

До захисту  
23.05.2025  
Богданов

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»

Механіко-машинобудівний факультет  
Кафедра Технологій машинобудування та матеріалознавства  
(повна назва)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
кваліфікаційної роботи ступеня магістра

Здобувача вищої освіти Буряка Ігоря Сергійовича  
(ПІБ)  
академічної групи 131М-23н-1  
(шифр)  
спеціальності 131 Прикладна механіка  
(код і назва спеціальності)  
за освітньо-науковою програмою  
Наскрізний інжиніринг машинобудівного виробництва  
(офіційна назва)

на тему Підвищення ефективності механічної обробки деталі складної форми за умови використання CAD/CAM систем

за наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 28.04.25 №317-с  
(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи розділів	Богданов О.О.	86	добре	Богданов
Аналітичний	Богданов О.О.	86	добре	Богданов
Технологічний	Богданов О.О.	86	добре	Богданов
Спеціальний	Богданов О.О.	86	добре	Богданов
Науково-дослідницький	Богданов О.О.	86	добре	Богданов
Рецензент	Анциферов О.В.	82	добре	Анциферов
Нормоконтролер	Рубан В.М.	80	добре	Рубан

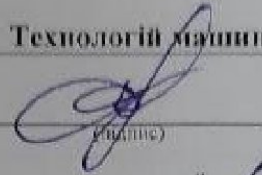
Встановлено, що матеріали даної кваліфікаційної роботи містять чутливу інформацію щодо реальних об'єктів критичної інфраструктури України, національної безпеки і оборони України, зокрема відомості про їх місце розташування, службове призначення, конструкторську і технологічну документацію, описи конструкторських матеріалів та їх властивості, іншу додаткову літературу та посилання. У зв'язку з чим такі матеріали не підлягають відкритому оприлюдненню та мають зберігатися відповідно до встановленого режиму закладом освіти.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри

Технологій машинобудування та матеріалознавства  
(повна назва)

  
(підпис)

В.А. Дербоба

(ініціали та прізвище)

« 03 » 02 2025 року

## ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу ступеня магістра

здобувачу вищої освіти Буряку І.С. академічної групи 131М-23Н-1  
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 131 Прикладна механіка

за освітньо-науковою програмою  
Наскрізний інжиніринг машинобудівного виробництва  
(офіційна назва)

на тему Підвищення ефективності механічної обробки деталі складної форми за умови використання CAD/CAM систем

### 1 ПІДСТАВИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

Наказ ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 28.04.25 № 317-с

### 2 МЕТА ТА ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБИ

Об'єкт досліджень – процес механічної обробки деталі в умовах серійного виробництва

Предмет досліджень – методи підвищення ефективності обробки деталей складної форми за рахунок використання CAD/CAM систем

Мета – підвищення ефективності механічної обробки деталі складної форми шляхом впровадження та оптимізації CAD/CAM систем при проектуванні та виготовленні виробу на верстатах з ЧПК

Вихідні дані для проведення роботи – креслення деталі «Напіввісь», характеристики верстатів та різального інструменту, CAD/CAM системи

### 3 ОЧКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ

Новизна – алгоритмічна модель оптимізації маршруту обробки деталі в середовищі FeatureCAM

Практична цінність – результати роботи можуть бути впроваджені на машинобудівних підприємствах, що мають верстати з ЧПК та CAD/CAM комплекси

#### 4 ВИМОГИ ДО РЕЗУЛЬТАТІВ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Достовірність алгоритмічної моделі маршруту обробки деталі

#### 5 ЕТАПИ ВИКОНАННЯ РОБІТ

Найменування етапів робіт	Строки виконання робіт (початок-кінець)
Аналітичний розділ	03.02.25-16.02.25
Технологічний розділ	17.02.25-02.03.25
Спеціальний розділ	03.03.25-16.03.25
Науково-дослідницький розділ	17.03.25-04.05.25

#### 6 РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ

Економічний ефект – підвищення продуктивності обробки за рахунок алгоритмічної моделі оптимізації обробки деталі

Соціальний ефект – поліпшення умов праці за рахунок удосконалення технологічних процесів виготовлення деталей в умовах серійного виробництва

#### 7 ДОДАТКОВІ ВИМОГИ

Забезпечення відповідності технологічного процесу стандартам ДСТУ, ISO, впровадження автоматизації та використання верстатів з ЧПК

Завдання видано

  
(підпис керівника)

О.О. Богданов  
(підписи та прізвище)

Дата видачі

03.02.2025

Дата подання до екзаменаційної комісії

09.05.2025

Прийнято до виконання

  
(підпис здобувача)

І.С. Буряк  
(підписи та прізвище)

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Аналітичний розділ .....	6
1.1 Технологічний контроль робочого креслення деталі і технічних вимог.....	6
1.2 Технічна характеристика об'єкту виробництва деталі «Напівісь».....	7
1.3 Аналіз технологічності конструкції деталі «Напівісь».....	8
2 Технологічний розділ.....	10
2.1 Вибір та обґрунтування методу отримання заготовки деталі «Напівісь»...	10
2.2 Визначення методів обробки поверхонь деталей «Напівісь».....	11
2.3 Розробка та обґрунтування маршруту виготовлення деталі «Напівісь»	12
2.4 Детальна розробка маршруту обробки деталі «Напівісь».....	16
2.5 Нормування операцій технологічного процесу .....	17
3 Спеціальний розділ.....	25
3.1 Проектування верстатного пристосування.....	25
4 Науково-дослідницький розділ.....	32
4.1 Алгоритмічна модель складання оптимальної технології механічної обробки деталі «Напівісь» в середовищі Feature Cam і SOLIDWORKS...	32
Висновки.....	37
Перелік посилань.....	38
Додаток 1. Специфікація верстатного пристосування.....	40
Додаток 2. Складальний кресленик пристосування.....	41
Додаток 3. Робочий кресленик заготовки.....	42
Додаток 4. Робочий кресленик.....	43

## ВСТУП

Збільшення конкуренції великих машинобудівних концернів, що намітилися тенденції до індивідуалізації виробництва і скорочення виробничих циклів, а також глобалізація ринків і нестабільна ринкова ситуація змушують підприємства здійснювати гнучку політику швидкого реагування виробничих систем і збільшувати продуктивність за рахунок постійного нарощування виробничих потужностей.

Сучасне суспільство постійно відчуває потреби в нових видах продукції. У загальних випадках ці потреби можуть бути задоволені тільки за допомогою нових технологічних процесів, нових машин на основі автоматизації. Для підвищення конкурентоспроможності необхідно стимулювати підприємства до використання нових технологій, що вирішують проблему ефективності виробництва.

Інноваційні процеси повинні бути націлені на автоматизацію і ефективність технічних та організаційних процесів на окремих робочих місцях і підприємстві в цілому. Одним з факторів підвищення ефективності використання сучасних комп'ютерних програм для машинобудування у виробничому середовищі, а зокрема системи CAD-CAM. Ефективне використання систем CAD-CAM забезпечує підвищення рівня виробництва. При використанні CAD-CAM у виробництві вирішуються наступні завдання:

1. Підвищується якість і ефективність праці;
2. Зменшуються витрати на розробку технологічного процесу, і підвищується якість обробки деталей;
3. Значною мірою зменшується час на виготовлення деталі і економічні витрати.

На сучасних машинобудівних заводах успішно впроваджені і використовуються верстати з ЧПК, які в свою чергу потребують застосування нових інформаційних технологій типу CAD-CAM, що дозволяють оптимізувати виробництво складних деталей.

У випускній роботі розглядаються проблемні питання застосування нових технологій, зокрема систем автоматизованого проектування і завдання оптимізації режимних параметрів при виготовленні деталей складної геометрії.

Робота пов'язана з науковим напрямом кафедри технологій машинобудування та матеріалознавства та виконана відповідно договору про співпрацю та договором про нерозголошення конфіденційної інформації та комерційної таємниці з ТОВ «ДТМ-ІНЖИНІРИНГ».

# 1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

## 1.1 Технологічний контроль робочих креслень деталі та їх вимог

Де  
катка, я  
навколо  
відповід  
роль в м

**Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.**

ду  
ня  
ба,  
ну



**Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.**

Ма  
вимоги

я  
и

незначних ударних навантаженнях. Хімічний склад представлений в таблиці 1.

C
0,41 – 0,49

Матері  
механічні в.

**Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.**



фізико-  
КСУ =

490 кДж / м<sup>2</sup>, твердість: 179 - 229НВ. Сталь цього складу обробляється різанням нормально.

Термообробка - гартування поверхонь під підшипник СВЧ. Після термообробки підвищується твердість, але зменшується пластичність.

Дану деталь замінити складальним вузлом або будь-який інший конструкцією не є доцільним.

прє  
дет  
від  
крє  
Ø6  
гео  
тех

**Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.**

енні  
трію  
ня і  
і на  
ийки  
МКМ,  
зною

## 1.2 Аналіз технологічності конструкції деталі

Державним стандартом передбачені якісний і кількісний аналізи технологічності. Деталь «Піввісь», має хороші базові поверхні для початкових операцій і досить проста по конструкції. Наявність центрових отворів забезпечує створення основних технологічних баз і виконання майже всієї обробки з дотриманням принципу сталості баз.

Аналіз технологічності конструкції деталі «Напіввісь» Таблица 3

Показник технологічності	Оцінка технологічності	
	Припустимо	Не припустимо
1. Наявність в деталі стандартних і уніфікованих елементів.	+	-
2. Можливість виготовлення деталі зі стандартних або уніфікованих заготовок.	+	-
3. Наявність оптимальної точності і шорсткості поверхні деталі.	+	-
4. Відповідність фізико-хімічних і механічних властивостей матеріалу, жорсткості, форми і розмірів деталі вимогам технології механічної і термічної обробки.	+	-
5. Відповідність показників базових поверхонь	+	-

деталі вимогам установки обробки і контролю.		
6. Відповідність оформлення робочого креслення деталі вимогам ЄСКД і ЕСТП.	+	-

### 1.3. Аналіз базових технологічних процесів деталей

Аналіз базового технологічного процесу виготовлення дозволяє виявити особливості, які можуть тим чи іншим чином знизити ефективність технологічного процесу, а також дозволяє внести рекомендації і пропозиції в маршрут обробки і змісту операцій.

Аналіз базового технологічного процесу деталі «Напіввісь»:

Базовий технологічний процес передбачає використання в якості заготовки поковки масою 14 кг, з якої передбачено виготовлення двох деталей. Так як маса однієї деталі - 11кг, коефіцієнт використання матеріалу становит 0,78, що економічно не вигідно.

Виготовлення двох деталей з однієї заготовки передбачає додаткові операції по розмітці і розрізання заготовки, а також створює труднощі при центрування заготовки.

Необхідно змінити конфігурацію поковки для зменшення трудомісткості і металоємності виготовлення деталі.

## 2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

### 2.1. Визначення типу виробництва і форми його організації

Тип виробництва визначимо, взявши за основу масу деталей і річний обсяг виробництва	<b>Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.</b>	шт / рік.
Маса		
Визначається		
Форми		
залежить		шування
технології		виробництва
виготовлення		
Інтенсивність		
потоків		

Основним показником, що характеризує серійне виробництво, є величина партії деталей, одночасно що запускаються у виробництво. Розмір партії визначається за формулою:

$$n = \frac{N \cdot a}{\Phi} \quad (2.1)$$

де  $a$  – періодичність запуску деталей у виробництво. Визначається в днях. Можливі значення – 3, 6, 12, 24. Для середньо-серійного виробництва приймаємо, що запас деталей на складі забезпечує роботу складального цеху на 3 дні.  $\Phi$  - число робочих днів у році (254 дня).

Отже, для деталі «Напіввісь»:

$$n = \frac{6000 \cdot 3}{254} = 70,86 \approx 71 \quad (2.2)$$

Розмір партії приймаємо 71 штука.

### 2.2 Вибір методу отримання заготовки

При виборі способу отримання заготовки головним чином потрібно забезпечити необхідну якість деталі при її мінімальній собівартості. На вибір способу отримання заготовки великий вплив мають: конфігурація, розміри, маса, марка матеріалу, необхідна точність і якість поверхонь заготовки, тип виробництва.

З метою забезпечення найбільш оптимальних експлуатаційних властивостей деталі «Напіввісь» приймаємо заготовку штампування.

Визначаємо коефіцієнт використання матеріалу для деталі «Напіввісь»

$$K_{\text{и.м.}} = \frac{T_{\text{д}}}{T_{\text{з}}}, \quad (2.4)$$

де  $m_{\text{д}}$  – вага деталі, кг.,  $m_{\text{д}} = 11$

$m_{\text{з}}$  – вага заготівлі, кг.,  $m_{\text{з}} = 14$  – на підставі даних підприємства.

$$K_{\text{и.м.}} = \frac{11}{14} = 0,7$$

### 2.3 Розробка маршрутного технологічного процесу

Основним завданням розробки маршруту є складання загального плану обробки деталі, формулювання змісту операцій технологічного процесу. Результати оформляються у вигляді таблиці 2.1.

Розробку маршруту обробки деталі «Напіввісь» проведемо звикористанням типового технологічного процесу на дану деталь.

Таблиця 2.1

Розробка маршрутного технологічного процесу деталі «Напіввісь»

Розмір	R <sub>a</sub> , мкм	Технологічний перехід	Квалітет, ступінь точності	R <sub>a</sub> , мкм
203	6.3	Фрезерування	H12	6.3
Ø6,3	6.3	Свердління	H12	6.3
M56×1,5	6.3	Точіння Нарізання різьби	h12	6.3
Ø60f7	1.6	Точіння черн.	h12	6.3
		Точіння чист.	h10	3.2
		Шліфування черн.	h8	2.5
		Шліфування чист.	h7	1.6
Ø70f7	1.6	Точіння черн.	h12	6.3
		Точіння чист.	h10	3.2
		Шліфування черн.	h8	2.5
		Шліфування чист.	h7	1.6
Ø90h12	6,3	Точіння	h12	6,3
Ø100h10	3,2	Точіння черн.	h12	6.3
		Точіння чист.	h10	3.2

Ø180h9	3,2	Точіння чорнове Точіння чистове Точіння тонке	h12 h10 h9	6,3 3,2 2,5
8H12	3,2	Фрезерування	h12	3,2
Ø13H12	6,3	Свердління	h12	6,3
M12	6,3	Свердління Нарізання різьби	h12	6,3
Ø8h12	6.3	Свердління	h12	6,3
R1	6.3	Точіння	h12	6,3
R10	6.3	Точіння	h12	6,3

На представлену понад деталь складемо маршрутний технологічний процес:

#### 005. Фрезерно-центрувальна

##### А. Встановити і зняти заготовлю

1. Фрезерувати два торця вісі одночасно
2. Свердлити центрувальні отвори

#### 010. Токарська зі ЧПУ

##### А. Встановити і зняти заготовлю

1. Підрізати торець Ø70h12, точити поверхню Ø90h12, поверхня Ø100h12, поверхня Ø162, послідовно за програмою

2. Точити поверхню під різьбу M56, точити поверхню Ø60h12, попередньо, точити конус Ø64 / 70h12 попередньо, точити Ø70h12 з підрізуванням торця на довжину 37, попередньо, точити Ø90h12 з підрізуванням торця на довжину 1 мм, остаточно, точити фаску 2,5 × 30° з припуском під обробку, точити Ø100h10 на довжину 19 мм, послідовно за програмою.

3. Точити фаску 1.6×45° з припуском під обробку, фаску 2 × 45° з припуском під обробку, Ø60h10 остаточно, конус Ø64/70h10 остаточно, Ø70h10 остаточно, послідовно за програмою.

##### 4. Нарізати різьблення в розмір M56

##### Б. Переустановити заготовлю

1. Точити торець 203 ± 0,5, витримуючи розмір 8мм
2. Точити Ø180h12 попередньо
3. Точити Ø180h10, торець 8 і фасонну поверхню R10 попередньо

4. Точити  $\varnothing 180h9$ , торець 8 і фасонну поверхню R10 остаточно 015.

Радіально-свердлильна

А. Встановити і зняти заготовлю

1. Свердлити 11 наскрізних отворів  $\varnothing 13h12$
2. Свердлити 2 отвори під різьблення M12
3. Зенкувати 2 фаски  $0.5 \times 45^\circ$
4. Нарізати 2 різьблення M12

Б. Переустановити заготовку

1. Сверліть наскрізний отвір  $\varnothing 8h12$
2. Зенкувати фаску  $1 \times 45^\circ$

В. Перевстановити заготовлю

3. Зенкувати фаску  $1 \times 45^\circ$

020.Вертикально-фрезерна

А. Встановити і зняти заготовлю

1. Фрезерувати шпонкові паз, витримуючи розмір 56 і 51.5, шириною 8

035.Термічна

1. Загартувати поверхні зазначені на кресленні загартуванням СВЧ до HRC 40 ... 53

040.Круглошліфовальня

А. Встановити і зняти заготовлю

1. Шліфувати  $\varnothing 60h8$  попередньо
2. Шліфувати  $\varnothing 60h7$  остаточно
3. Шліфувати  $\varnothing 70h8$  попередньо
4. Шліфувати  $\varnothing 70h7$  остаточно

## 2.4 Визначення припусків на обробку

Правильне визначення припусків на обробку є важливим етапом проектування технології виготовлення деталей. Якщо припуск буде надлишковим, ми збільшимо собівартість матеріалу, інакше, якщо недостатнім, ми не зможемо отримати необхідну точність і шорсткість.

Для визначення припусків вихідною інформацією є: креслення деталі, метод отримання заготовки, переходи необхідні для отримання поверхонь деталі. Для визначення припусків на діаметральні розміри скористаємося

розрахунково-аналітичним методом, де мінімальний припуск розраховується із залежності:

$$2z_{i\min} = 2 \left[ Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\Delta \sum_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right], \quad (2.6)$$

Розрахунки зведемо в таблицю 2.2.

Розрахуємо припуски на поверхню  $\varnothing 60f7 \begin{pmatrix} -0.03 \\ -0.06 \end{pmatrix}$

Таблиця 2.2

Розрахунок припусків на поверхню  $\varnothing 60f7 \begin{pmatrix} -0.03 \\ -0.06 \end{pmatrix}$

Перехід	Квалітет	Елементи припуску				2zmin , мкм	Допуск, мкм	Опер. розмір			Припуск	
		Rz	h	$\Delta \sum$	E			расч	max	min	max	min
Штамповка	f14	160	200	1646	-	-	740	65,08	65,45	64,71	-	-
Точіння чорн	f12	100	100	98,76	94,33	4017	300	60,38	60,68	60,38	2528,5	2008,5
Точіння чист	f10	25	25	4,94	94,33	673	120	59,56	59,68	59,56	546,5	336,5
Шліфовани	f8	5	10	0,15	94,33	289	46	59,26	59,31	59,26	227,5	144,5
Шлифовання	f7	-	-	-	94,33	190	30	59,04	59,07	59,04	133	95

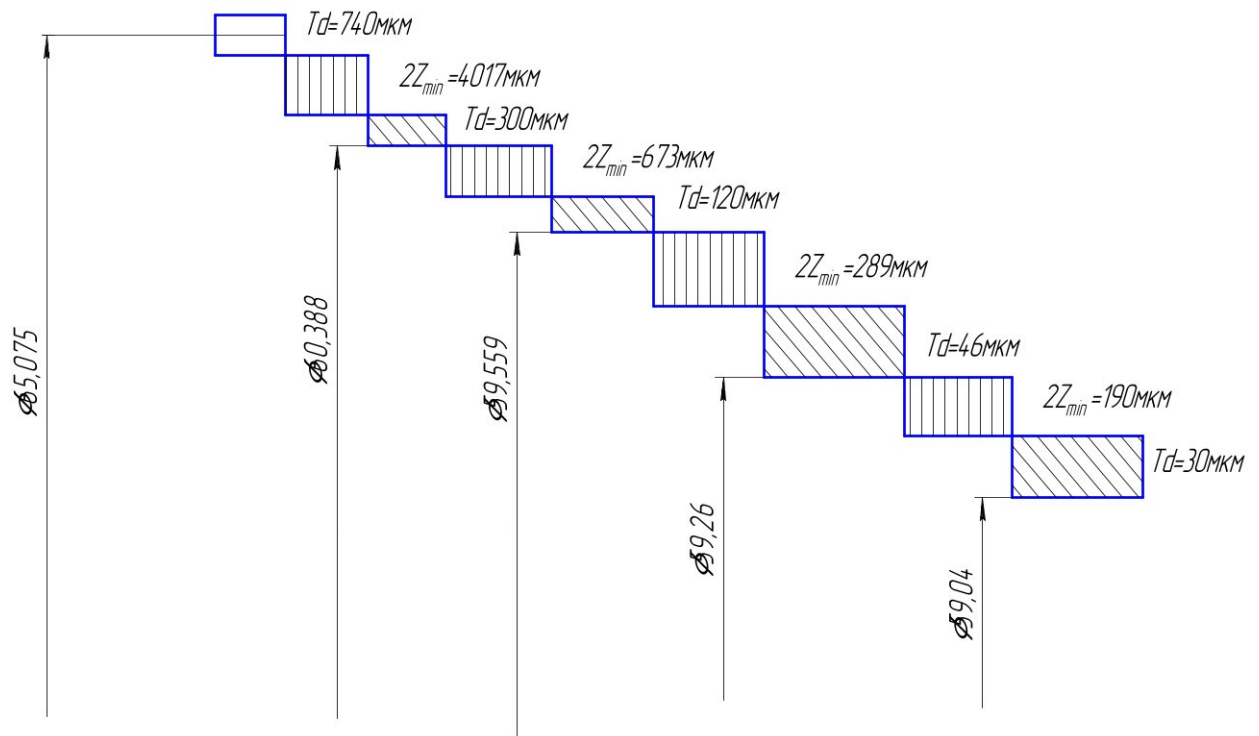


Рис.3 – Схема припусків на поверхню  $\text{Ø}60f7 \begin{pmatrix} -0,03 \\ -0,06 \end{pmatrix}$

## 2.5 Вибір технологічного обладнання

Після вибору методів обробки, точності, шорсткості і припуску на обробку поверхонь здійснюємо вибір обладнання, на якому буде реалізуватися даний технологічний процес, з урахуванням типу виробництва.

Найбільшого поширення в серійному виробництві отримали верстати широкого або загального призначення (універсальні).

Вибір технологічного обладнання робимо за критерієм, що найбільшою мірою відображає його функціональне призначення і технологічні можливості. Таким критерієм є вид обробки, на який розрахований верстат, відповідно його службове призначення. Другим за важливістю критерієм є габаритні розміри робочої зони верстата, повинні відповідати розмірам заготовки з урахуванням розмірів пристосування. Третім критерієм є відповідність верстата необхідної точності обробки.

Забезпечивши дотримання цих трьох основних вимог, здійснюємо вибір моделі за допомогою паспортів верстатів і каталогів металорізального обладнання. Обраний верстат повинен давати можливість роботи на оптимальних режимах різання, відповідати за потужністю і продуктивності.



		<b>Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.</b>	89,1	0,8	3,41	-
			25,7	0,148	0,245	9,8
10		<b>Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.</b>	75	0,168	3,52	-
			99,2	0,173	2,88	-
			86,7	0,67	2,61	-
			74,3	0,703	1,96	-
			6	0,212	2,01	25,61
			2	0,212	1,86	22,3
				0,003	0,98	2,1
015				0,467	0,45	9,8
			7	0,447	1,63	20,39
		Зенковать факсу 1x45°	1	0,2	41,97	820
			415,1	0,004	1,1	2,3
			5,1	0,004	1,1	2,3
020		<b>Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.</b>	56	0,41	10,1	-
			04	0,327	0,87	-
030			25	0,692	0,78	-
			25	0,692	0,78	-
		Остаточну				

## 2.7 Нормування операцій технологічного процесу

Нормування операцій технологічного процесу здійснюється на кожну верстатну операцію методом технічного розрахунку за нормативами.

Отримані результати заносимо в таблицю 2.4.

Таблиця 2.4

Норми часу на виконання операцій, хв

№ операції	Найменування операції	$T_o$	$T_v$	$T_{\text{тех}}+T_{\text{орг}}+T_{\text{пп}}$	$T_{\text{шт}}$	$T_{\text{пз}}$	$T_{\text{шк}}$	М
005	Фрезерно-центрувальна	5,941	1,15	0,96	7,8	12	13,8	1
010	Токарна с ЧПУ	5,97	1,52	1,1	5,56	38,6	24,86	1
015	Радіально-свердлильна	4,125	1,85	0,75	6,73	20	16,73	1
020	Вертикально-фрезерна	0,41	0,6	0,09	1,09	8	5,09	1
030	Круглошліфувальна	2,05	1,4	0,49	4,01	12	10,01	1

### 3. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

#### 3.1. Проектування верстатного пристосування

Інтенсифікація виробництва в машинобудуванні нерозривно пов'язана з технічним переозброєнням і модернізацією виробництва на базі застосування новітніх досягнень науки і техніки. Технічне переозброєння, підготовка виробництва нових видів продукції машинобудування і модернізація засобів виробництва неминуче включають процеси проектування засобів технологічного оснащення і їх виготовлення.

У загальному обсязі засобів технологічного оснащення приблизно 50% складають верстатні пристосування. Застосування верстатних пристосувань дозволяє:

- 1) надійно базувати і закріплювати оброблювану деталь із збереженням її жорсткості в процесі обробки;
- 2) стабільно забезпечувати високу якість оброблених деталей при мінімальній залежності якості від кваліфікації робітника;
- 3) підвищити продуктивність і полегшити умови праці робітника в результаті механізації пристосувань;
- 4) розширити технологічні можливості використовуваного обладнання.

Для ефективного використання верстатів та верстатних пристосувань пред'являється ряд вимог.

Для забезпечення високої точності обробки заготовок пристосування повинні бути виконані з високою точністю. Похибки базування і закріплення повинні бути зведені до мінімуму. Конструкція пристосування не повинна бути найбільш податливим ланкою системи верстат-пристосування-інструмент - деталь, щоб використовувати повну потужність верстата на чорнових операціях і забезпечувати високу точність на чистових операціях. Пристосування має забезпечувати чітку інструментальну доступність, тобто можливість підходу інструменту до якомога більшій кількості поверхонь заготовки. Пристосування

повинні забезпечувати скорочення часу затиску-разжима заготовки. Для скорочення часу переналагодження верстатів пристосування повинні забезпечувати можливість їх швидкої зміни або переналагодження.

При фрезеруванні паза шириною 6Н11, довжиною 20,5 мм, на операції 025 Шпонково - фрезерна, застосовано верстатне пристосування для установки деталі на столі верстата. Розміри робочої поверхні стола 200 × 700 мм. На столі верстата є 3 Т-подібних паза розмірами: середній паз 18Н8 для базування верстатного пристосування; 2 крайніх паза, розмірами 18Н12, для закріплення пристосування болтами М16. Деталь при обробці повинна займати горизонтальне положення і базуватися за двома сходами  $\varnothing 45k6$  і торця  $\varnothing 55$ , тому доцільно застосувати базові елементи - стандартні призми - 28, для створення подвійний направляючої бази. Закріплення деталі проводиться прихватом системи УРП, тип 6, 7021- 0386 - 5. Зажим деталі механізований за допомогою стандартної пневмокамери - 100мм, Призми - 28 встановлених на корпусі пристосування - 1, який має знизу дві стандартні шпонки 18x11, довжиною 30 мм, для створення направляючої технологічної бази.

### 3.2. Розрахунок точності верстатного пристосування

Проектована верстатне пристосування при розточування патрубку має забезпечувати необхідний рівень точності, що відповідає виконанню умови:

$$\varepsilon \leq [\varepsilon] \quad (3.1)$$

де  $\varepsilon$  - дійсна величина похибки;

$[\varepsilon]$  - допустима величина похибки.

Допустима величина похибки залежить від прийнятої схеми базування, величина допуску на розмір і похибок механічної обробки.

$$[\varepsilon] = IT - K_y \cdot W \quad (3.2)$$

де IT - допуск на виконуваний розмір, мкм;

$K_y$  - коефіцієнт посилення точності обробки:  $K_y = 0.6$ ;

W - середньо-економічна точність обробки.

$$[\varepsilon] = 1200 - 0,6 \cdot 400 = 960 \text{ мкм.}$$

Дійсна похибка пристосування включає три складові:

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_0^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{\Pi}^2} \quad (3.3)$$

де  $\varepsilon_0$  - похибка базування;

$\varepsilon_3$  - похибка закріплення;

$\varepsilon_{\Pi}$  - похибка положення.

Похибка базування = 0 тому, що установча база поєднується з конструкторською базою. Похибка закріплення визначається за формулою:

Похибка базування  $\varepsilon_0 = 0$  тому, що установча база поєднується з конструкторською базою. Похибка закріплення визначається за формулою:

$$\varepsilon_3 = [(K_{Rz} \cdot Rz + K_{HB} \cdot HB) + C] \cdot \left(\frac{Q}{9.8}\right)^n \frac{1}{F^m}$$

де  $K_{Rz}$  - коефіцієнт, що враховує шорсткість поверхні;

$K_{HB}$  - коефіцієнт що враховує твердість поверхні;

C - коефіцієнт, що характеризує умови контакту;

Q - сила діє на опору, Н;

F - площа контакту опори з заготівлею, см<sup>2</sup>.

$$\varepsilon_3 = [(-0.005 \cdot 20) + 1.06] \cdot \left(\frac{21531,29}{9.8}\right)^{0.8} = 452 \text{ мкм.}$$

Похибка положення:  $\varepsilon_{\Pi} = \sqrt{\varepsilon_y^2 + \varepsilon_c^2 + \varepsilon_{и}^2} \quad (3.4)$

де - похибка через неточності виготовлення і складання деталей СП;

- похибка через неточності установки на столі верстата;

- похибка через зношування поверхонь настановних елементів.

$$\varepsilon_{и} = \beta \cdot \sqrt{N} \cdot \cos \alpha \quad (3.5)$$

де  $\beta$  - коефіцієнт, що визначає вплив умов обробки на величину зносу;

N - річна програма випуску деталей;

$\alpha$  - кут між напрямком виконуваного розміру і напрямком, перпендикулярним поверхні установочного елемента в зоні контакту.

$$\varepsilon_u = 1 \cdot \sqrt{25000} \cdot \cos 0^\circ = 158 \text{ мкм.}$$

Похибка через неточності установки дорівнює  $= 20$  мкм.

Тоді похибка положення дорівнює

$$\varepsilon_n = \sqrt{0^2 + 20^2 + 158^2} = 159 \text{ мкм.}$$

Дійсна похибка дорівнює

$$\varepsilon = \sqrt{0^2 + 452^2 + 159^2} = 479,15 \text{ мкм.}$$

Отже, умова  $\varepsilon \leq [\varepsilon]$  виконується, тому що  $479,15 \leq 960$ , обрана схема базування і закріплення заготовки і пристосування забезпечує задану точність обробки.

### 3.3. Розрахуємо сили закріплення

Пристосування проектується для операції механічної обробки деталі корпус. Для розрахунку сил закріплення в найбільш загальному випадку необхідно знати умови проектованої обробки - величину, напрям і місце докладання зусиль, що зрушують заготовку, а також схему її установки і закріплення.

Сила закріплення повинна бути достатньою для попередження зсуву встановленої в пристосуванні заготовки. В процесі фрезерування поверхні на заготовку діє сила різання  $P_z$  яка зміщує заготовку. Визначимо силу закріплення  $Q$  за формулою:

$$Q = \frac{0.64 \cdot K \cdot M}{\pi \cdot d^2 \cdot l \cdot f} \quad (3.6)$$

де,  $K$  - коефіцієнт запасу міцності;

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \quad (3.7)$$

де  $K_0$  - коефіцієнт, що враховує раптові фактори;

$K_1$  - враховує нерівності поверхонь;

$K_2$  - збільшення сил різання від затуплення ріжучого інструменту;

$K_3$  - збільшення сили різання при переривчастому фрезеруванні;

$K_4$  - враховує тип пристрою;

$K_5$  - зручне положення рукоятки;

$K_6$  - наявність моментів прагнуть повернути заготовку.

$$K = 1.5 \cdot 1.2 \cdot 1.7 \cdot 1.2 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.5 = 5.51$$

$f_1$ - коефіцієнт тертя між поверхнею заготовки та важеля;

$f_2$ - коефіцієнт тертя між поверхнею заготовки та опорами

$$Q = \frac{0,64 \cdot 5,51 \cdot 925845,47}{3.14 \cdot 75^2 \cdot 135 \cdot 0.25} = 5,48 \text{ Н}$$

## 4. НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

### 4.1 Алгоритмічна модель складання оптимальної технології механічної обробки деталі «Напіввісь» в середовищі Feature Cam і SOLIDWORKS

В даному розділі представлена токарно-фрезерна обробка деталі "Пів-вісь" (рис.14) з ілюстрованими переходами і описом операцій. Як програма для реалізації обробки деталі була обрана Feature Cam (компанії Autodesk) - пакет для підготовки високоефективних управляючих програм для токарно-фрезерних верстатів з ЧПУ, а також SOLIDWORKS для тривимірного моделювання деталі і заготовки.

**Конфіденційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 30.06.2025р.**

Рис.14 – Деталь «Напіввісь» в Feature Cam

Feature Cam дозволяє підвищити продуктивність верстатів і, одночасно з цим, досягти найвищої якості при виготовленні деталей і оснастки.

Мета даного розділу - показати приклад одного з можливих варіантів механічної обробки із застосуванням 4-х координатного верстата, а також підвищення ефективності та продуктивності при створенні керуючих програм для верстатів з ЧПК в умовах серійного виробництва.

Основні переваги пакету FeatureCam:

- Гнучкі стратегії чорнової і чистової обробки;
- Висока швидкість розрахунку керуючих програм;
- Автоматизована оптимізація подач для скорочення часу виробництва;
- Інтегровані засоби візуалізації обробки;

- Перевірка і виключення врізів;
- Імпорт твердотільних, поверхневих і фасетних моделей, а також каркасної геометрії в різних форматах: AutoCAD, STL, STEP, IGES, Parasolid;
- Автоматичне розпізнавання типових елементів (отвори, кишені, кишені і т.д.) і їх обробка;
- Закриття отворів і пазів для виключення їх обробки;
- Гнучкий механізм кордонів для обмеження зони обробки;
- Генерація карт налагодження для керуючих програм;
- Контроль зіткнень з урахуванням патрона, інструменту, органів верстака і управління.

#### *Створення моделі і симуляція обробки деталі*

На початку створюємо тривимірну твердотільну модель деталі і на підставі розрахованих припусків на механічну обробку створюємо заготовку за допомогою CAD програми SOLIDWORKS. Тривимірна модель деталі (рис.15) служить не тільки для кращої візуалізації, але і по ній в кінцевому підсумку проводять порівняння після комп'ютерної обробки. Це дає можливість швидко перевірити місця де залишився припуск і де могли з'явиться заріз. У свою чергу, це зменшує час витрачається на написання програми для ЧПУ, а також.

**Конфіденційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 30.06.2025р.**

Рис.15 – Твердотільна модель деталі "Напіввісь" в SOLIDWORKS

Конфіденційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 30.06.2025р.

Рис.16 – Заготівля деталі "Напіввісь"

Моделі заготовки (рис.16) необхідно експортувати в перехідній формат Parasolid (\* .X\_B). Моделі в цьому форматі потім можливо імпортувати в FeatureCam.

*Вибір стратегії обробки і устаткування*

В основі вибору стратегії обробки варто розрахунок мінімального основного технологічного часу, тому що економічний ефект буде багато в чому визначатися саме часом обробки. Для даної заготовки виберемо верстат, який є в базі програми, тому що це демонстраційна версія. У пакеті Feature CAM існує утиліта для створення моделі верстата, завдяки якій можна створити модель будь-якого токарно-фрезерного верстата в умовах реального виробництва. Також в програмний комплекс входить утиліта для написання і редагування постпроцесорів.

Проводимо токарних операцію (точіння заготовки з обох сторін). Як пристосування використовуємо центру. Це пристосування дає можливість вести обробку заготовки без переустановлення, що в свою чергу дає нам не тільки економію часу, але і виключає похибка при перевстановленні. Як ріжучий інструмент застосовуються чистові і чорнові токарні різці зі змінними пластинами і спеціальною геометрією для окремого випадку токарного оброблення. Для оптимізації обробки деталі згідно з технічним завданням були використані CAD і CAM системи, що дозволило спроектувати тривимірну модель деталі «Піввісь», а також розробити і змоделювати технологію її механічної обробки

на верстаті з ЧПУ. У вигляді CAD і CAM систем були обрані КОМПАС-3D і FeatureCAM.

На першому етапі було виконано конструкторську частину підготовки виробництва: в програмі КОМПАС спроектована 3D модель і робоче креслення.

**Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.**

**Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.**

Рисунок 2 – Ескіз деталі напіввісь



Рисунок 3 - Верстат Mazak INTEGREX i-200

На другому етапі розроблено детальний технологічний процес механічної обробки деталі в програмі FeatureCAM, із застосуванням прогресивного ріжучого інструменту, оснастки та високоточних верстатів з ЧПУ. В Даному випадку був обраний верстат Mazak INTEGREX i-200.

Коротка характеристика верстата в таблиці нижче:

Виробник	Mazak
Модель	Integrex I-200
Рік виробництва	2019
Система керування	Mazatrol MATRIX 2
Діаметр точіння (мм)	658
Довжина точіння (мм)	1011
Діаметр отвору в шпинделі (мм)	51
Діаметр патрона, мм	203,2
Оберти шпинделя (об/хв)	5000
Потужність приводу шпинделя (кВт)	22
Величина робочого переміщення по осі X (мм)	615
Величина робочого переміщення по осі Z (мм)	1077
Y - вісь (мм)	250
Переміщення по осі W (мм)	1026
Автоматично змінних інструментів (шт)	2x32
Оберти фрезерного шпинделя, об/хв	12000
Потужність приводу шпинделя (кВт)	22
Задня бабка	MT 5

ста  
уст  
Ве:  
C:\  
(x8  
wit  
  
тал  
  
сис  
NC

**Конфіденційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 30.06.2025р.**

Г -  
а 2  
ні.  
ор:  
les  
  
ен-  
не  
іву

Режими різання:

Для чорнової обробки:

$S = 0,381$  мм/об;  $V = 170$  м/хв;  $t = 5$  мм;

Для чистової обробки:

$S = 0,152$  мм/об;  $V = 247$  м/хв;  $t = 1$  мм;

**Конфіденційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 30.06.2025р.**

Рисунок 4 – чорнова обробка торця 1

Для обробки ступенів використовуємо інструментальну систему HSK, яка використовувалися для обробки торця 1.

Режими різання:

Для чорнової обробки:

$S = 0,381$  мм/об;  $V = 170$  м/мин;  $t = 5$  мм;

Для чистової обробки:

$S = 0.152$  мм/об;  $V = 247$  м/мин;  $t = 1$  мм:

**Конфіденційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 30.06.2025р.**

Обробка центрального отвору 1 виконується в 3 інструментальних переходах, свердління і подвійне зенкування.

Режими різання:

Для свердління:

$S = 0,615$  мм/об;  $V = 204$  об/хв;  $t = 17.5$  мм;

Для зенкеру  $\varnothing 13$  мм:

$S = 0,093$  мм/об;  $V = 555$  об/хв;

Для зенкеру  $\varnothing 18$  мм:

$S = 0,118$  мм/об;  $V = 441$  об/хв;

Свердління отвору діаметром 6,3 мм виконується свердлом MSD 063

Позначення свердла:

MSD - серія свердла

063- діаметр свердла (6,3 мм)

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Рисунок 6 – Свердління отвору 6,3 мм

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Рисунок 7 - Зенкування центрального отвору зенкером  $\varnothing$  13 мм

Конфіденційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 30.06.2025р.

Рисунок 8 - Зенкування центрального отвору зенкером  $\varnothing$  18 мм

Для обробки наскрізного отвору діаметром 8 мм використовується  
свердло MSD 090-P 48-97L

Режими різання:

$S = 138.4$  мм/ хв;  $V = 893$  об/хв;  $t = 4$  мм;

Конфіденційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 30.06.2025р.

Для паза приймаємо кінцеву фрезу IRE 4060-070-R05 зі сплаву PC220.

Режими різання:

$$S = 122 \text{ мм/хв}; \quad V = 1698 \text{ об/хв};$$

Позначення фрези:

IRE - тип фрези

4 - кількість зубів

060 - діаметр фрези

070 - загальна довжина

R05 - радіус вершини

**Конфіденційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 30.06.2025р.**

Для нарізання зовнішньої різьби M56 використовуємо різьбонарізного державку TMSR - 22 з пластиною TM2E16-1.5ISO

Режими різання:

$$S = 1119.7 \text{ мм/хв}; \quad V = 580 \text{ об/хв};$$

**Конфіденційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 30.06.2025р.**

Далі за програмою обробки відбувається перехоплення деталі контр шпинделем.

Відкриття шпинделя → Позиціонування контр шпинделя → захоплення деталі по Ø70 мм контр шпинделем → відкриття шпинделя → занулення контр шпинделя → включення контр шпинделя з НС.

**Конфіденційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 30.06.2025р.**

Конфіденційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 30.06.2025р.

Установ 2 - Операція 10 «Програмна» складається з 12 - ти інструментальних переходів.

Для чорнової і чистової обробки торця 2 і розточування вибираємо ту ж інструментальну систему, що і для обробки торця 1, HSK H63T-A25K-DCLNR-12 з пластиною CNMG 120404-HR зі сплаву NC 3120.

Режими різання:

Для чорнової обробки:

$$S = 0,381 \text{ мм/об}; V = 170 \text{ м/хв}; t = 5 \text{ мм};$$

Для чистової обробки:

$$S = 0,152 \text{ мм/об}; V = 247 \text{ м/хв}; t = 1 \text{ мм};$$

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Рисунок 14 – Обробка отвору 2

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Рисунок 15 – Точіння ступені

Обробка центрального отвору 2 виконується в 3 інструментальних переходах, свердління і подвійне зенкування.

Режими різання:

Для свердління:

$$S = 0,615 \text{ мм/об}; \quad V = 204 \text{ об/хв}; \quad t = 17,5 \text{ мм};$$

Для зенкера  $\varnothing 13$  мм:

$$S = 0,093 \text{ мм/об}; \quad V = 555 \text{ об/хв};$$

Для зенкера  $\varnothing$  18 мм:

$$S = 0,118 \text{ мм/об}; \quad V = 441 \text{ об/хв};$$

Обробка центрального отвору проводиться за таким же принципом, як і

**Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.**

рисунк 10 – розточка

Для обробки 11 отворів діаметром 13 мм використовується свердло MSD 130-P 48-97L

Режими резання:

$$S = 138 \text{ мм/ хв}; \quad V = 549 \text{ об/хв}; \quad t = 6.5 \text{ мм};$$

**Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.**

Для обробки 2-х отворів M12 необхідно попереднє свердління свердлом MSD 105-P 48-97L, після чого фрезуємо різьбу різьбонарізною фрезою STMD3T08065L246-E1.25ISO.

Режими різання:

Сверління

$S = 138 \text{ мм/мин}$ ;  $V = 680 \text{ об/мин}$ ;  $t = 5.25 \text{ мм}$ ;

Різьбофрезерування

$S = 315 \text{ мм/мин}$ ;  $V = 4000 \text{ об/мин}$ ;

Позначення фрези:

STM – тип фрези (цільна різьбофрезерна)

D – зкорочена ріжуча частина

3T – 3 зуба

08 – діаметр хвостовика

065 – діаметр ріжучої частини

L246 – довжина ріжучої частини

E – вид обробки (внутрішня)

1.25 – крок різьби

ISO – стандарт різьби

Позначення свердла:

MSD – цільний корпус

105 – діаметр свердла (10.5 мм)

P – вид заточки (для обробки сталей)

48 – довжина робочої частини

07L – довжина корпусу

**Конфіденційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 30.06.2025р.**

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

На цьому обробка деталі «Напіввісь» завершена.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Після повної обробки в якості результату отримуємо не тільки графічне відображення результату, але і машинний код для верстата, тобто відходить генерація керуючої програми.

Частина цієї програми представлена на малюнку 21:

```
N15; (TURN TRANSFER ПОДДЕРЖКА_ВКЛ1)  
N20 G18 G71 G90 G94  
N25 G1
```

```
N30 Home
N35 TLCH1 ("1", 0., 0.)
N40 D1
N45 MCTURNS1
N50 G64
N55 M118 M126
N60 M1=42
N65 G97 S1=2147483648 M1=3 M3=
N70 G0 Z1=
N75 X1=
```

**Конфіденційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 30.06.2025р.**

```
N130 M118 M126
N135 M1=42
N140 LIMS=2200
N145 G97 S1=567 M1=3 M3=M8
N150 G0 Z1=-254.1
N155 X1=47.7
N160 G96 S1=170
N165 G1 Z1=-353.5 F0.4
N170 X1=48.2
```

Рис.21 – Фрагмент керуючої програми для верстата з ЧПК

Висновок: дані технічні можливості програм і обладнання на сьогоднішній день дозволяють виключити на 90% можливість появи не бажано браку ще на стадії проектування і створення КП для верстатів, що в свою чергу, позитивно відбивається на економічній ефективності. Також варто додати, що застосування таких обробних центрів дозволяє скоротити значний верстатний парк, тобто відбувається комбінування можливостей різних моделей в одному верстаті.

## ВИСНОВОК

Після викладу розділів дипломного проекту зробимо висновки про виконану роботу в наступному:

- в аналітичному розділі проведено аналіз креслень конструкцій деталі циліндр з метою визначення якісної оцінки технологічності конструкцій та визначення коефіцієнта уніфікації деталей, що представляє собою кількісну оцінку технологічності конструкцій деталей;

- в технологічному розділі, виконаний і економічно обґрунтований спосіб отримання заготовки, розроблений автоматизований маршрут обробки деталі, визначаються та уточнюються режими різання. У розробленому маршруті обробки деталі досягли вищої точності і зниження основного технологічного часу за рахунок раціональної послідовності обробки деталі циліндр на верстаті з ЧПК;

- в спеціальному розділі спроектовано спеціальне верстатне пристосування, яке забезпечує мінімальне допоміжний час на установку, закріплення і зняття деталі після обробки; необхідну точність і жорсткість при закріпленні заготовки; безпечні умови обробки на верстаті.

- в науково-дослідницькому розділі виконана алгоритмічна модель складання оптимальної технології механічної обробки деталі «Напіввісь» в середовищі Feature Cam і SOLIDWORKS.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- 1 Довідник користувача ЄКТС [Електронний ресурс].  
<https://kpi.ua/files/ECTS.pdf> (дата звернення: 04.11.2017).
  - 3 ДСТУ 3008:2015. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання.
  - 4 ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання.
  - 12 Закон України «Про вищу освіту» [Електронний ресурс].  
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18>.
  - 13 Національна рамка кваліфікацій. [Електронний ресурс].  
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1341-2011-п>.
  - 14 Стандарт вищої освіти України бакалаврського рівня. Галузь знань 13  
Механічна інженерія. Спеціальність 131 Прикладна механіка. [Електронний  
ресурс].  
<https://mon.gov.ua/storage/app/media/vishchaosvita/zatverdzeni%20standarty/2019/06/25/131-prikladna-mekhanika-bakalavr.pdf>.
  - 15 Положення про навчально-методичне забезпечення освітнього процесу  
здобувачів вищої освіти Національного технічного університету «Дніпровська  
політехніка», затвердженого Вченою радою 22.01.2019, протокол № 2.
  - 16 Положення про організацію атестації здобувачів вищої освіти  
Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»,  
затверджене Вченою радою 11.12.2018 (протокол № 15).
  - 17 Положення про оцінювання результатів навчання здобувачів вищої освіти,  
затверджене Вченою радою від 26.12.2017, протокол № 20 (у редакції, що  
ухвалена Вченою радою 18.09.2018, протокол № 11). 35
-

21 Залога В.О., Зінченко Р.М. Система "PowerShape" Поверхневе моделювання: Метод. вказівки з курсів "Комп'ютерні технології у верстатобудуванні" та "Комп'ютерні технології в інструментальному виробництві". Суми : Сумський держ ун-т, 2010.

22 Залога В.О., Зінченко Р.М. Система "PowerShape" Створення САПР за допомогою макросів: Метод. вказівки з курсів "Комп'ютерні технології у верстатобудуванні" та "Комп'ютерні технології в інструментальному виробництві"/ Суми : Сумський держ ун-т, 2011.

23 Величко О.Г. Інноваційна діяльність у сферах техніки, технології, технічного регулювання і забезпечення якості: підручник / Величко О.Г., Должанський А.М., Віткін Л.М., Янішевський О.Е., Ключев Д.Ю.; Донецьк : Свідлер, 2010. – 120 с.

24 Лукінюк М.В. Автоматизація типових технологічних процесів: технологічні об'єкти керування та схеми автоматизації: навч. посіб. Київ : НТУУ "КПІ", 2008.