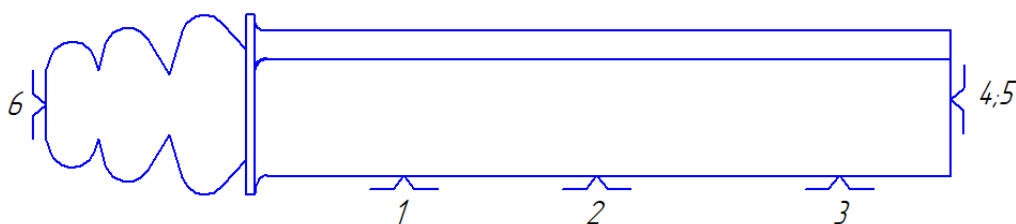


Рисунок 3.1 – Схема базування деталі

3.1.2 Силовий розрахунок параметрів приводу

Дивлячись та визначившись зі схемою базування, виберемо установчий елемент використовуючи правило шести точок. Сила зажиму розглядається з умови рівноваги заготовки з врахуванням коефіцієнта запасу K .

Розрахунок пневмопривода при його заданих розмірах зводиться до заданої розвиваючої сили на штоці $P_{ш}$. Часто вирішується обернена задача, коли по заданій силі $P_{ш}$ і відомому тиску в пневмомагістралі виявляються розміри пневмопривода, здійснюється його вибір чи конструювання.

Сила на штоці поршневого пневмопривода знаходиться за формулою:

$$\text{Штовхаюча сила: } P_{ш} = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot p \cdot \eta$$

$$P_{ш} = \frac{3.14}{4} \cdot 50^2 \cdot 0.5 \cdot 0.85 = 8340 \text{ Н}$$

$$\text{Сила тяги: } P_{ш} = (D^2 - d^2) \cdot p \cdot \eta$$

$$P_{ш} = (50^2 - 16^2) \cdot 0.5 \cdot 0.85 = 7480 \text{ Н}$$

де D – діаметр поршня пневмоциліндра, мм; p – тиск стиснутого повітря, МПа (0,4-0,6); d – діаметр штока пневмоциліндра, мм; η – ККД (0,85...0,95); Для оберненої задачі приведені залежності розраховуються відносно діаметра циліндра D . при розрахунку D по зусиллю тяги діаметр штока знаходиться через D (можна приймати $d = (0,325 \dots 0,545)D$).

3.1.3 Розрахунок пристрою на точність

Для забезпечення пристрою на точність необхідно виконати умову

$$\sum E < T, \quad \text{де } T = 0,15 \text{ мм} - \text{допуск на розмір,}$$

$\Sigma \xi$ -сумарна похибка

1. За розрахунковий розмір приймемо допуск на домінуючий по точності розмір, що обробляється на даній операції.

2. Похибка базування $E_{\delta} = 0,01\text{мм}$

3. Похибка закріплення. Заготовка встановлюється на установчі елементи. Затиск поверхонь здійснюють за допомогою пневмоциліндра $E_3 = 0,01\text{мм}$

4. Похибка установки пристрою на верстаті: $E_{\text{уст}} = 0,01\text{мм}$

5. Похибка - знос робочої поверхні опор при виконанні даної програми:

$$E_n = B \cdot N^n = 0.0001 \cdot 275700^{0.5} = 0.05\text{мм}$$

6. Похибку від зносу робочих поверхонь можна прийняти $E_i = 0,05\text{мм}$

Загальна похибка визначається по формулі:

$$E_{\text{пр}} = \delta_1 - k_m \cdot \sqrt{(k_{m1} \cdot E_{\delta})^2 + E_3^3 + E_y^2 + E_i^2 + (k_{m2} \cdot \omega)^2}$$

$$\begin{aligned} E_{\text{пр}} &= 0.15 - 1.2 \cdot \sqrt{(0.06 \cdot 0.02)^2 + 0.02^2 + 0.02^2 + 0.02^2 + 0.02^2 + (0.6 \cdot 0.22)^2} \\ &= 0.01 \text{ мм} \end{aligned}$$

3.2 Розрахунок на точність контрольного пристрою

Формування розрахункових схем базування виробів у контрольних пристроях реалізується шляхом використання типових комбінацій конструктивних елементів, таких як «площина – зовнішня циліндрична поверхня» або «площина – отвір». Об'єкти контролю характеризуються наявністю двох вимірювальних баз, взаємне розташування яких визначає контрольований параметр (розмір), зазначений у конструкторській документації.

Основним принципом проектування вимірювальних систем є суміщення технологічної (установочної) бази з однією з вимірювальних баз деталі, що забезпечує її стабільне та однозначне орієнтування в робочому просторі пристрою. При цьому друга вимірювальна база повинна вступати в контакт із вимірювальним наконечником (індикатором) у чітко визначеній точці або площині.

Недотримання принципу суміщення баз призводить до виникнення сумарної похибки контролю, що складається з:

- (похибка базування): виникає внаслідок розходження вимірювальної та установочної баз;
- (похибка положення вимірювального елемента): зумовлена відхиленнями в установці самого вимірювального вузла пристрою.

Дані похибки суттєво знижують достовірність результатів контролю і є критично небажаними при оцінці прецизійних деталей. На рис. 3.2 (а) продемонстровано типову схему вимірювального пристрою для контролю діаметрального розміру деталі (1), встановленої в призмі (2). Така схема потребує додаткового розрахунку похибки, що виникає через незбіжність геометричного центру деталі з її вимірювальною базою в умовах коливання діаметра заготовки.

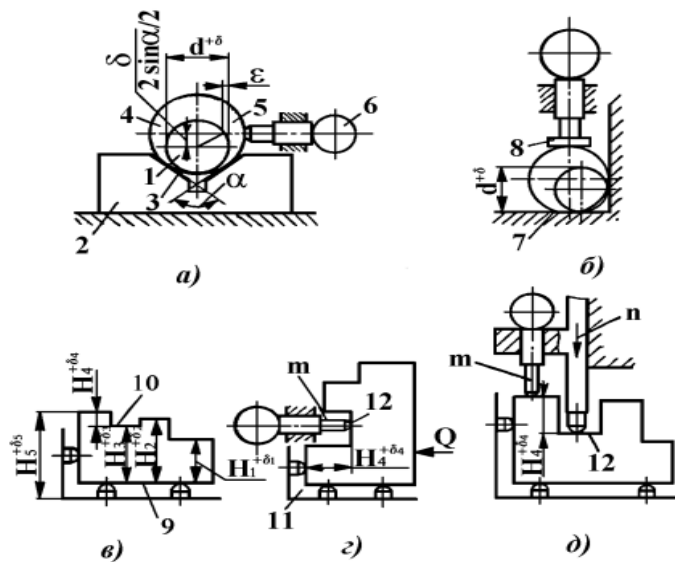


Рисунок 3.2 – Схеми для аналізу похибок базування у контрольних пристроях

Установочна база (твірна 3) не суміщена з вимірювальною базою (твірна 4). Внаслідок цього виникає похибка базування, чисельно рівна половині допуску на діаметр деталі $\delta / 2$.

Друга вимірювальна база (твірна 5) займає при перевірці партії деталей різне розташування за висотою відносно вимірного елемента б, спричиняючи похибку.

$$\varepsilon_{\text{пр1}} = d - \sqrt{d^2 - \frac{\delta^2}{\sin^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)}} = 45 - \sqrt{45^2 - \frac{0,3^2}{\sin^2\left(\frac{15}{2}\right)}} = 0,011 \text{ мм}$$

де d – найменший діаметр деталі;

α – кут призми.

При контролюванні партії деталей границі вимірювання дорівнюють не допуску на діаметр, а такій величині

$$C = \delta - \varepsilon_{\delta} + \varepsilon_M = \varepsilon_M + \frac{\delta}{2} = 0,9 + \frac{0,3}{2} = 1,05 \text{ мм}$$

На рис. 3.2 (б) представлена альтернативна схема контрольного пристрою, конструктивне рішення якої дозволяє повністю нівелювати похибки базування та положення вимірювального елемента ($\varepsilon_d = 0$, $\varepsilon_{pe} = 0$). Це стає можливим завдяки реалізації принципу суміщення установочної та вимірювальної баз (твірна 7). Застосування вимірювального наконечника (8) тарілчастої форми забезпечує стабільний контакт із базовою поверхнею, виключаючи геометричні відхилення, характерні для точкового контакту.

З метою інтенсифікації контрольних операцій в умовах масового виробництва доцільно впроваджувати багатопараметричні (багатомірні) контрольні пристрої. Такі засоби вимірювальної техніки дозволяють здійснювати одночасну перевірку декількох лінійних та діаметральних розмірів за один установочний елемент деталі.

Ефективне застосування багатомірних пристроїв можливе за умови, що єдина базова поверхня виступає одночасно установочною та вимірювальною базою для всього комплексу контрольованих параметрів. У випадках, коли конструкторське проставлення розмірів не відповідає цій вимозі, виконують технологічний перерахунок розмірних ланцюгів та коригування допусків для приведення їх до єдиної технологічної бази.

На рис. 3.2 (в) наведено схему пристрою для інтегрованого контролю лінійних розмірів H_1 , H_2 , H_3 . Поверхня 9 у даній схемі виконує функцію

спільної бази. Проте при контролі розміру H_4 виникає розходження, оскільки поверхня 9 залишається установочною, тоді як вимірювальною є поверхня 10.

Запропоновані варіанти усунення похибок базування:

Для повної елімінації похибки базування при контролі складних геометричних параметрів лопаті пропонуються наступні інженерні рішення:

1. Корекція розмірних ланцюгів: Перерахунок допусків із переходом від конструкторських баз до єдиної технологічної бази, що дозволяє зберегти точність вихідного параметра.

2. Застосування диференційованих вимірювальних систем: Використання плаваючих вимірювальних головок, які компенсують відхилення установочної бази відносно вимірювальної.

3. Використання засобів активного контролю: Впровадження індуктивних або лазерних датчиків із програмною компенсацією похибки базування в режимі реального часу.

1. Замість розміру H_4 здійснюють перевірку розміру H_5 .

Приймаючи H_4 за замикаючу ланку розмірного ланцюга, отримаємо $\delta_4 = \delta_3 + \delta_5$, звідки $\delta_5 = \delta_4 - \delta_3$. При $\delta_3 > \delta_4$ і неможливості δ_3 розмір δ_5 перевіряють в іншому пристрої.

2. За вимірювальну і установочну бази приймають поверхню 11 (рис. 3.2 г), а вимірний елемент m підводять до поверхні 12. Деталь притискають до бокової опори силою Q .

3. Використовують перший пристрій, в якому попередньо налагоджений вимірний елемент m підводиться повзуном n до поверхні 12 (рис. 3.2 д).

Для використання багатомірних контрольних пристроїв необхідне проставлення розмірів, які перевіряють, від однієї вимірювальної бази і можливість суміщення цієї бази з вигідною для контролю установочною базою деталі. В окремих випадках необхідно перераховувати допуски на контролюючі

розміри з врахуванням специфіки багатомірного контролю. При проектуванні будь-якого контрольного пристрою необхідно ретельно оцінити всі

переваги і недоліки можливих в даному випадку методів базування з врахуванням реальних розмірів деталі і базуючих елементів пристрою. Аналіз базуючих елементів повинен завершуватися підрахунком спричиненої ним відносної похибки мірювання.

Аналіз похибок закріплення в контрольних пристроях

Функціонування затискних механізмів у контрольних пристроях має принципові відмінності від експлуатації аналогічних вузлів у верстатному оснащенні. У випадках, коли вимірювальне зусилля є незначним, а деталь під власною вагою займає стабільне положення на опорах, необхідність у примусовій фіксації може бути відсутня.

Для детермінації похибки закріплення (ε_z) доцільно використовувати аналітичні залежності, отримані на основі експериментальних досліджень. Ці залежності дозволяють встановити граничні значення зміщення деталі (деформації мікронерівностей) під дією прикладеного навантаження. З огляду на високу трудомісткість безпосередніх розрахунків зміщень, у виробничій практиці для типових схем базування значення ε_z визначають за нормативними таблицями. При цьому враховуються такі чинники:

- конфігурація та жорсткість опорних елементів;
- габаритні параметри та маса деталі;
- стан мікрогеометрії (шорсткість) базових поверхонь;
- конструктивні особливості та тип привода затискного механізму.

Дослідження похибок розташування у вимірювальних системах

Похибка контрольного пристрою (ε_{pr}) є функцією багатьох змінних, що виникають на різних стадіях життєвого циклу оснащення: при виготовленні деталей, під час складання, юстирування та внаслідок прогресуючого зношування робочих елементів.

При розрахунку сумарної похибки вимірювальної системи необхідно враховувати похибки взаємної орієнтації інсталяційних елементів (для базування деталі) та вузлів кріплення засобів вимірювальної техніки (індикаторів, мініметрів, оптикаторів тощо).

Згідно з методикою розрахунку, загальна похибка виготовлення елементів пристрою диференціюється на дві складові:

— похибка виготовлення безпосередньо базових поверхонь пристрою, що контактують з об'єктом контролю.

— похибка взаємного розташування базових елементів відносно настановних поверхонь для засобів вимірювання.

Такий розподіл дозволяє виявити найбільш вагомні складові похибки та розробити заходи щодо їх мінімізації на етапі проектування контрольно-вимірювальної операції.

Розглянемо на прикладі (рис. 3.3) визначення похибки $\varepsilon_{\text{пр}2}$. В корпусі контрольного пристрою для вимірювання биття торця на віддалі R від осі центрів (О-О) вісь отвору (О₁-О₁) для встановлення індикатора була виконана з відхиленням від паралельності до осі О-О на величину $\Delta/100$. На основі розрахункової схеми (рис. 3.3) можна записати:

$$\varepsilon_{\text{пр}2} = AC - AB = \sqrt{a^2 + l^2} = \sqrt{15^2 + 120^2} = 15\sqrt{65} \text{ мм}$$

де a – величина переміщення щупа індикатора;

$$l = a \cdot \operatorname{tg} \alpha = 15 \cdot 0,8559 = 12,8; \quad \alpha = \frac{\Delta}{100} = \frac{13}{100} = 0,13 \text{ мм}$$

Δ – допустима похибка виготовлення.

Після перетворень виразу отримаємо

$$\varepsilon_{\text{пр}2} = \alpha (\sqrt{\operatorname{tg}^2 a + 1} - 1) = 15\sqrt{0,8559^2 + 1} - 15 = 13,87 \text{ мм}$$

Загальну похибку виготовлення пристрою визначають як

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \sqrt{\varepsilon_{\text{пр}1}^2 + \varepsilon_{\text{пр}2}^2} = \sqrt{0,11^2 + 13,87^2} = 13,9 \text{ мм}$$

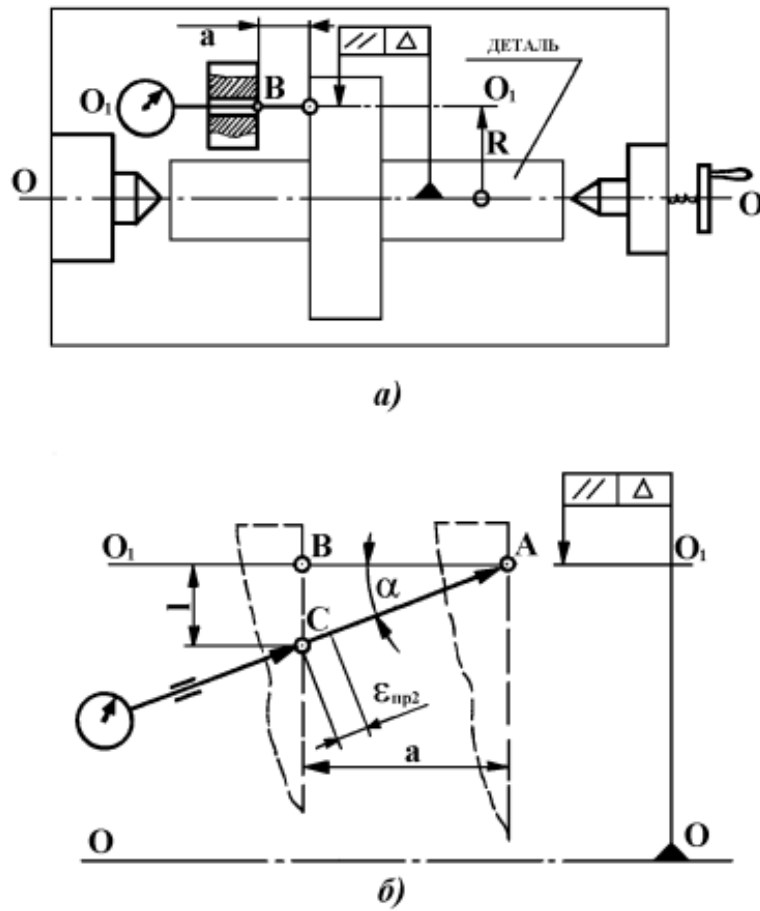


Рисунок 3.3 – Розрахункова схема контрольного пристрою: а - схема контролю; б – схема для визначення похибки $\epsilon_{пр2}$

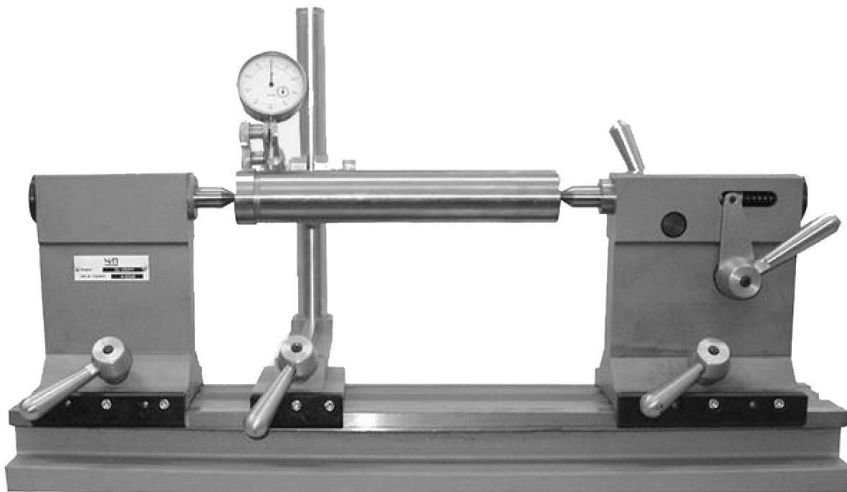


Рисунок 3.4 – Пристрій контролю торцевого біття.

РОЗДІЛ 4

ПРОЕКТУВАННЯ МЕХАНІЧНОЇ ДІЛЬНИЦІ

4.1 Уточнення типу виробництва

Розрахункова кількість обладнання, визначаємо за формулою:

$$m_p = \frac{N \cdot T_{ш-к}}{60 \cdot F_d \cdot \eta_{з.н.}}$$

де $N= 275700$ - річна програма випуску, шт.;

$T_{ш-к}$ - штучно-калькуляційний час, хв;

F_d - дійсний річний фонд ($F_d=4029$ год);

$\eta_{з.н.} = 0.8$. - нормативний коефіцієнт завантаження обладнання;

Таблиця 4.1- Зведення даних

Операція	$T_{ш-к}$	m_p	P	$\eta_{з.ф.}$	O
1	2	3	4	5	6
Токарна	0,95	1,35	2	1,35	1
Горизонтально-фрезерна	2,3	3,2	4	3,2	1
Вертикально-фрезерна	1,5	2	2	2	1
Токарна	3,5	4,9	5	4,9	1
Σ	8,25		13	11,45	4

Коефіцієнт закріплення операції визначаємо за формулою:

$$K_{з.о.} = \frac{\Sigma O}{\Sigma P} = \frac{4}{13} = 0,3$$

Оскільки $K_{з.о.} < 1$ то приймаємо масовий тип виробництва.

Добовий випуск виробів визначаємо за формулою:

$$N_c = \frac{N}{256} = \frac{275700}{256} = 1076.95 \text{ шт}$$

де $N = 275700$ - річна програма випуску, шт.

256 – робочі дні у році.

Добову продуктивність поточної лінії визначаємо за формулою:

$$Q_c = \frac{F_c}{T_{\text{шк-с}}} \cdot \eta_{\text{з.ф.ср}} = \frac{952}{2,06} \cdot 2,8 = 1294 \text{ шт}$$

F_c - при 2-х змінній роботі, $F_c = 952$ хв.;

$$T_{\text{шк-с}} = \frac{\sum T_{\text{шт.сеп}}}{n} = \frac{8,25}{4} = 2,06$$

де n – кількість операцій;

$$\eta_{\text{з.ф.ср}} = \frac{\sum \eta_{\text{з.ф.}}}{n} = \frac{11,45}{4} = 2,8$$

Оскільки добовий випуск виробів більший добової продуктивності групової лінії, тоді ми застосовуємо потокову форму організації виробництва.

$$N_c > Q_c \cdot 0,6$$

$$1076,95 > 1294 \cdot 0,6 = 776,4;$$

Форма організації виробництва потокова – що і треба було довести.

Розраховуємо такт випуску виробів при такому виді виробництва:

$$t = \frac{60 \cdot F_d}{N} = \frac{60 \cdot 4029}{275700} = 0,8 \text{ хв}$$

$F_d = 4029$ год - дійсний річний фонд роботи пристроїв.

N - програма випуску.

Прийнято масовий тип виробництва з потоковою формою його організації.

4.2 Визначення кількості робітників на дільниці

Кількість основних робітників визначається за формулою:

$$P_B = M_{\text{р.в.}} \cdot m \cdot K_n$$

$m = 2$ – число змін роботи обладнання в добу;

де $M_{p.v}$ – кількість місць робітників-верстатників: $M_{p.v} = \frac{P}{K_m} = \frac{3}{1,2} = 2,5$

де $P=100$ – прийнята кількість верстатів на дільниці;

$K_m=1,2$ – коефіцієнт багатOVERстатного обслуговування;

K_n – коефіцієнт, який враховує додаткову кількість робітників для заміни:

$$K_n = \frac{F_{н.р}}{F_{д.р.}} = \frac{2070}{1820} = 1,1$$

$F_{н.р.}= 2070$ – номінальний річний фонд часу для робітника, год;

$F_{д.р.}= 1820$ –дійсний річний фонд часу для робітника, год.

$$P_v = 2,5 \cdot 2 \cdot 1,1 = 5,5 \approx 6 \text{ чол.}$$

Кількість допоміжних робітників встановлюється за штатним списком відомих аналогічних виробничих дільниць. Дільниці зі невеликою кількістю обладнання

($15 \div 25$ одиниць), як правило загалом, обслуговуються загально цеховим штатом допоміжних працівників.

Кількість допоміжних робітників становить 18-25% від основних робітників.

$$P_d = (18 \dots 25) \cdot P_v \cdot 100\%$$

P_v -кількість основних робітників;

$$P_d = (18 \dots 25) \cdot 0,06 = 1,08 \dots 1,5 \text{ чол.}$$

Приймаємо, $P_d=1$ чол.

Кількість основних робітників важко нормуються і не визначаються. Тому кількість таких робітників визначають у відсотках від числа верстатників:

$$P_{нев} = 6 \cdot 3\% = 0,18 = 1.$$

У механоскладальних цехах рекомендується мати не менше 100 верстатів основного виробництва. Якщо за розрахунками кількість обладнання є значно меншою, тому необхідно провести до завантаження виробництва. Для цього знаходимо, наближено, кількість подібних виробів для виготовлення у цеху за

формулою:

$$B = \frac{C_n}{m_n}$$

де C_n – прийнята кількість верстатів у цеху;

m_n – прийнята кількість верстатів на дільниці виготовлення деталі.

$$B = \frac{100}{3} = 34$$

Уточнюємо кількість верстатів у цеху за прийнятою кількістю виробів:

$$C_n = B_n \cdot m_n = 34 \cdot 3 = 102$$

Ручні місця слюсарів в механічних дільницях:

$M_m = 2\%$ від C_n .

$$M_m = 0,02 \cdot 102 = 2.$$

Розрахунок верстатників визначають з урахуванням кількості прийнятих верстатів в цеху:

$$P_v = \frac{C_n \cdot F_{д,д} \cdot K_3 \cdot K_v}{F_{д,д} \cdot K_m}$$

де C_n – прийнята кількість верстатів в цеху;

$F_{д,о}$ – дійсний річний фонд часу роботи обладнання;

$F_{д,р}$ – дійсний річний фонд часу роботи робітника;

K_m – коефіцієнт багатостатного обслуговування;

$K_3 \cdot K_v = 0.8$ – коефіцієнти завантаження та використання обладнання: для Масового типу виробництва

$$P_v = \frac{102 \cdot 4029 \cdot 0.8}{1820 \cdot 1.5} = 120$$

Кількість слюсарів : $2\% \cdot P_v = 0,02 \cdot 120 = 3$.

До виробничників та працівників належать наладчики, кількість яких визначається за нормативами. Необхідна кількість наладчиків для технологічних операцій:

$$005 \quad P_{н1} = 2$$

$$010 \quad P_{H2} = 3$$

$$015 \quad P_{H3} = 4$$

$$020 \quad P_{H4} = 4$$

Кількість наладчиків:

$$P_H = 2 + 3 + 4 + 4 = 13$$

Загальна кількість основних робітників цеху:

$$P_0 = P_B + P_H + P_{cl} = 120 + 3 + 13 = 136$$

Розрахунок кількості і складу працюючих в цеху

Допоміжні складають для масового виробництва $P_d = 0,50 \cdot 136 = 68$.

Молодший обслуговуючий персонал – $P_{моп} = 0,03 \cdot (136 + 68) = 6,12 = 7$.

Інженерно-технічні працівники – $P_{ітп} = 0,12 \cdot (136 + 68) = 24,48 = 25$.

Лічильно-конторський персонал – $P_{лкп} = 0,05 \cdot (136 + 68) = 10,2 = 11$.

Всього працюючих в цеху:

$$P_{пр} = P_0 + P_d + P_{моп} + P_{ітп} + P_{лкп} = 136 + 68 + 7 + 25 + 11 = 247 \text{ ч.}$$

4.3 Розрахунок виробничої площі дільниці

При укрупненому розрахунку виробничих площ цеху використовують питомі площі, які приходять на одиницю обладнання, на одне робоче місце або одного робітника.

Виробнича площа механоскладального цеху розраховується за формулою:

$$F_{\text{вир}} = C_n \cdot F_{\text{вер}}$$

де C_n – прийнята кількість основних верстатів цеху; $F_{\text{вер}} = 1$ – питома площа на 1 верстат, м^2

Таблиця 4.2 – Розрахунок виробничої площі дільниці

№	Верстат	Площ	Пито	Кількіс	Загаль
	ат	а, м^2	ма площа,	ть	на площа, м^2

			м ²		
1.	1А61 6	3×1,4	26	1	26
2.	6М82 У	3,6×3 ,2	40	1	40
3.	6А12 А	4,8×3	40	1	40
Су ма				3	106

$$F_{\text{вир}} = 26 + 40 + 40 = 106 \text{ м}^2$$

Площа механоскладального цеху: $F_{\text{вир}} = \sum m_{\text{ц}} \cdot F_{\text{вер,д}}$

Де $m_{\text{ц}}$ – кількість однотипного обладнання в цеху;

$F_{\text{вер,д}}$ – питома площа на 1 верстат (табл.4.3).

Таблиця 4.3 – Розрахунок виробничої площі цеху

№	Верстат	Площа, м ²	Питома площа, м ²	Кількість	Загальна площа, м ²
1.	1А61 6	3×1,4	26	34	884
2.	6М82 У	3,6×3 ,2	40	34	1360
3.	6А12 А	4,8×3	40	34	1360
Су ма				102	3604

$$F_{\text{вир}} = 884 + 1360 + 1360 = 3604 \text{ м}^2$$

Виробнича площа ділянки визначається за формулою:

$$F_{\text{вир.скл}} = F_{\text{вир}} \cdot (30 \dots 40\%) = 3604 \cdot 0,39 = 1405,5\text{м}^2$$

Де $F_{\text{вир}}$ -виробнича площа цеху;

Приймаємо, $F_{\text{вир.скл}} = 1406\text{м}^2$

4.4 Розробка технологічного планування ділянки

По розрахунках даного механоскладального цеху вибираємо наступну сітку колон, яка містить ширину прольоту $L = 24$ м і крок колон $t = 12$ м. Загальна довжина цеху складає 84 м і ширина – 24 м. Розміри основних колон в поперечному перерізі складають $0,5 \times 0,5$ м. В цеху розміщений наскрізний головний магістральний проїзд шириною 4м. Вїзд та виїзд з цеху транспортних засобів супроводжується відкриванням та закриванням двостулкових воріт, з розмірами 3×3 м.

РОЗДІЛ 5

СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

5.1 Адитивні технології (3д-друк) та гібридне виробництво лопаток газотурбінного двигуна

Це одна з найбільш вимогливих сфер інженерії, де деталі працюють при температурах, що перевищують температуру плавлення їх власного металу (завдяку охолодженню) та під великим відцентровим навантаженням.

Чому самі адитивні технології?

Традиційне лиття вже досягло своєї межі в плані складності внутрішніх каналів охолодження, а адитивні технології дозволяють складне охолодження, створюючи внутрішні структури, такі як гіроїдні решітки, які неможливо відлити.

Ремонтопридатність - дають можливість відновлювати зношені лопатки замість їх повної заміни (що економить до 70% вартості).

Швидкість – скорочення циклу розробки прототипів з місяців до днів.

Основні технології 3-д друку для лопаток

Спікання в шарі порошку – лазер пошарово сплавляє металевий порошок. Такий метод застосовується для виготовлення лопаток зі складною внутрішньою геометрією також соплових апаратів та форсунок. Перевагою такого методу є точність для каналів охолодження.

Електронний промінь у вакуумі. Застосовуються для лопаток з алюмінію титану для турбін низького тиску. Перевагою є те, що вакуум запобігає окисненню, а висока температура камери знижує залишкові напруження, тобто деталь не «веде».

Пряме осадження енергії – лазер створює ванну розплаву, в яку потрапляє порошок або дріт. Застосовується в основному в нарощуванні елементів на існуючих деталях.

Гібридне виробництво – це не просто 3-д друк, це поєднання адитивних та субтрактивних процесів часто на одному верстаті.

1- Розумний ремонт .

Найбільше масове застосування, лопатки турбін часто зношуються по вершині через тертя.

Пошкоджена лопатка сканується 3-д сканером.

ПЗ порівнює реальну геометрію з еталоном і генерує унікальний код для відновлення втраченого об'єму.

Робот направляє суперсплав на зношену ділятку, той самий верстат фрезерує наплавлену ділянку до мікронної точності.

2- Гібридне виготовлення з «нуля».

Друк цілої лопатки є дорогим і повідбним, тому цей підхід пропонує виготовити «кокіль» та просту частину лопатки традиційним методом (лиття або поковка).

Додрукувати на 3-д принтері складну верхівку або аеродинамічну частину з каналами охолодження методами зазначеними вище.

Революція охолодження: Гіроїдні структури

Найбільша перевага 3-д друку – це можливість інтеграції каналів охолодження безпосередньо в тіло лопатки.

Традиційно: Канали свердлять електрохімічним або лазерним методами, що обмежує їх форму прямими лініями.

3-д друк: Дозволяє створювати змієподібні канали та ґратчасті структури всередині стінки лопатки. Це збільшує площу тепловіддачі та дозволяє підвищити температурку газів перед турбіною (що підвищує ККД двигуна), не розплавляючи лопатку.

5.2 Дослідження селективного лазерного плавлення (SLM/DMLS)

Дослідження в цій галузі поділяються на два напрямки: матеріалізованих – мікроструктура та дефекти, та технологічний – параметри друку та постобробка.

Головна відмінність SLM від лиття – це надзвичайно висока швидкість охолодження. Це кардинально змінює структуру металу.

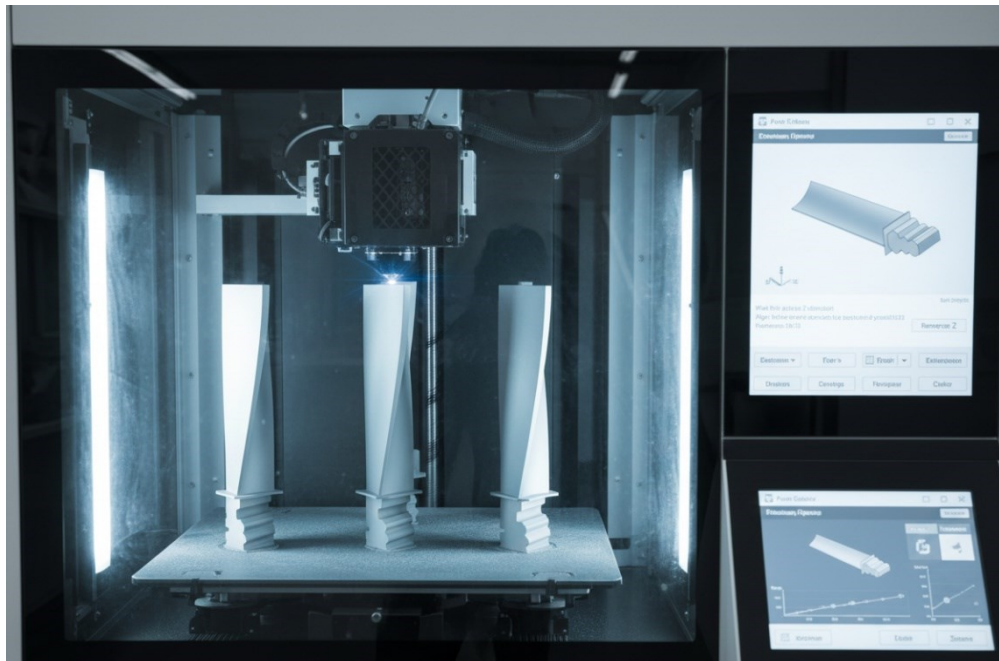


Рисунок 5.1 – Проце виготовлення лопатки газотурбінного двигуна за допомогою 3-д принтеру з титановим напилення



Рисунок 5.2 – Результат 3-д друку

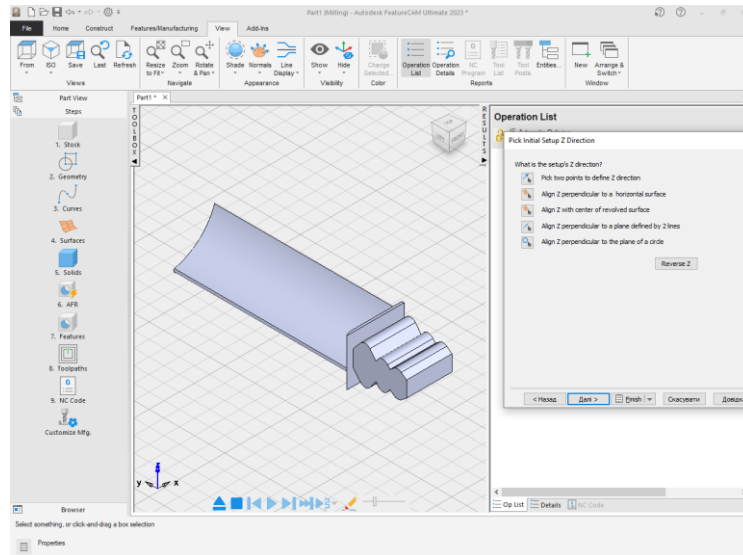


Рисунок 5.3 – Розташування деталі у віртуальному просторі програми Future CAM

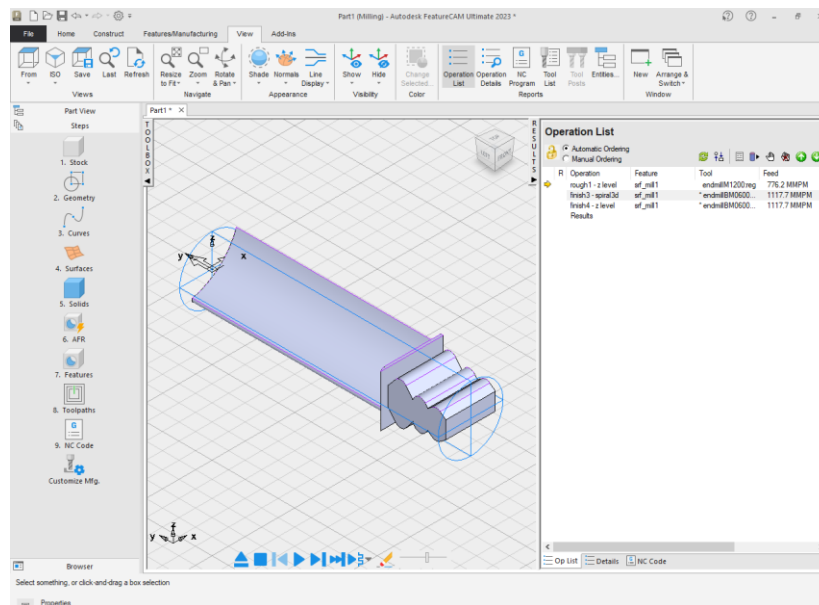


Рисунок 5.4 - Вибір форми заготовки для лопатки газотурбінного двигуна

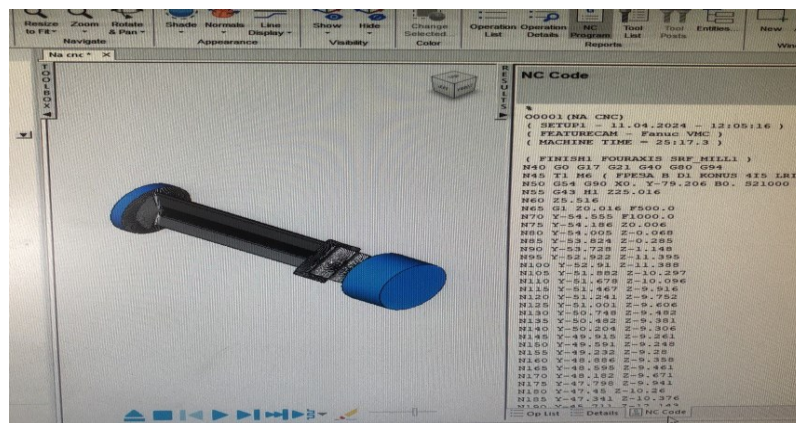


Рисунок 5.5 – Програмна обробка деталі



Рисунок 5.6 – Виготовлення макету на верстаті з ЧПУ



Рисунок 5.7 – Результат обробки дерев'яного макету лопатки заготурбінного двигуна

5.3 Порівняльна характеристика типового технологічного процесу і технологічного процесу гібридних технологій

Лопатки турбін високого тиску виготовляються з жароміцних нікелевих суперсплавів. Сучасна наука працює над 3д-друком монокристалів – використовуючи специфічні стратегії сканування променем, але в серійному виробництві для найгарячіших зон досі длінує лиття. 3д-друк ідеальний для найгарячіших лопаток та пальників.

Таблиця 5.3 – Порівняльна характеристика типового технологічного процесу і технологічного процесу гібридних технологій.

Характеристика	Традиційне лиття (SX)	3D-друк (SLM/DED)
Структура зерна	Монокристал (один суцільний кристал, немає меж зерен).	Полікристал (багато дрібних зерен).
Жароміцність	Максимальна (найкращий опір повзучості).	Нижча (межі зерен слабшають при високих Т).
Застосування	Турбіна високого тиску (найгарячіша зона).	Турбіна низького тиску, статори, ремонт вершин.

Висновок: Гібридне виробництво змінює індустрію ремонту лопаток газотурбінного двигуна. Замість того, щоб викидати лопатку з монокристалічного сплаву, її запаюють маніпуляторами. У виробництві нових деталей майбутнє за поєднанням: прості частини - лиття або поковка, складні теплообмінні зони – 3д-друк.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі удосконалено ТП виготовлення лопатки МЛВ-24 газотурбінного двигуна за допомогою програми Future CAM, при масовому виробництві, з потоковою формою його організації. По наших розрахунках при виготовленні даної деталі використовують токарний та горизонтально-, вертикально-фрезерний верстати.

Також досліджено адитивні технології та гібридне виробництво лопаток газотурбінного двигуна

У загальній частині розглянуто службове призначення, ТУ і характеристика об'єкта виробництва, аналіз технічних умов на деталь, вибір методу одержання заготовок, вибір методу обробки деталі, аналіз програми випуску, визначення типу та організаційної форми нашого виробництва.

У технологічній частині розглянуто аналіз технологічності конструкції деталі, вибір і обґрунтування технологічних баз, визначення допусків на технологічні розміри і розрахунки припусків, розмірний аналіз технологічного процесу, розрахунок режимів різання, вибір обладнання, нормування технологічного процесу.

У конструкторській частині розглянуто проектування технологічного оснащення, вибір і обґрунтування принципу дії структурної схеми, силовий розрахунок параметрів приводу, розрахунок на точність, загальний опис конструкції. Розраховали план ділянки, де визначили кількість основних робітників ділянки, кількість допоміжних робітників ділянки, розраховали виробничу площу за нормативами питомих площ.

У спеціальному розділі зробили порівняльну характеристику типового технологічного процесу і використання адитивних технологій. Впровадження гібридного виробництва в технологічні процеси забезпечує значні переваги з точки зору ефективності, точності, гнучкості, економічності та управління даними.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кваліфікаційна робота: методичні вказівки до оформлення кваліфікаційних робіт для здобувачів першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівнів вищої освіти всіх освітніх програм денної та заочної форм навчання / уклад. Н.В. Ковальчук, Ю.Г. Фесіна, І.Л.Заблоцька Луцьк : ЛНТУ, 2023. 46 с.
2. Інноваційні підходи в підготовці магістрів з прикладної механіки : навч. посіб. / Т. Є. Божко, Б. П. Валецький, Л. М. Самчук, Т. І. Четвержук . – Луцьк : Вежа-Друк, 2024. 324 с.
3. Методичні рекомендації до написання кваліфікаційної роботи за ступенем вищої освіти «магістр» : метод. рекомендації для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти освітньої програми «Прикладна механіка», спец. 131 Прикладна механіка, галузі знань 13 Механічна інженерія денної та заоч. форм навч. / уклад.: Т. І. Четвержук, Р. М. Полінкевич. Луцьк: ЛНТУ, 2024. 48 с.
4. Дмитрієв Д.О. Кінетостатичний аналіз каркасних компонок верстатів з механізмами паралельної структури // Науковий журнал "Технологічні комплекси" №2, 2010. С. 40-45.
5. Борозенець Г.М., Павлов В.М., Семак І. В. Деталі машин : Навчальний посібник. – К.: Видавничий дім «Кондор», 2021. 220 с.
6. Головня В.Д. САПР технологічних процесів : конспект лекцій / В.Д. Головня. Житомир : Житомирська політехніка, 2019. 200 с.
7. Ямпольский Л.С. та ін. Елементи роботи технічних пристроїв і модулі ГВС: Підручник / Л.С. Ямпольський, М.М. Поліщук, М.М. Ткач; За заг. ред. Л.С. Ямпольського. К.: Вища шк., 1992. 431 с.
8. Павленко І.І., Мажара В.А. Роботизовані технічні комплекси / Под ред. Павленко І.І. Навчальний посібник. 2012 - 393с.

9. Khalifa H. Harib, Kamal A.F. Moustafa, A.M.M. Sharif Ullah and Salah Zenieh: Parallel, Serial and Hybrid Machine Tools and Robotics Structures: Comparative Study on Optimum Kinematic Designs. Pp.110-124.

10. Технологічні машини. Розрахунок і конструювання: Навчальний посібник / Ю.В. Кодра, З.А. Стоцько; За ред. З.А. Стоцька. Львів: Бескид БІТ, 2004.. 466с.

11. Павленко І.І., Мажара В.А. Продуктивність функціонування двозахватних промислових роботів на позиціях допоміжних пристроїв // Прогресивні технології і системи машинобудування. Міжнародний збірник наукових праць. Вип. 30. Донецьк: ДонНТУ, 2005. С. 170-175.

12. Павленко І.І., Мажара В.А. Конструктивно-кінематична структура двозахватних пристроїв промислових роботів // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. Вип. 19. Краматорськ: Київ, 2006. С. 104-109.

13. Антонюк В.С., Клименко С.Ан., Клименко С.А. Теплові явища при обробці різанням: Навч. посібник. К.: НТУ України «КПІ», 2014. 156 с.

14. Obertyukh, R., Slabkyi A., Polishchuk, L., Povstianoi, O., Kumargazhanova, S., & Satymbekov, M. (2022). DYNAMIC AND MATHEMATICAL MODELS OF THE HYDROIMPULSIVE VIBRO-CUTTING DEVICE WITH A PRESSURE PULSE GENERATOR BULT INTO THE RING SPRING. *Informatyka, Automatyka, Pomiaru W Gospodarce I Ochronie Środowiska*, 12(3), С. 54-58.

15. Halchuk T. N., Povstyanoy O. Yu., Bembenek M., Redko R. G., Chetverzhuk T. I., Polinkevych R. M. (2023). Impact of technological system's characteristics on the machining accuracy of bearing rings. *Journal of Engineering Sciences*, Vol. 10(1), pp. A22-A30, doi:10.21272/jes.2023.10(1). a4.

16. Zaleta O. M., Povstyanoy O. Yu., Ribeiro L. F., Redko R. G., Bozhko T. Ye., Chetverzhuk T. I. (2023). Automation of optimization synthesis for modular technological equipment. *Journal of Engineering Sciences*, Vol. 10(1), pp. A6-A14, doi: 10.21272/jes.2023.10(1).a2.

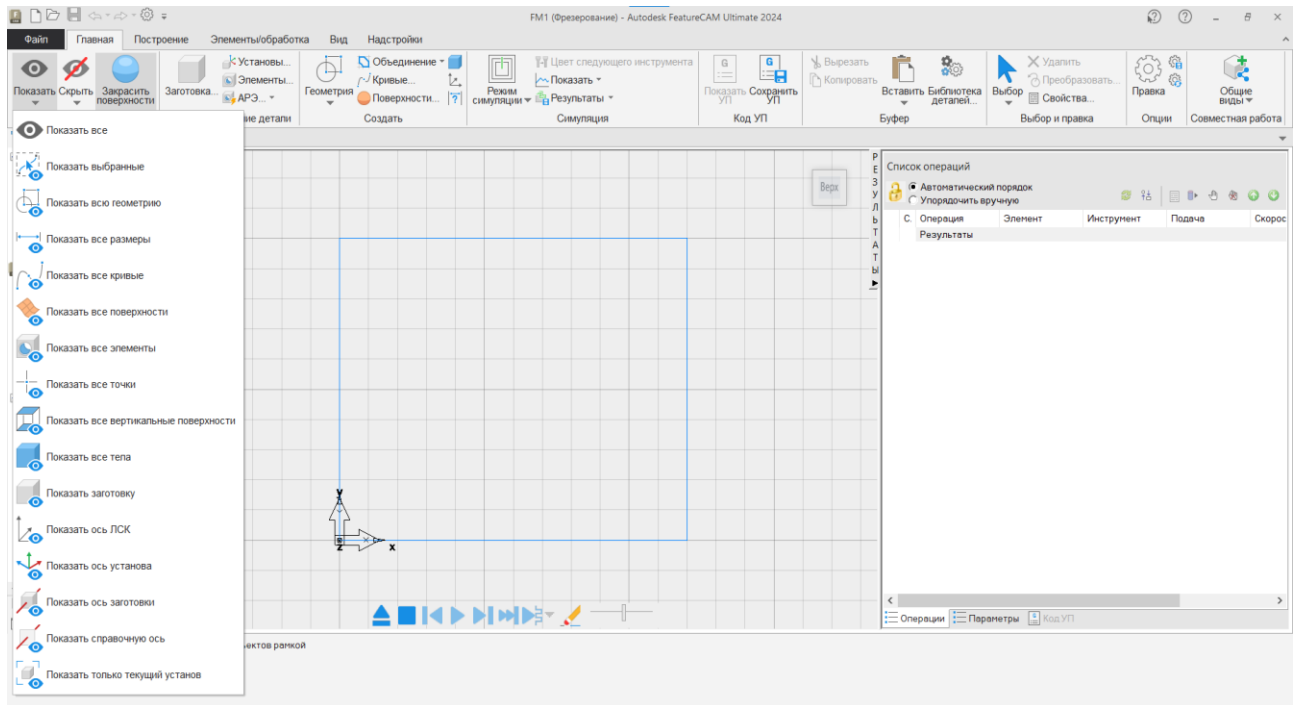
17. Povstyanou O., MacMillan A. (2021). *Mechatronic system's permeable materials with controlled porosity. Journal of Engineering Sciences, Vol. 8(1), pp. C45–C49, doi: 10.21272/jes.2021.8(1).c DOI: 10.21272/jes.2021.8(1).*

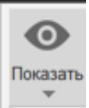
18. Редько Р.Г. Дослідження сили різання при розточуванні гвинтових нежорстких деталей машин / Р.Г. Редько, О.Ю.Повстяной, Р.М. Полінкевич, Т.І. Четвержук // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Том 1, №20, 2023. С.26-32.

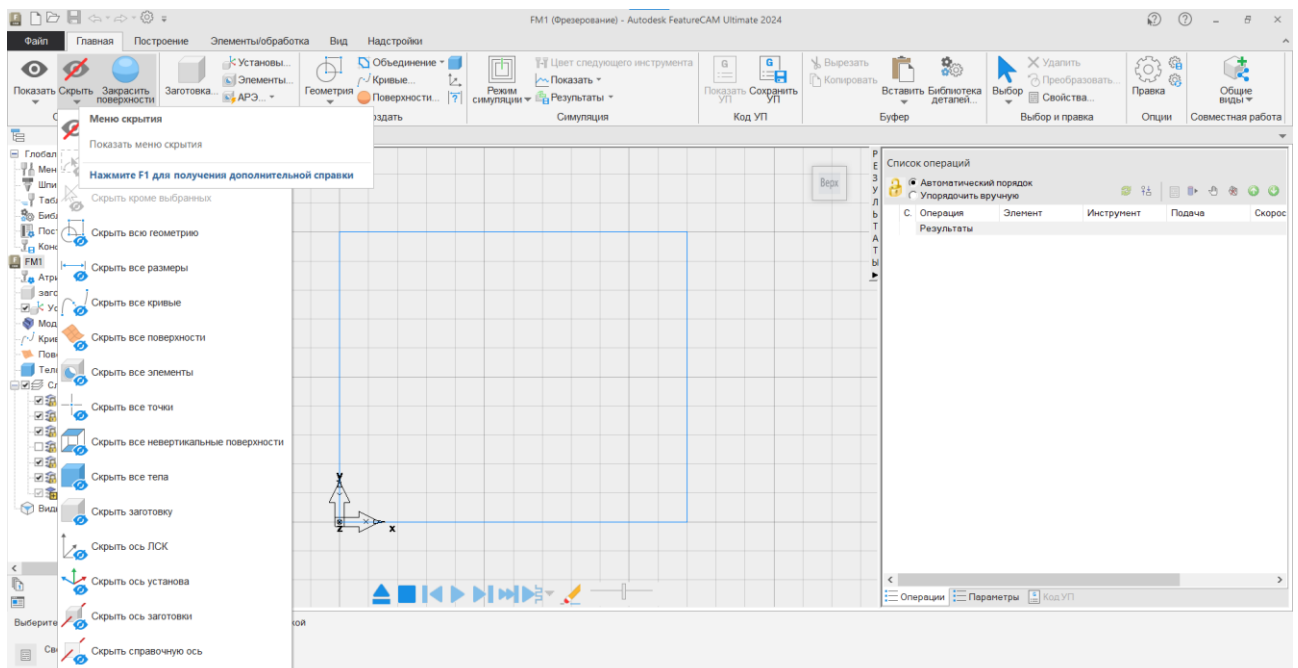
19. Повстяной О.Ю., Полінкевич Р.М., Редько Р.Г., Четвержук Т.І. Технологія п'ятикоординатної обробки на фрезерних верстатах з ЧПУ // ВАЖКЕ МАШИНОБУДУВАННЯ. ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ: Матеріали ХХІІ Міжнародної науково-технічної конференції (м.Краматорськ - Тернопіль, ДДМА, 28-30 травня 2024 р.). С.154.


ДОДАТКИ

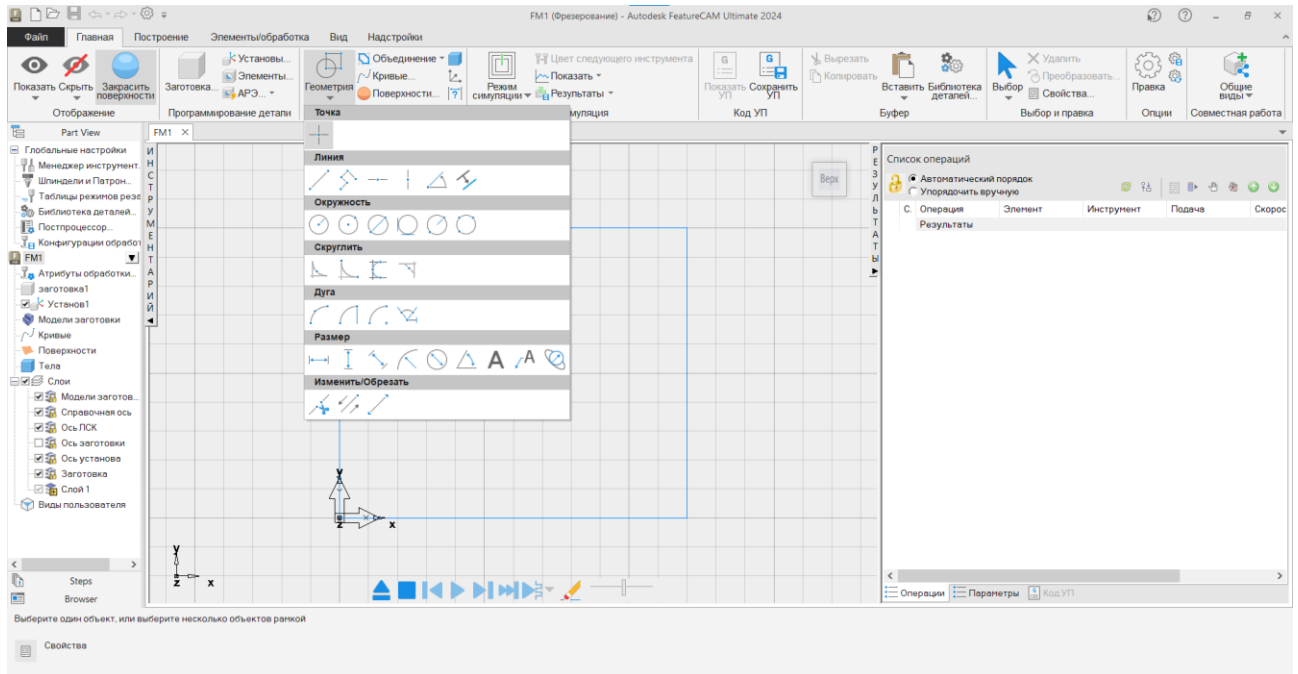
РОЗБІР РОБОЧОЇ ЗОНИ ПРОГРАМИ FUTURE CAM




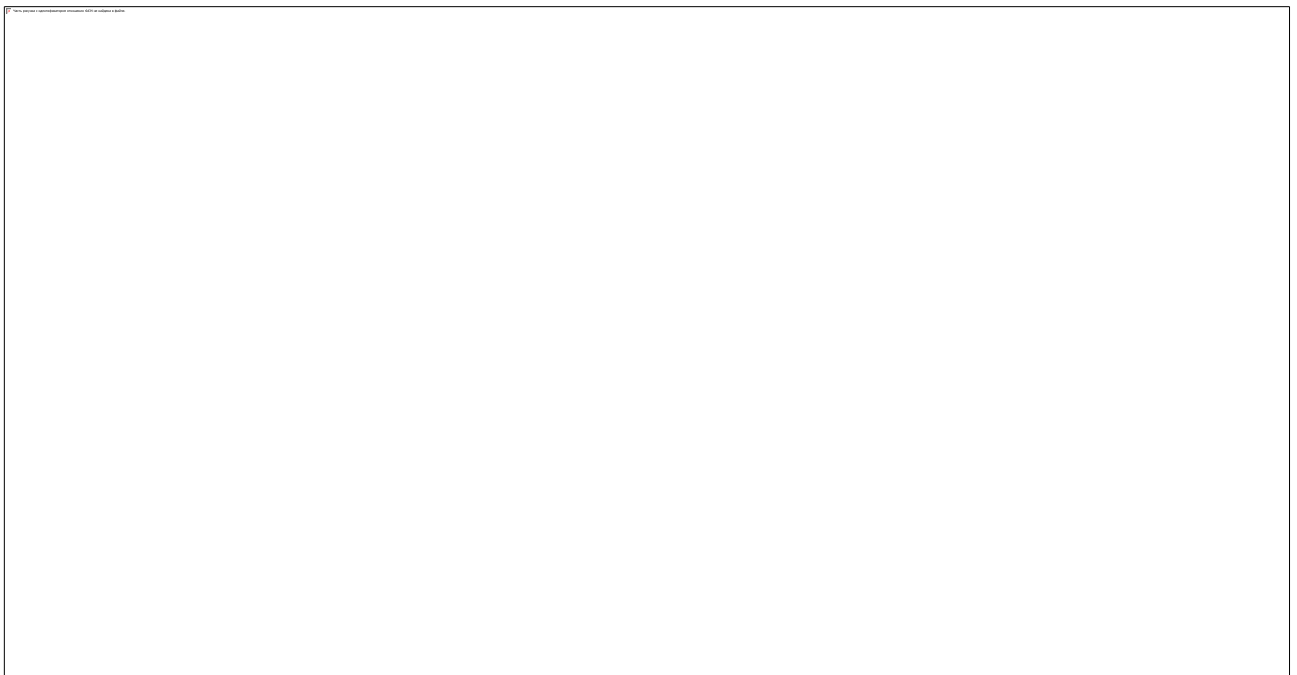
1.  Функціонал кнопки дає можливість переглянути усі елементи одного типу.




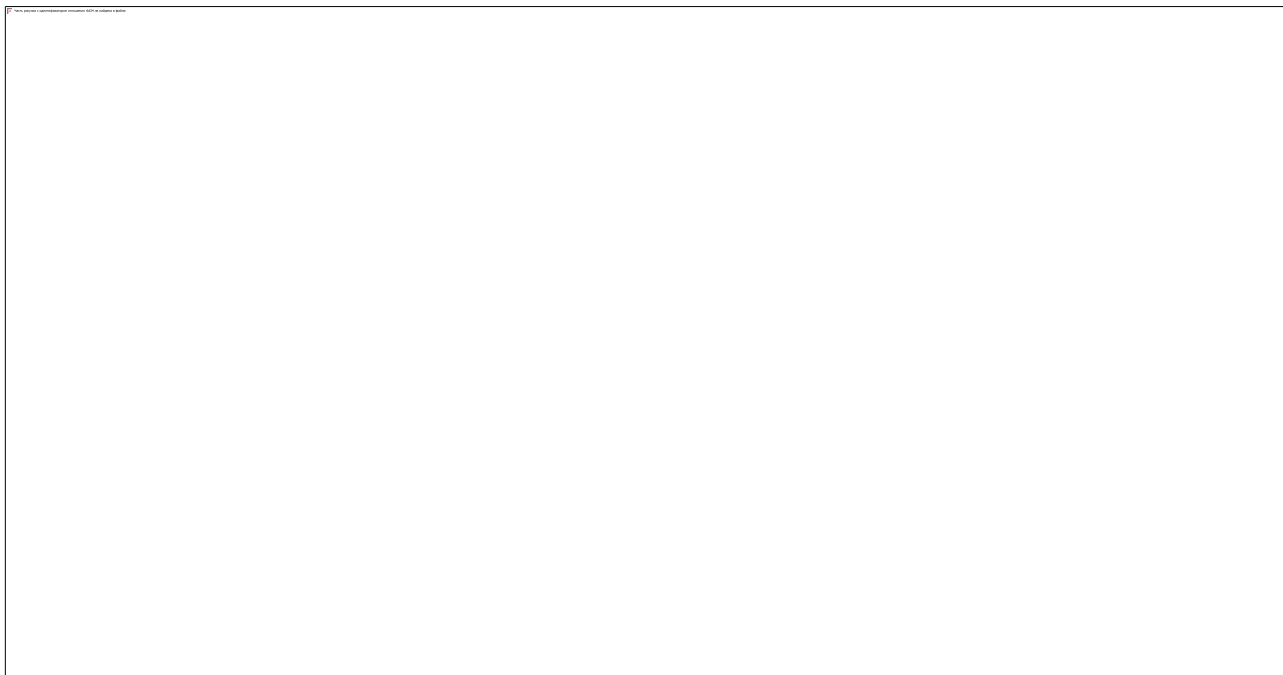
2.  Функціонал кнопки дає можливість приховати усі елементи одного типу.




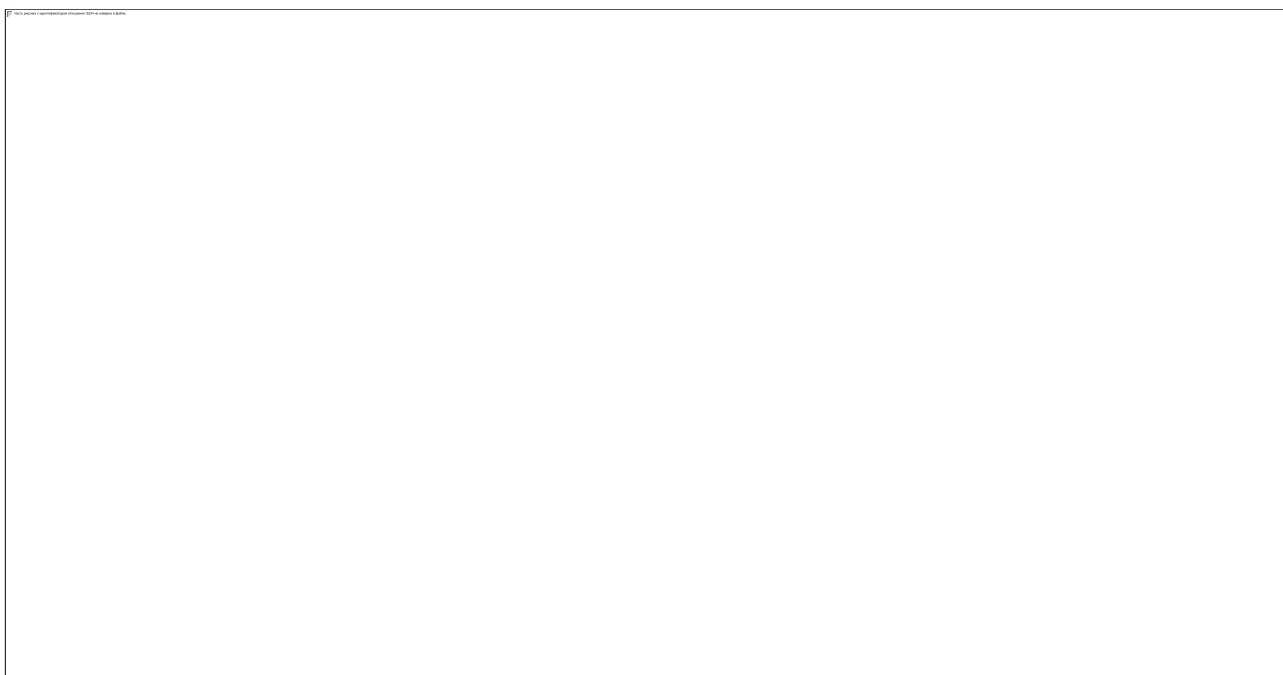
3.  Функціонал кнопки дає можливість відобразити геометричні фігури чи елементи.




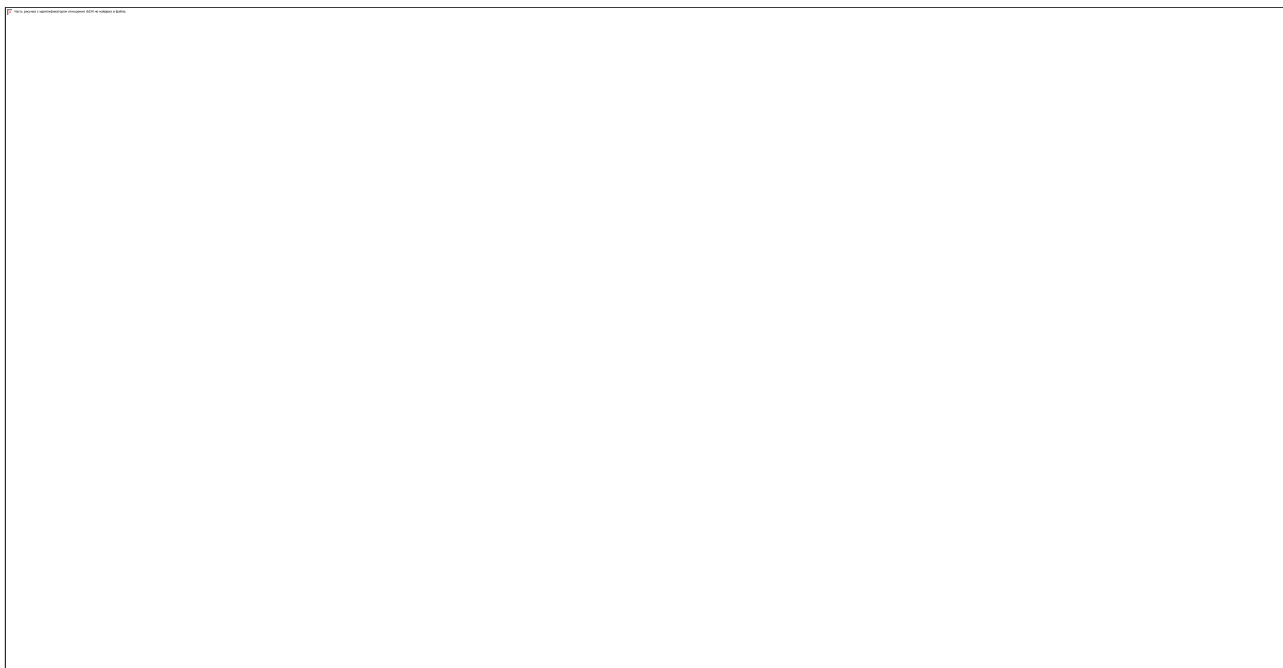
4.  Функціонал кнопки дає можливість об'єднати певні елементи об'єкту.




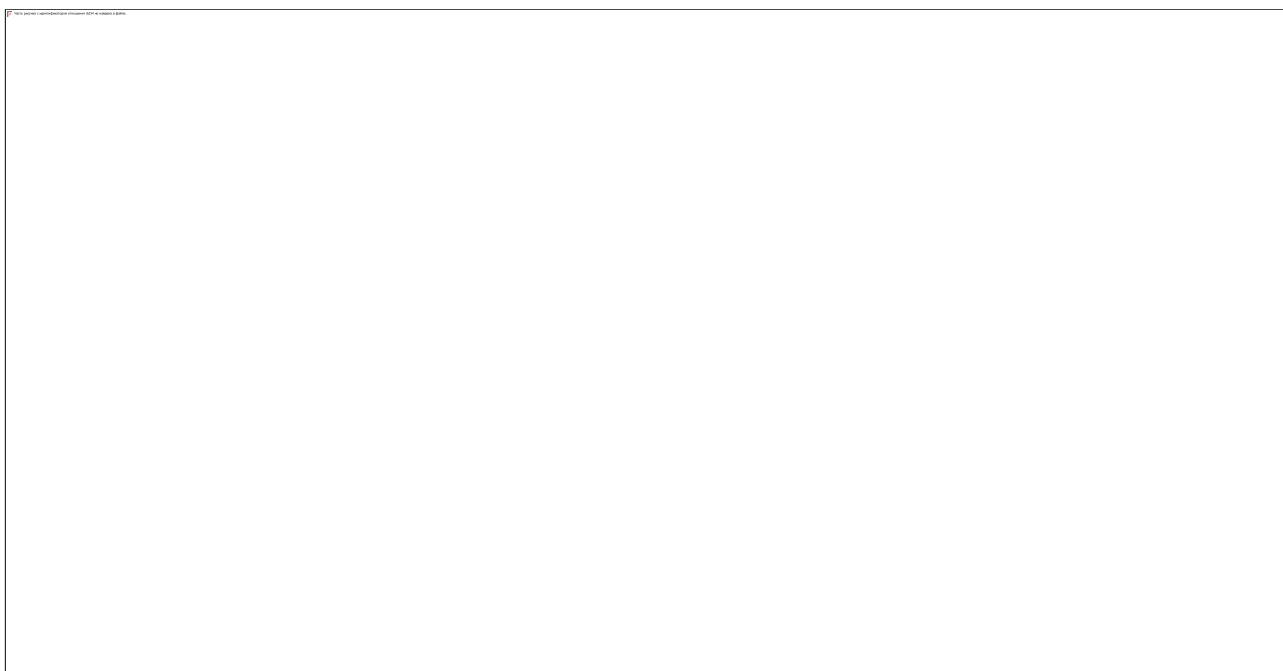
5.  Функціонал кнопки дає можливість зробити проекцію траєкторії руху інструменту по заготовці.



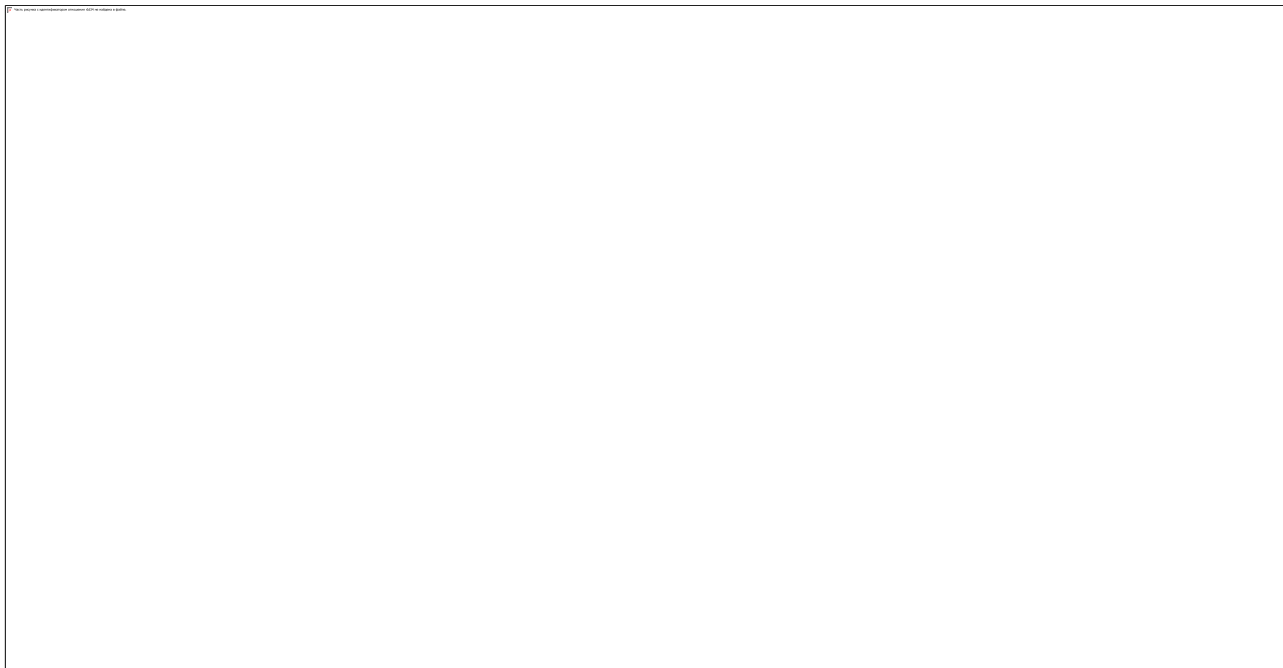
6.  Функціонал кнопки дає можливість показати проекцію траєкторії руху інструменту по заготовці.



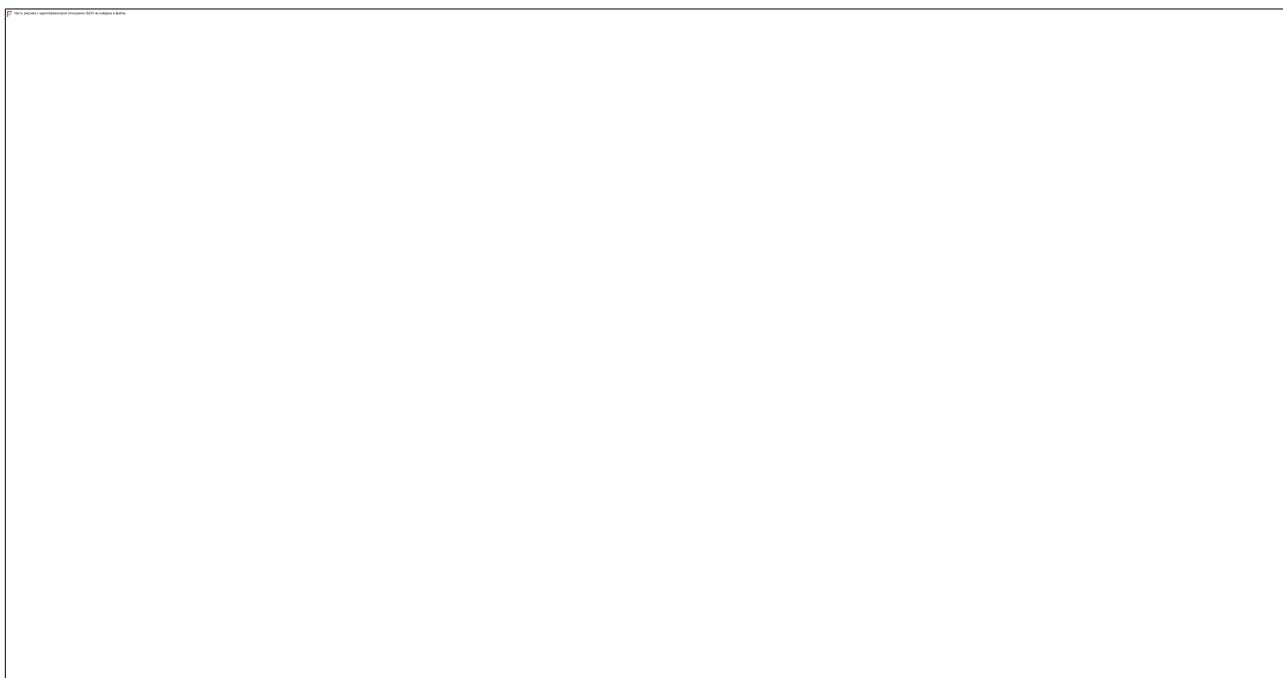
7.  Функціонал кнопки дає можливість зберегти результати проекції траєкторії руху інструменту по заготовці.




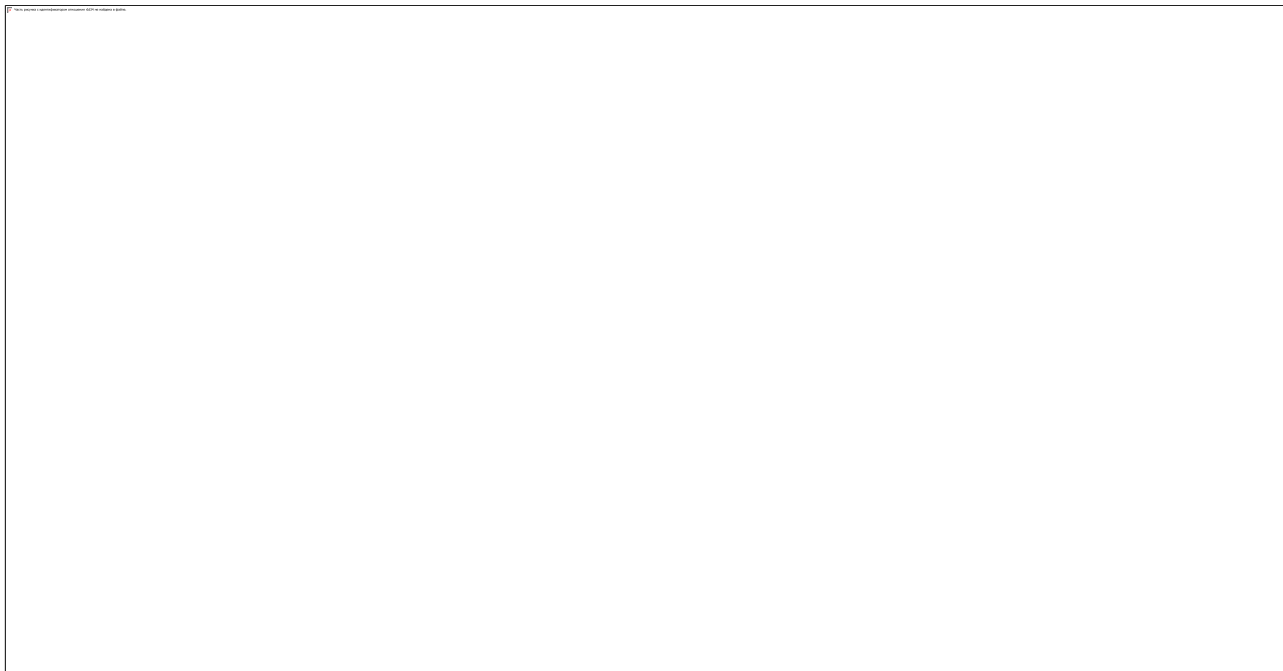
8.  Функціонал кнопки дає можливість вставити спеціальні елементи деталі.



9.  Функціонал кнопки дає можливість виділити окрему частину деталі.

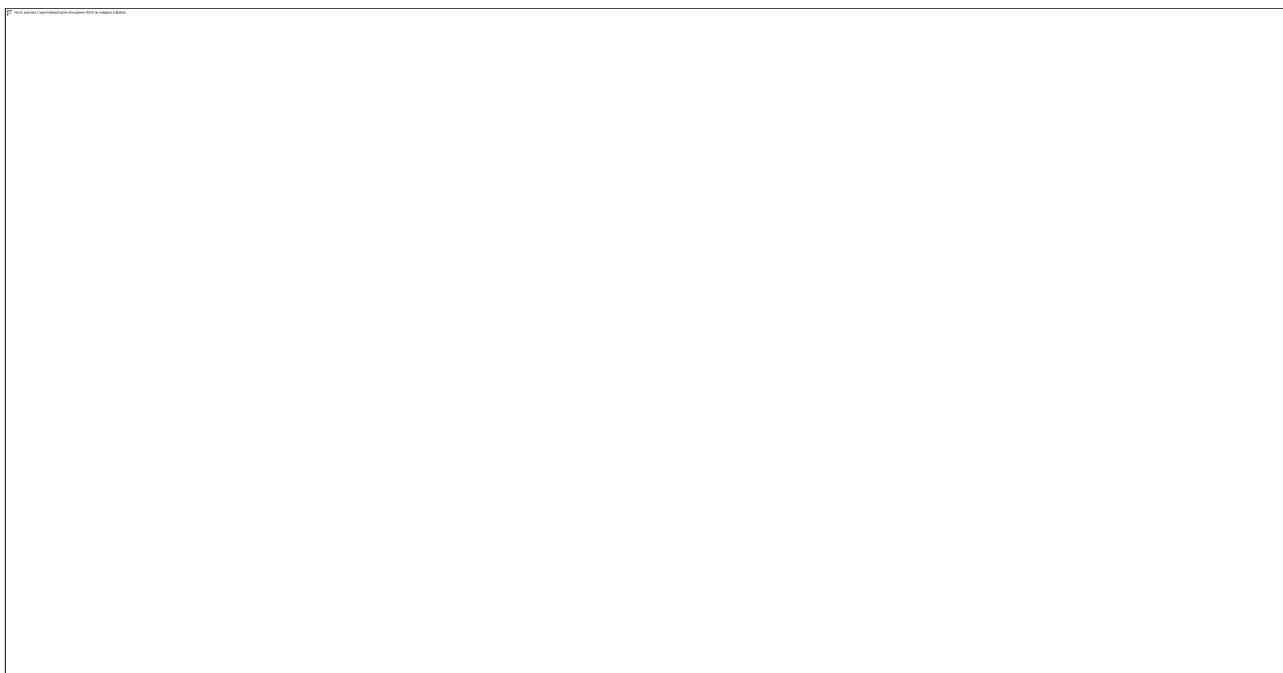


10.  Функціонал кнопки дає можливість показати вид розміщення деталі в просторі.



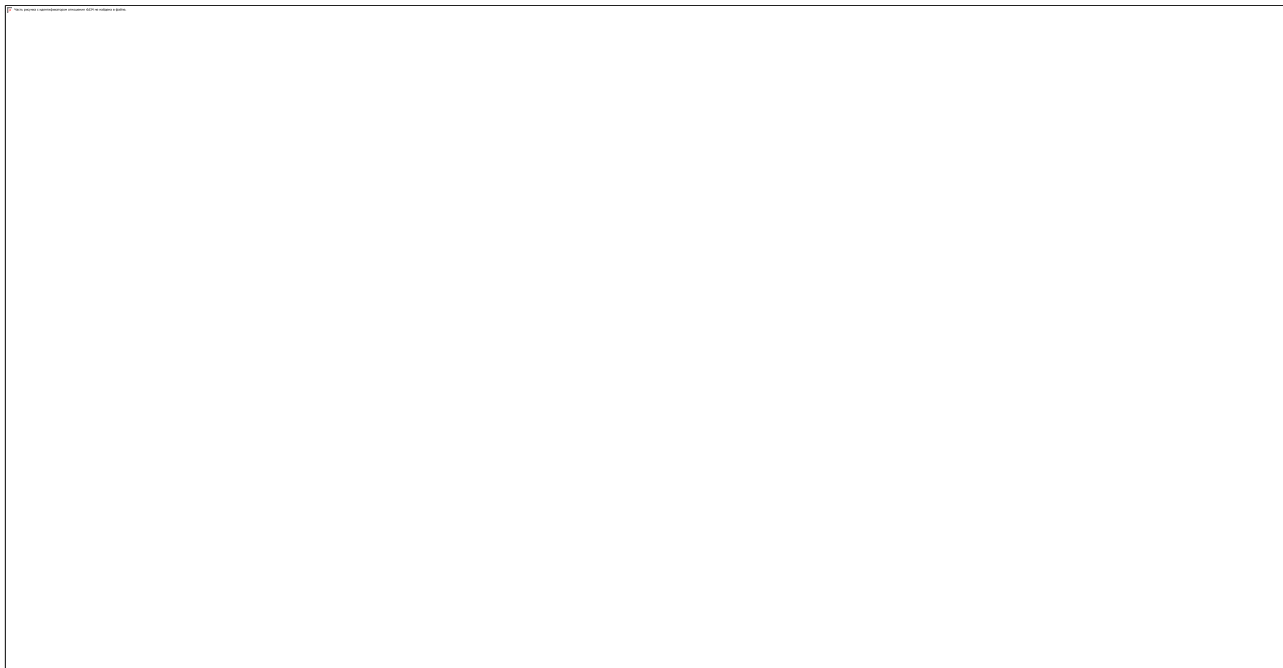
11.

Функціонал вкладки дає можливість спроектувати деталь відразу в програмі Future CAM

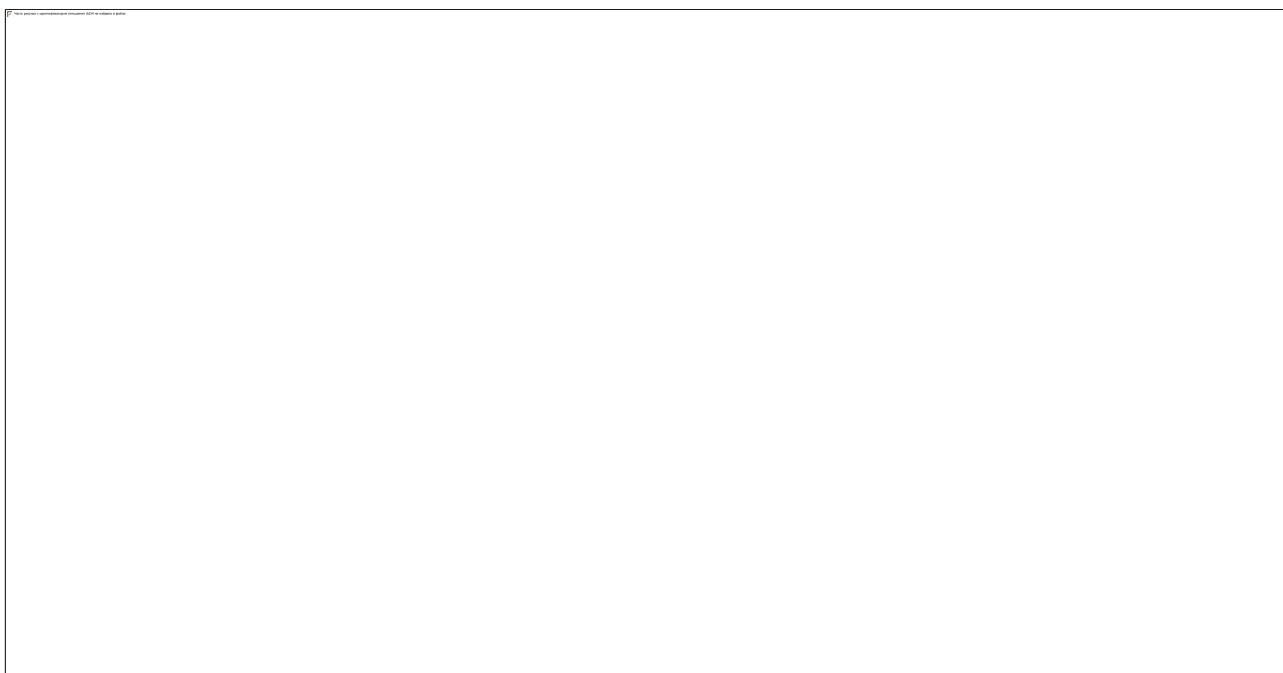


12.

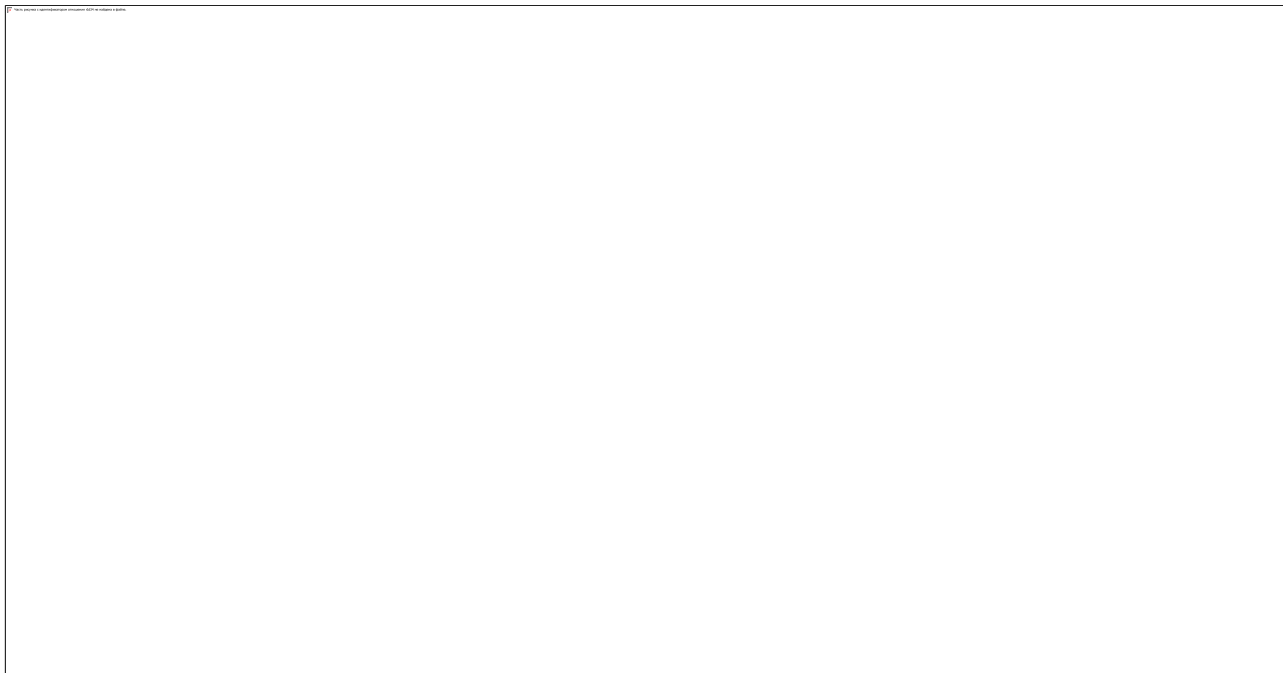
Функціонал кнопки дає можливість вибрати тип обробки заготовки по розмірам.




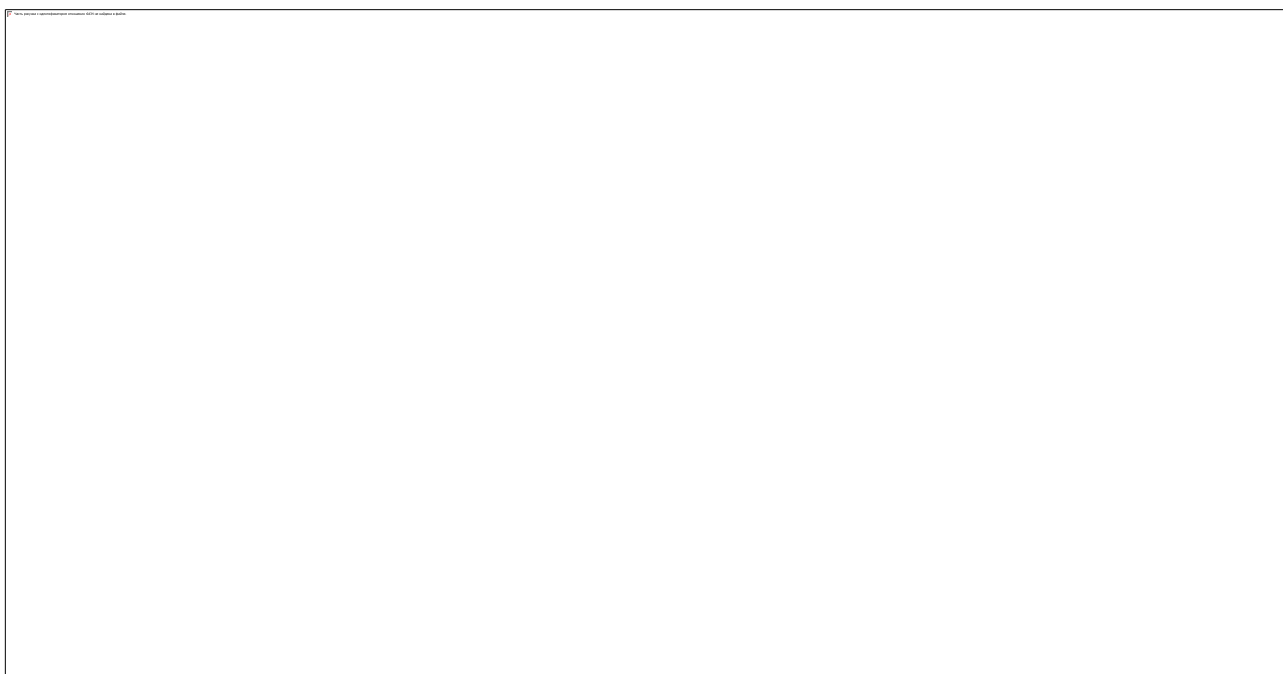
13. Функціонал кнопки дає можливість вибрати тип обробки заготовки по лініям.




14. Функціонал кнопки дає можливість вибрати тип обробки заготовки по поверхням.



15.  Функціонал кнопки дає можливість показати проекцію деталі в різних видах.



16.  Функціонал кнопки дає можливість розвернути заготовку в різні боки