

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»

АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ КРОНШТЕЙН ДВИГУНА  
ВЕРТИКАЛЬНОГО СУПОРТА 4.01.96 ДЛЯ УМОВ СЕРІЙНОГО  
ВИРОБНИЦТВА

спеціальність 131 Прикладна механіка  
освітня програма Прикладна механіка

Виконав: здобувач вищої освіти  
Групи ІМм-21  
Колошко Вадим Олегович

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник:  
К.т.н., доцент  
Гальчук Тетяна Никифорівна

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Кваліфікаційну роботу  
допущено до захисту  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.  
К.т.н., доцент  
Гарант освітньої програми:  
Четвержук Тарас Іванович

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Луцьк – 2024 року

Луцький національний технічний університет

Факультет: транспорту та механічної інженерії

Кафедра: прикладної механіки та мехатроніки

Ступінь вищої освіти: магістр

Галузь знань: 13 Механічна інженерія

Спеціальність: 131 Прикладна механіка

Освітня програма: Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_  
(Редько Р.Г.)

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Колошко Вадиму Олеговичу

1. Тема кваліфікаційної роботи Автоматизація виготовлення деталі кронштейн двигуна вертикального супорта 4.01.96 для умов серійного виробництва.

Керівник роботи Гальчук Тетяна Никифорівна, к.т.н., доцент.

затверджені наказом закладу вищої освіти від “ 30 ” грудня 2023 р. № 452/01-02

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 01.12.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: креслення деталі кронштейн двигуна вертикального супорта 4.01.96, програма випуску 1000 шт/рік, нормативні дані.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що потрібно розробити):

Анотація. Вступ. Розділ 1. Аналіз базового технологічного процесу. Розділ 2. Розроблення перспективного технологічного процесу виготовлення кронштейну. Розділ 3. Конструювання пристроїв. Розділ 4. Проектування технологічного процесу у середовищі FeatureCAM. Розділ 5. Планування виробничого підрозділу для виготовлення кронштейну. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу

КТП – 1 лист (ф.А1), складальне креслення верстатного пристрою - 1 лист (ф.А1), складальне креслення контрольного пристрою - 1 лист (ф.А1).

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання

04.01 .2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розділ 1. Аналіз базового технологічного процесу	18.05.2024р.	
2.	Розділ 2. Розроблення перспективного технологічного процесу виготовлення кронштейну	22.09.2024р.	
3.	Розділ 3. Конструювання пристроїв	12.10.2024р.	
4.	Розділ 4. Проектування технологічного процесу у середовищі FeatureCAM	26.10.2024р.	
5.	Розділ 5. Планування виробничого підрозділу для виготовлення кронштейну	02.11.2024р.	
6.	Висновки	09.11.2024р.	
7.	Формування списку використаних джерел	16.11.2024р.	
8.	Формування додатків	23.11.2024р.	
9.	Оформлення ілюстративного матеріалу	30.11.2024р.	
10.	Нормоконтроль	05.12.2024р.	
11.	Інструментальна перевірка на академічний плагіат	07.12.2024р.	
12.	Представлення кваліфікаційної роботи до захисту	12.12.2024р.	

Здобувач вищої освіти

\_\_\_\_\_

Колошко В.О.

Керівник кваліфікаційної роботи

\_\_\_\_\_

Гальчук Т.Н.

## АНОТАЦІЯ

Колошко В.О. Автоматизація виготовлення деталі кронштейн двигуна вертикального супорта 4.01.96 для умов серійного виробництва. Рукопис.

Кваліфікаційна робота магістра освітньої програми «Прикладна механіка» спеціальності 131 Прикладна механіка. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2024.

Кваліфікаційна робота магістра складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків (згідно структури кваліфікаційної роботи, затвердженої кафедрою).

В роботі виконано комплекс технологічно-конструкторських завдань для виготовлення кронштейна двигуна вертикального супорта 4.01.96 в умовах серійного виробництва а саме: визначені тип виробництва і форма організації робіт, проведено аналіз конструкції і технологічності деталі, вибрано спосіб виготовлення заготовки, спроектовано модернізований маршрут механічної обробки деталі з використанням верстатів з ЧПК та розробленням конструкцій пристроїв. Впроваджено застосування САПР для технологічних розрахунків та побудови 3D твердотільної моделі заготовки та деталі, верстатного пристрою; спроектовано виробничий підрозділ для механічної обробки кронштейна двигуна вертикального супорта 4.01.96; визначено термін окуплення модернізованого технологічного процесу. Розроблена графічна частина та технологічна документація.

Ключові слова: кронштейн, верстат, автоматизація, програма, технологія.

## ABSTRACT

Koloshko V.O. Automation of the manufacture of the vertical caliper motor bracket part 4.01.96 for serial production conditions. Manuscript.

Master's qualification work of the "Applied Mechanics" educational program, specialty 131 Applied Mechanics. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2024.

The master's qualification work consists of an introduction, five sections, conclusions, a list of used sources, appendices (according to the structure of the qualification work approved by the department).

In the work, a set of technological and design tasks for the manufacture of the vertical caliper motor bracket 4.01.96 in the conditions of serial production was performed, namely: the type of production and the form of work organization were determined, the design and manufacturability of the part were analyzed, the method of manufacturing the workpiece was selected, and the modernized route of mechanical processing of the part was designed with the use of CNC machines and the development of device structures. The use of CAD for technological calculations and construction of a 3D solid-state model of the workpiece and part, machine tool was implemented; a production unit for mechanical processing of the vertical caliper motor bracket was designed 4.01.96; the payback period of the modernized technological process is determined. Developed graphic part and technological documentation.

Keywords: bracket, machine, automation, program, technology.

## ЗМІСТ

	ст.
ВСТУП	7
1 РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ БАЗОВОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ	10
1.1 Характеристика деталі кронштейн двигуна вертикального супорта 4.01.96	10
1.2 Розгляд базового технічного процесу виготовлення виробу	12
1.3 Техніко-економічне порівняння технологічних процесів	15
1.4 Аналіз технологічності конструкції виробу	18
1.5 Попереднє визначення типу і організаційної форми виробництва	20
1.6 Висновки до 1-го розділу	22
2 РОЗДІЛ 2. РОЗРОБЛЕННЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ КРОНШТЕЙНУ	24
2.1 Обґрунтування методу одержання заготовки	24
2.2 Вибір методу обробки поверхонь	25
2.3 Вибір і розрахункове обґрунтування технологічних баз	27
2.4 Визначення допусків на технологічні розміри і розрахунок припусків	30
2.5 Визначення режимів різання і вибір технологічного обладнання	33
2.6 Нормування технологічного процесу	37
2.7 Висновки до 2-го розділу	39
3 РОЗДІЛ 3. КОНСТРУЮВАННЯ ПРИСТРОЇВ	40
3.1 Проектування спеціального фрезерного пристосіблення	40
3.1.1 Розробка схеми базування виробу із позначенням всіх необхідних точок і сил закріплення	40
3.1.2 Розрахунок пристосіблення на точність	40
3.1.3 Розрахунок сил закріплення виробу у пристрої	41
3.1.4 Силевий розрахунок пристрою, вибір затискного пристрою і приводу	42

3.1.5	Розрахунок елементів пристроїв на міцність	43
3.1.6	Розрахунок елементів пристроїв на спрацювання	43
3.1.7	Розрахунок економічного ефекту застосування пристосування і терміну його окупності	44
3.2	Проектування контрольного пристрою	46
3.2.1	Розрахунок на точність	46
3.2.2	Опис конструкції пристрою	47
3.3	Висновки до 3-го розділу	48
4	РОЗДІЛ 4. проектування технологічного процесу у середовищі FeatureCAM	49
4.1	Особливості програмного середовища FeatureCAM	49
4.2	Алгоритм проектування технологічного процесу для кронштейна двигуна вертикального супорта 4.01.96	51
4.3	Проектування ріжучого інструменту для кронштейна двигуна вертикального супорта 4.01.96 на верстаті з ЧПК	54
4.4	Розробка управляючої програми технологічного процесу обробки кронштейна двигуна вертикального супорта 4.01.96	57
4.5	Висновки до 4-го розділу	60
5	РОЗДІЛ 5. Планування виробничого підрозділу для виготовлення кронштейну	61
5.1	Визначення кількості верстатів виробничого підрозділу	61
5.2	Визначення працюючих у виробничому підрозділі	61
5.3	Визначення виробничо-технологічних площ виробничого підрозділу	63
5.4	Транспортна система виробничого підрозділу	66
5.6	Економічна доцільність модернізації технологічного процесу виготовлення виробу	66
5.7	Висновки до 5-го розділу	68
	ВИСНОВКИ	69
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	71
	ДОДАТКИ	73

## ВСТУП

Актуальність теми зумовлена тим, що у машинобудуванні значна кількість деталей обробляються на верстатах з ЧПК. Широке впровадження верстатів з ЧПК супроводжується підтримкою систем автоматизованого проектування технологічної підготовки виробництва (CAD/CAM-систем). Такі системи інтегрують в собі функції проектування формоутворювальних траєкторій і функції технологічної підготовки виробництва щодо вибору інструменту, проектування технології обробки, призначення режиму різання тощо. На даний момент проводяться розробки в теоретичному плані, концепції оптимального управління процесом обробки для верстатів з ЧПК. Робота, направлена на впровадження САМ-систем для механічної обробки на верстаті з ЧПК кронштейна двигуна вертикального супорта 4.01.96 і є актуальною як з точки зору науки, так і виробництва машинобудування.

Мета і задачі дослідження. Метою магістерської кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності виготовлення кронштейна двигуна вертикального супорта 4.01.96 шляхом автоматизації технологічного процесу механічної обробки.

Для досягнення поставленої мети потрібно виконати такі завдання:

- визначити тип виробництва та рівень технологічності деталі;
- виконати варіантний вибір способу виготовлення заготовки;
- спроектувати тривимірну модель заготовки та деталі у CAD-системі;
- розробити перспективний технологічний процес виготовлення деталі з використанням верстатів ЧПК ;
- розробити у CAD/CAM-системі програму обробки деталі на обладнанні з ЧПК;
- проектування верстатного та контрольного пристроїв;
- проектування виробничого підрозділу.

Об'єкт дослідження – кронштейн двигуна вертикального супорта 4.01.96.

Предмет дослідження – технологічний процес механічної обробки заготовки кронштейна двигуна вертикального супорта 4.01.96.

Методологія і методика досліджень. Загальні положення технології машинобудування, теорії різання матеріалів; засоби САПР для технологічних розрахунків, для проектування технологічних процесів механічної обробки на верстатах з ЧПК та побудови 3D-моделі виробу.

Наукова новизна одержаних результатів. Отримало подальший розвиток впровадження елементів САПР на етапах виготовлення виробів типу кронштейн.

Практичне значення одержаних результатів. Практичне значення одержаних результатів полягає в удосконаленні технологічного процесу механічної обробки кронштейна двигуна вертикального супорта 4.01.96 та розроблені виробничого підрозділу для його реалізації; при цьому запропоновані такі нові рішення:

- розроблений оригінальний технологічний процес механічної обробки, який дає можливість знизити собівартість та трудомісткість, підвищити продуктивність праці;
- спроектовано пристосування для виконання операції механічної обробки та контролю;
- розроблено виробничий підрозділ для виготовлення кронштейна двигуна вертикального супорта 4.01.96 з детальним плануванням обладнання;
- застосовано засоби САПР для проектування технологічного процесу механічної обробки на верстатах з ЧПК з розробкою управляючої програми в середовищі FeatureCAM.

Апробація результатів магістерської роботи. Робота доповідалась та отримала позитивний відгук на розширеному засіданні науково семінару кафедри прикладної механіки та мехатроніки Луцького національного технічного університету та IV студентській науково-технічній конференції «Інноваційні технології в транспорті та механічній інженерії», м. Луцьк, 2024 р.

Достовірність теоретичних положень магістерської кваліфікаційної роботи підтверджується повною відповідністю поставленим задачам.

Публікації. Результати магістерської роботи опубліковані у:

Колошко В.Д. проектування технологічного процесу у середовищі FeatureCAM: тези IV студентської науково-технічної конференції «Інноваційні технології в транспорті та механічній інженерії». Луцьк: Луцький НТУ, 2024. С. 6-7. – URS: <https://drive.google.com/>

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ БАЗОВОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ КРОНШТЕЙН ДВИГУНА ВЕРТИКАЛЬНОГО СУПОРТА 4.01.96

#### 1.1. Характеристика деталі кронштейн двигуна вертикального супорта 4.01.96

Деталь кронштейн 4.01.96 призначена для встановлення двигуна вертикального супорта. Вона являє собою основну складову складального вузла. На деталь зверху кріпиться двигун, в середині знаходиться муфта, яка кріпить два вали, та в нижньому отворі знаходяться підшипники.

Кронштейн двигуна вертикального супорта 4.01.96 є складальним вузлом, який складається з 11 зварених між собою деталей: Основа 4.01.96.01 - 1 шт., Корпус 4.01.96.02 - 1 шт., Фланець 4.01.96.03- 1 шт., Косинка 4.01.96.04 - 2шт., Косинка 4.01.96.05 - 2шт., Ребро 4.01.96.06 - 4шт.

Під час роботи кронштейн сприймає різні види навантажень. Так як він є складальним вузлом, то потрібні високі вимоги до якості зварних з'єднань, щоб виключити руйнування в разі експлуатації. Матеріалом виробу є конструкційна вуглецева сталь звичайної якості – Ст 3 ДСТУ 2651-2005.

Вона використовується для виготовлення несучих і не несучих елементів, для зварних та не зварних конструкцій, а також деталей, що працюють за підвищених температур.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі Ст 3 ДСТУ 2651-2005[1]

Елемент	Вміст, %
Вуглець (C)	0.14 – 0.22
Сірка (S)	до 0,04
Фосфор (P)	до 0,04
Марганець (Mn)	до до 0,65
Кремній (Si)	до 0,3

Таблиця 1.2 - Фізичні властивості сталі Ст 3 ДСТУ 2651-2005[1]

Властивість	Значення
Тимчасовий опір, $\sigma_v$ , Н/мм <sup>2</sup>	370...480
Межа плинності, $\sigma_t$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\geq 245$ (для прокату $\leq 10$ мм), $\geq 245$ (до 20 мм), $\geq 235$ (20-40 мм), $\geq 225$ (40-100 мм), $\geq 205$ (більше 100 мм)
Відносне подовження, $\delta_5$ , %	26 (до 20 мм), 25 (20-40 мм), 23 (більше 40 мм)

Таблиця 1.3 - Механічні характеристики сталі Ст 3 ДСТУ 2651-2005[1]

Характеристики	Значення
Межа міцності при розтягу ( $\sigma_v$ ), МПа	370-480
Межа текучості ( $\sigma_t$ ), МПа	$\geq 245$ Н/мм <sup>2</sup> (для прокату $\leq 10$ мм), $\geq 245$ Н/мм <sup>2</sup> (до 20 мм), $\geq 235$ Н/мм <sup>2</sup> (20-40 мм), $\geq 225$ Н/мм <sup>2</sup> (40-100 мм), $\geq 205$ Н/мм <sup>2</sup> (більше 100 мм)
Відносне подовження ( $\delta_5$ ), %	26% (до 20 мм), 25% (20-40 мм), 23% (більше 40 мм)
Твердість за Брінеллем (НВ), НВ	Залежить від обробки та термообробки
Твердість за Роквеллом	Залежить від термообробки
Модуль пружності, ГПа	200
Коефіцієнт Пуассона	0.27-0.30
Щільність, кг/м <sup>3</sup>	7850

Розглянутий «кронштейн» являє собою зварну конструкцію у вигляді корпус коробчастої форми з габаритними розмірами 400×275×170 мм з досить високою жорсткістю. Маса кронштейна – 48,33 кг. Подальший аналіз технічних вимог показав, що внутрішні розточки  $\varnothing 80Js8$ , будучи допоміжною конструкторською базою виконують за 8 квалітетом точності, що є обґрунтованим, для забезпечення стандартної посадки зовнішнього кільця підшипника кочення.

Виходячи зі службового призначення, обґрунтовано задані і високі вимоги з розмірної точності і точності взаємного розташування поверхонь лівого та правого торців кронштейна, а також забезпечення шорсткості поверхні Ra 3.2.

Кріпильні отвори «кронштейна» M10 виконуються за 10-м ступенем точності з шорсткістю 6,3 мкм Ra, що є цілком прийнятним для різі, що забезпечує нерухоме з'єднання. Решта поверхонь деталі є вільними і тому вимога щодо виконання їх розмірів за H14, h14,  $\pm IT14 / 2$  задані цілком обґрунтовано.

Обґрунтовано задано і вимоги, що розміри радіусів округлення забезпечуються інструментом, так як при таких малих розмірах іншим шляхом їх неможливо отримати. Це відноситься до менш відповідальних поверхонь, для яких не потрібна висока точність форми і розташування поверхонь.

З огляду на відповідальність деталі обґрунтовано задано і вимоги щодо зварювальних швів: «варити зваркою ручною електродуговою ДСТУ EN ISO 9692-1:2014 електродом Е-46А ДСТУ EN ISO 2560:2014. Катет 5-7» [2]. В цілому технічні вимоги на виготовлення деталі задані вірно. На кресленні досить видів і розрізів для однозначного розуміння конструкції кронштейна (рис. А.1). До креслення додається специфікація (таблиця А.1).

## 1.2. Розгляд базового технічного процесу виготовлення виробу

У базовому технологічному процесі заготовками деталей вузла кронштейн двигуна вертикального супорта 4.01.96 є прокат, штамповки та виливки. Під час обробки заготовок, зокрема із прокату багато матеріалу йде у відходи, коефіцієнт використання матеріалу дуже маленький. Даний тип заготовок характерний для одиничного виробництва.

У базовому техпроцесі механічної обробки технологічні бази обрано вірно як окремих деталей так і вузла кронштейна двигуна вертикального супорта 4.01.96. Також використані найбільш продуктивні способи обробки. Для досягнення заданої точності операції та їх послідовність підібрані правильно, спочатку чорнові для формування баз та поверхонь зварювання, потім чистові після зварювання.

Технологічний процес складено на основі , що забезпечують виконання конструктивних та оброблюваних особливостей проте існує можливість того, що верстати можуть бути великими габаритами, ніж необхідно для обробки деталей.

Використовування універсальних верстатів збільшує кількість установів механічної обробки, тому в разі використання автоматизованого обладнання

можна збільшити концентрацію операцій на деяких етапах обробки. Режими різання підібрані, таким чином, щоб звести до мінімуму появи браку під час обробки деталей, а також щоб скоротити час на обробку.

Продуктивність обробки невисока, тому що використовуються універсальні верстати, якщо використати верстати з ЧПК скоротився б час на допоміжні операції. Горизонтально-розточувальні операції в базовому техпроцесі можна замінити на високошвидкісне фрезерування, що також підвищить продуктивність обробки. У заводському технологічному процесі перед фрезерними і свердлильною обробкою використовується розмітка. Застосування автоматизованих верстатів з ЧПК дає можливість її уникнення і є резервом вдосконалення у проектованому технологічному процесі. Застосування спеціальних пристосувань дозволить повністю відмовитися від розмічування та уникнути малопродуктивної ручної праці. Після виконання кожної операції механічної обробки заготовки здійснюються контрольні операції з перевірки основних розмірів деталей. Це надмірно перевантажує базовий технологічний процес контрольними операціями, призводить до зайвих міжопераційних транспортувань заготовок і підвищує собівартість їх обробки. Тому операційний контроль верстатникам виконувати доцільно самостійно, а контроль ВТК здійснювати лише в кінці технологічного процесу механічної обробки.

Використовуване технологічне обладнання базового техпроцесу цілком забезпечує задану якість обробки деталей, тобто шорсткість, точність і відхилення форми і розташування.

У технологічному процесі в якості ріжучого інструменту застосовується нормалізований, універсальний інструмент: розточувальні різці, оснащені пластинками твердого сплаву HS123 DIN, спіральні свердла, зенкери, мітчики й фрези зі швидкорізальної сталі S 6-5-2 DIN. В якості вимірювального інструмента застосовується, в основному, універсальний шкальний інструмент у вигляді штангенциркулів, мікрометрів, індикаторів, зразків шорсткості. Все це, дозволяє забезпечити необхідну якість оброблюваних

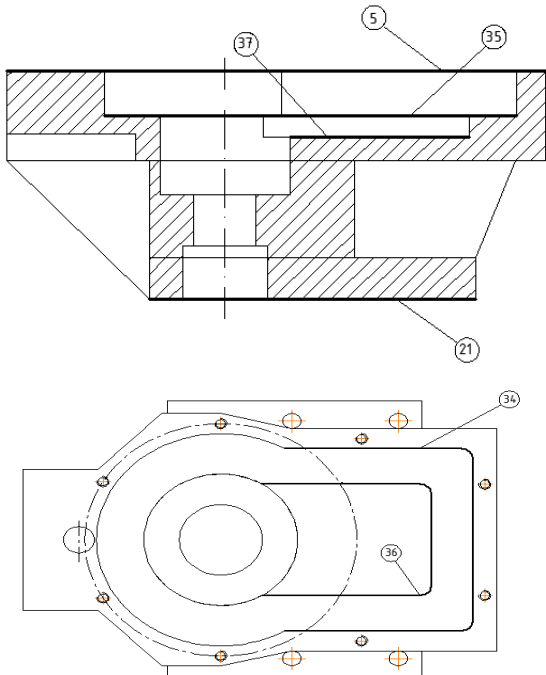
поверхонь кронштейна, як за точністю розмірів, так і за точністю їх форми і взаємного розташування поверхонь, їх шорсткості.

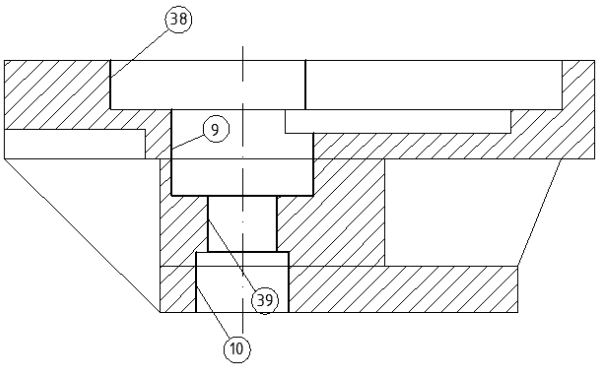
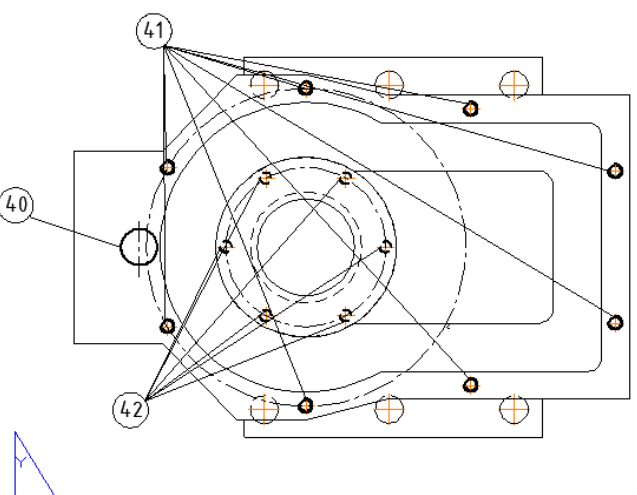
У результаті аналізу існуючого на виробництві технологічного процесу можливо запропонувати такі зміни:

- замінити заготовки одержувані литвом на штампування, це дозволить зменшити витрату матеріалу;
- замінити універсальні верстати на верстати з ЧПК, в разі чого підвищиться продуктивність обробки;
- змінити, відповідно до верстатів з ЧПК, технологічний процес обробки деталей, тим самим зменшити час обробки деталей.

Типові технологічні процеси обробки деталей: Основа 4.01.96.01, Корпус 4.01.96.02, Фланець 4.01.96.03, Косинка 4.01.96.04 , Косинка 4.01.96.05, Ребро 4.01.96.06 додаються у таблицях А.2-А.5.

Таблиця 1.4 - Базовий технологічний процес обробки Кронштейну 4.0196

Ескіз обробки	Технологічний процес
	<p>005 Вертикально-фрезерна Установ А</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Фрезерувати торець 5 начисто.</li> <li>2. Фрезерувати поверхню 34 по контуру.</li> <li>3. Фрезерувати поверхню 35.</li> <li>4. Фрезерувати поверхню 36 по контуру.</li> <li>5. Фрезерувати поверхню 37.</li> </ol> <p>Установ Б</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Фрезерувати торець 21 начисто.</li> </ol>

	<p>010 Координатно-розточна Установ А</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Розточити отвір 38 начорно.</li> <li>2. Розточити отвір 38 начисто.</li> <li>3. Розточити отвір 9.</li> </ol> <p>Установ Б</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Розточити отвір 10.</li> <li>2. Розточити отвір 10 начисто.</li> <li>3. Розточити отвір 10 тонко.</li> <li>4. Розточити отвір 39.</li> </ol>
	<p>015 Вертикально свердлильна операція Установ А</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Свердлити отвір 40.</li> <li>2. Зенкерувати отвір 40.</li> <li>3. Розгортати отвір 40.</li> <li>4. Свердлити отвори 41 почергово.</li> <li>5. Нарізати різьбу на отвори 41 почергово</li> </ol> <p>Установ Б</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Свердлити отвори 42 почергово.</li> <li>2. Нарізати різьбу на отвори 42 почергово.</li> </ol>

Кінцеве рішення про методи обробки приймаємо після економічного комплексного розрахунку механічної обробки в цілому. Проаналізувавши технологічний процес приходимо до висновку, що процес повинен забезпечувати виготовлення деталей заданої кількості, задовольняти потреби точності і продуктивності обробки деталі, найменшої собівартості продукції, полегшення умов праці.

### 1.3. Техніко-економічне порівняння технологічних процесів

З аналізу базового варіант технологічного процесу видно, що у технологічному маршруті використовуються універсальні верстати: вертикально-фрезерний 6P13, координатно-розточний 2E440, вертикально-свердлильний 2H135. У новому пропонуємо використовувати багатофункціональний верстат із ЧПУ ГФ2171М.

Під час проведення розрахунків визначали питомі величини на 1 годину роботи.

Годинні приведені затрати визначити за формулою [3]:

$$C_{п.з.} = C_з + C_{ч.з.} + E_n( K_o. + K_з. ) ,$$

де  $C_з$  – основна і додаткова зарплата з нарахуванням;

$C_{ч.з.}$  – годинні витрати для експлуатації робочого місця, грн/год;

$E_n$  – нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень, ( $E_n = 0.15$ ).

$K_o., K_з$  – питомі часові капітальні вкладення відповідно у верстат і споруду, грн/год.

Основна і додаткова зарплата з нарахуванням розраховується за формулою [2]:

$$C_з. = E \cdot C_{т.ф.} \cdot K \cdot y,$$

де  $E$  – коефіцієнт, що враховує додаткову зарплату ( $E = 1,53$ );

$C_{т.ф.}$  – часова тарифна ставка верстатника відповідного розряду, грн/год [2 табл.2.1];

$K$  – коефіцієнт, що враховує заробітну плату налагоджувальника ( $K=1$ );

$y$  – коефіцієнт, що враховує заробітну плату робітника для багатOVERстатного обслуговування ( $y=1$ ).

Часові затрати для експлуатації робочого місця [3]:

$$C_{ч.з.} = C_{ч.з.}^{б.н.} \cdot K_M,$$

де  $C_{ч.з.}^{б.н.}$  – практичні часові витрати на базовому робочому місці, грн/год;

$K_M$  – коефіцієнт, який показує з скільки раз затрати, пов'язані з роботою даного верстата більші, ніж аналогічні витрати на базовому верстаті [3] дод. 2.

Для серійного виробництва  $C_{ч.з.}^{б.н.} = 2,3$  грн /год.

Капітальні вкладення у верстат:

$$C_{ч.з.} = \frac{Ц \cdot 100}{F_o \cdot \eta_з},$$

Капітальні вкладення у споруду:

$$C_{ч.з.} = \frac{F \cdot 78,4 \cdot 100}{F_o \cdot \eta_з},$$

де Ц - балансова вартість верстата, грн.;

F - виробнича площа, що займає верстат з урахуванням проходів, м<sup>2</sup> :

$$F = f \cdot K_f ,$$

де f – площа верстата в плані, мм;

K<sub>f</sub> – коефіцієнт, що враховує додаткову виробничу площу проходів;

F<sub>д</sub> – дійсний річний фонд часу роботи верстата, год.;

η<sub>з</sub> – коефіцієнт завантаження верстата.

Технологічна собівартість операцій механічної обробки, грн /год:

$$C_o = \frac{C_{n.z} \cdot T_{шт}}{60 \cdot K_g} ,$$

де T<sub>шт</sub> – штучний час на операцію, хв.;

K<sub>в</sub> – коефіцієнт виконання норми;

Річна економія:

$$E_n = \frac{(C_o'' - C_o') \cdot N}{100} ,$$

де C<sub>o</sub><sup>''</sup> - технологічна собівартість порівняльних операцій.

Отже, рахуємо технологічну собівартість для двох варіантів, після розрахунків приймаємо оптимальний варіант.

Використовуючи вище приведені формули, визначимо технологічну собівартість для базового технологічного процесу з використанням 3 – ох верстатів вертикально-фрезерного 6P13, координатно-розточного 2E440, вертикально свердлильного 2H135. Для проектного варіанту використовуємо верстат із ЧПК ГФ2171М. Порівняння основних показників технологічного маршруту процесу виготовлення кронштейна наведено в таблиці А.6.

Економічний ефект для виготовлення кронштейна:

$$E_n = (C_o'' - C_o') \cdot N = (77,3 - 34,98) \cdot 1000 = 42320 \text{ грн.}$$

Як видно з розрахунків, доцільніше використовувати проектний варіант, тобто для обробки деталі «Кронштейн 4.01.96» приймаємо верстат із ЧПК ГФ2171М.

З урахуванням обробки усіх деталей, що входять до вузла кронштейн двигуна вертикального супорта 4.01.96 економічний ефект становить 139656 грн.

#### 1.4. Аналіз технологічності конструкції виробу

Якісну оцінку технологічності деталі проводимо за матеріалом, геометричною формою, якістю поверхонь, за проставленими розмірами і можливих методах отримання заготовок [4].

Відносно характеристик якісного рівня можна констатувати:

1. Матеріал, який пропонується для виготовлення кронштейна дає можливість отримати заготовки деталей методами лиття, штампування.
2. Деталі мають зручні базові поверхні.
3. Вимоги по точності і шорсткості до більшості оброблюваних поверхонь невеликі, що дозволяє використовувати одноразову обробку.
4. Деталі мають можливість створення зручних чистових баз, що дозволяє механічну обробку поверхонь високої точності з використання принципу постійності і єдності баз.
5. Осі всіх основних отворів розміщені паралельно або перпендикулярно до площин основи.

За своєю конфігурацією деталь є технологічною і труднощів при її механічній обробці не передбачається. Сприяє цьому і висока ступінь уніфікації часто повторюваних конструктивних елементів деталі. З точки зору будови необхідно відзначити, що деталь може легко зніматися і встановлюватися в процесі експлуатації (ремонті).

Кількісну оцінку проводимо за показниками. Показники для розрахунку наведені у таблиці А.7.

1. Коефіцієнт уніфікації елементів:

$$K_{y.e} = \frac{Q_{y.e}}{Q_e} = \frac{42}{45} = 0,93$$

де  $Q_{y.e}$ - кількість уніфікованих поверхонь;

$Q_e$ - кількість всіх поверхонь.

2. Коефіцієнт точності обробки:

$$K_{т.о.} = 1 - \frac{1}{A_{ср.}}$$

де  $A_{ср.}$ - середній квалітет точності розмірів;

$$A_{ср.} = \frac{n_1 + 2n_2 + 3n_3 + \dots + 19n_{19}}{\sum n_i}$$

де  $n_i$  - кількість розмірів відповідного квалітету

$$A_{ср.} = \frac{15 \cdot 10 + 23 \cdot 11 + 1 \cdot 8 + 6 \cdot 7}{45} = 10,1$$

$$K_{т.о.} = 1 - \frac{1}{10,1} = 0,9 > 0,8 - \text{деталь технологічна;}$$

3. Коефіцієнт шорсткості:

$$K_{ш.} = \frac{1}{Ш_{ср.}}$$

де  $Ш_{ср.}$  - середня шорсткість поверхонь

$$Ш_{ср.} = \frac{n_1 + 2n_2 + 3n_3 + \dots + 19n_{19}}{\sum n_i}$$

де  $n_i$  - кількість розмірів відповідної шорсткості

$$A_{ср.} = \frac{5 \cdot 15 + 6,3 \cdot 23 + 3,2 \cdot 4 + 2,5 \cdot 3}{60} = 4$$

$$K_{ш.} = \frac{1}{4} = 0,25 < 0,32 - \text{деталь технологічна;}$$

3. Коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_{в.м} = \frac{Q_{дет}}{Q_{заг}} = \frac{48,33}{60,5} = 0,79 - \text{деталь технологічна;}$$

де  $Q_{дет}$ - маса деталі;

$Q_{заг}$ - маса заготовки.

В результаті проведеного аналізу констатуємо, що в цілому кронштейн двигуна вертикального супорта 4.01.96 є достатньо технологічним, як з точки зору виготовлення заготовок, так і з подальшого механічного оброблення.

#### 1.5. Попереднє визначення типу і організаційної форми виробництва

Вибір типу виробництва проводимо за коефіцієнтом закріплення операцій [3]

$$K_{з.о.} = \frac{\sum O}{\sum P},$$

де  $O$  – кількість операцій, які виконуються на робочих місцях,

$P$  – кількість робочих місць на дільниці.

Для встановлення типу виробництва визначаємо наближено штучно-калькуляційний час, хв., за формулою:

$$T_{шт-к} = \varphi_k \cdot T_o,$$

де  $\varphi_k$  – коефіцієнт, який враховує тип виробництва і тип верстату [3], стр. 146;

$T_o$  – основний час виконання технологічної операції [3], стр. 145.

Штучний час визначаємо на основі розрахунку основного часу, визначеного за наближеними формулам. Розрахунок представлено у таблиці А.8.

Кількість верстатів для кожної операції розраховуємо за формулою:

$$m_p = \frac{N \cdot T_{шт-к}}{60 \cdot F_d \cdot \eta_n},$$

де  $N = 1000$  шт/рік- річна програма;

$F_d = 4029$  год - дійсний річний фонд часу роботи обладнання;

$\eta_n = 0,8$  - нормативний коефіцієнт завантаження обладнання.

Кількість операцій, що виконується на робочому місці:

$$O = \frac{\eta_n}{\eta_{з.ф.}}$$

де  $\eta_{з.ф.}$  - фактичний коефіцієнт завантаження обладнання.

Розрахунки за цими формулами зводимо у таблицю А.9.

Коефіцієнт закріплення операцій:  $K_{з.о.} = 19,2$ .

Тип виробництва – середньосерійний.

Добовий випуск деталей, шт., визначаємо за формулою:

$$N_d = \frac{N}{254},$$

$$N_d = \frac{1000}{254} = 3,9 \text{ шт.}$$

де  $N$  – річна програма випуску виробів;

254 – кількість робочих днів у році.

Добова продуктивність визначається за формулою:

$$Q_d = \frac{F_d}{T_{шт-к.с.} \cdot \eta},$$

де  $F_d = 952$  хв – добовий фонд роботи обладнання у дві зміни;

$T_{шт-к.с.} = 63,55$  хв. – середня працемісткість основних операцій, хв:

$$Q_d = \frac{952}{63,55 \cdot 0,8} = 18,73$$

Отже  $0,6 \cdot Q_d = 11,23 > N_d = 3,9$  і умова застосування потокової форми не виконується, тому приймаємо групову форму організації виробництва.

## 1.6. Висновки до 1-го розділу

В даному розділі було розглянуто об'єкт виробництва - кронштейн двигуна вертикального супорта 4.01.96, його службове призначення. За базову інформацію використані креслення деталі, типові технологічні процеси механічної обробки аналогічних деталей. Показана доцільність виготовлення виробів, що є складовою частиною технологічного оснащення для виготовлення верстатів. Встановлено тип та форму організації виробництва. Тому в роботі буде спроектовано виробничий підрозділ для механічного виготовлення кронштейн двигуна вертикального супорта 4.01.96 з детальною розробкою технологічного процесу. Проектування повинно бути виконано на базі модернізованого технологічного процесу механічної обробки вузла кронштейн двигуна вертикального супорта 4.01.96 з річним обсягом виготовлення  $N = 1000$  шт.

Загальним недоліком для базового технологічного процесу є відсутність засобів механізації та автоматизації. В перспективному технологічному процесі буде спроектовано механізовані пристрої, які підвищують продуктивність виготовлення кронштейну. Для підвищення продуктивності та зниження собівартості механічної обробки виробу, для умов серійного виробництва, планується використати найбільш оптимальні моделі верстатів, зокрема із ЧПК, впровадити більш продуктивний спосіб отримання заготовки, визначити припуски на обробку, режими різання, технічну норму часу.

В умовах базового технологічного процесу заготовки елементів кронштейну отримуються різними методами, однак остаточний висновок про раціональність способу отримання заготовки, можна зробити тільки після його техніко-економічного обґрунтування.

Розрахувати техніко-економічні показники розробленого технологічного процесу і обґрунтувати економічну ефективність впровадження технологічного процесу.

Провівши техніко-економічний аналіз конкурентних техпроцесів, можна зробити висновок, що зменшення собівартості виготовлення кронштейну, капітальних вкладення на впровадження технологічного процесу є досить хорошим показником для прогнозування скорочення терміну окупності затрат на виробництво. Отже, дана розробка є перспективною для впровадження у відповідне виробництво як з технічної, так і з економічної точки зору, бо вона має можливість виготовляти продукцію за нижчою собівартістю, ніж за типовими аналогами, що є хорошим показником для подальшого розвитку виробництва.

## РОЗДІЛ 2

### РОЗРОБЛЕННЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

#### 2.1 Обґрунтування методу одержання заготовки

Процес вибору методу одержання заготовки є складним і залежить від багатьох факторів. Дана деталь виготовляється із сталі марки Ст 3. Марка матеріалу обумовлює отримання заготовки методом лиття. Виробництво цієї деталі відповідає серійному типу виробництва.

Доцільність застосування того чи іншого методу отримання заготовки оцінюють за техніко-економічними показниками. Цю оцінку здійснюють за мінімальною величиною зведених витрат на виготовлення заготовки методом штампування та литва за формулою [3]:

$$S_{\text{заг}} = \left( \frac{C_3}{1000} \cdot Q \cdot K_T \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_M \cdot K_{\Pi} \right) - (Q - q) \cdot \frac{S_{\text{відх}}}{1000},$$

де  $C_3$  - базова вартість 1т заготовок, грн. (6200 грн/т);

$K_T, K_C, K_B, K_M, K_{\Pi}$  - коефіцієнти, що залежать від класу точності, групи складності, маси, марки матеріалу й обсягу виробництва заготовок;

$Q$  і  $q$  - маса заготовки і деталі, кг;

$S_{\text{відх}}$  ціна 1т відходів, грн. – (254 грн/т).

Витрати на виготовлення заготовки із прокату:

$$S_1 = M + \sum C_{\text{о.з.}} = 4,7 + 0,29 = 4,99$$

де  $M$  – затрати на матеріал заготовки, грн.;

$C_{\text{о.з.}}$  - технологічна собівартість різання на штучні заготовки:

$$C_{\text{о.з.}} = \frac{C_{\text{п.з.}} \cdot T_{\text{шт(ш-к)}}}{60 \cdot 100} = \frac{12,5 \cdot 140}{60 \cdot 100} = 0,29 \text{ грн}$$

де  $C_{\text{п.з.}}$  – приведені затрати на робочому місці, (12,5 грн./год);

$T_{\text{шт(ш-к)}}$  – штучне чи штучно-калькуляційний час виконання заготовчої операції, (140 хв.).

Затрати на матеріал визначаються по масі прокату, потрібного на виготовлення деталі, і масі стружки. При цьому необхідно враховувати довжину прутків і відходи в результаті не кратності довжини заготовок цій стандартній довжині:

$$M = QS - (Q - q) \frac{S_{\text{вiтх}}}{1000} = 0,78 \cdot 6,2 - (0,78 - 0,55) \frac{254}{1000} = 4,99$$

де Q- маса заготовки, кг;

S – ціна 1 кг матеріала заготовки, (6,2грн.);

q – маса готової деталі;

$S_{\text{отх}}$  – ціні 1 т відходів, (254 грн.).

Готова деталь являє собою зварну конструкцію, тобто для кожного елемента деталі знаходимо найоптимальніший метод отримання заготовки.

Масу готової деталі та заготовок отриманими різними методами (поштучного прокату, штампування та лиття під тиском в металеві форми) визначаємо за допомогою програми автоматизованого проектування “КОМПАС-3D”. Результати розрахунків представлено у табл. Б.1. Заготовку приймаємо для основи, корпусу та фланця – штамповку, для косинок та ребра - прокат.

3D вигляд деталей та заготовок: основи 4.01.96.01, корпусу 4.01.96.02, фланця 4.01.96.03, косинки 4.01.96.04, косинки 4.01.96.05, ребро 4.01.96.06 з інформацією про тіло наведено на рис. Б.1 - Б.18.

Загальний економічний ефект буде рівний:

$$E_{\text{заг}} = 65700 + 21300 + 31600 + 210 + 240 + 440 = 119490 \text{грн}$$

## 2.2. Вибір методу обробки поверхонь

На правильний вибір методу обробки поверхонь заготовки впливають такі фактори, як службове призначення деталі, функціональне призначення поверхонь, вимоги до точності, шорсткості, геометричної форми, тощо. Аналізуючи дану деталь приймаємо метод обробки різанням, як найбільш поширений в машинобудуванні. Вимоги, які ставляться до деталі, дозволяють

зробити цей вибір. Обробку поверхонь необхідно виконувати за декілька переходів на кожному з яких використовуємо свій вид обробки (від чистової до чорнової). Згідно з рекомендаціями під час обробки заготовки необхідно забезпечити мінімальну кількість установів, підвищену продуктивність праці, точність обробки.

Можливі 2 шляхи пошуку методу і маршруту обробки поверхонь. Перший шлях пошуку - визначення числа ступенів та методів обробки поверхонь, що рекомендують довідники і технічна література. Другий шлях пошуку - визначення числа ступенів обробки на основі розрахунків уточнення [3].

$$E = \frac{T_3}{T_d} = E_1 \cdot E_2 \cdot \dots \cdot E_n = \sum_{i=1}^n E_i,$$

де  $E$  – загальні уточнення;

$E_1$  – окремі ступені уточнення;

$n$  – число ступенів обробки;

$T_3$ ,  $T_d$  – допуски параметрів, що розглядаються відповідно до заготовки деталі.

Для найбільш спрямованого вибору числа ступенів використовуємо формулу:

$$n_p = \frac{\lg E_p}{0,46},$$

Знаходимо число ступенів обробки для поверхонь:

- Отвора  $\varnothing 80Js8$ .

Заготовка виготовлена за методом штампування і досягає точності h14.

Загальне уточнення :

$$E = \frac{T_3}{T_d} = \frac{740}{46} = 16,08$$

Число ступенів обробки рівний:

$$n = \frac{\lg 16,08}{0,46} = 2,6$$

Приймаємо  $n = 3$  ступені обробки.

- Отвора  $\varnothing 26H7$ .

Заготовка виготовлена за методом штампування і досягає точності h14.

Загальне уточнення :

$$E = \frac{T_3}{T_d} = \frac{520}{21} = 24,7$$

Число ступенів обробки рівний:

$$n = \frac{\lg 24,7}{0,46} = 3,03$$

Приймаємо  $n = 3$  ступені обробки.

- Отвора  $\varnothing 130H11$ .

Заготовка виготовлена за методом штампування і досягає точності h14.

Загальне уточнення :

$$E = \frac{T_3}{T_d} = \frac{1000}{250} = 4$$

Число ступенів обробки рівний:

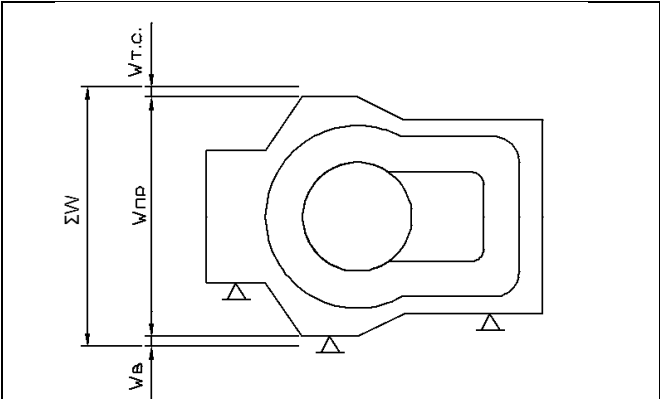
$$n = \frac{\lg 4}{0,46} = 1,3$$

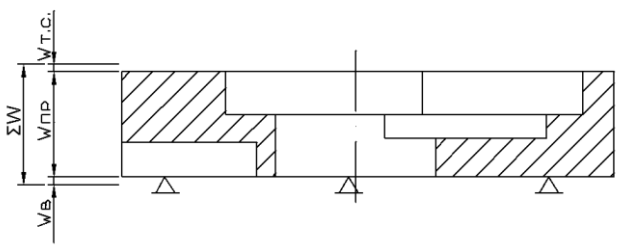
Приймаємо  $n = 1$  ступені обробки.

### 2.3. Вибір і розрахункове обґрунтування технологічних баз

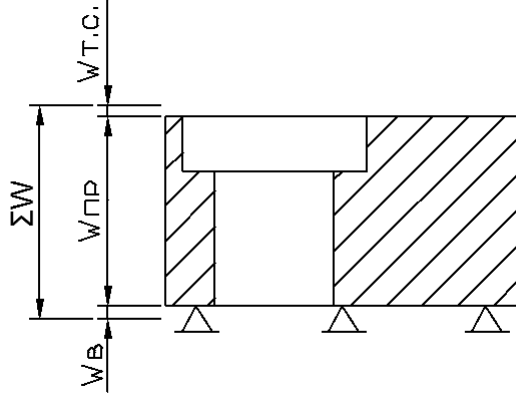
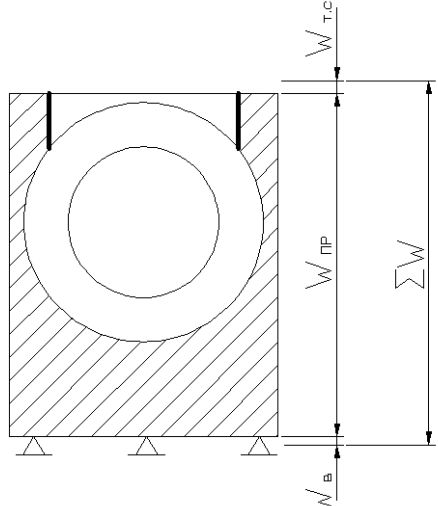
Розрахункове обґрунтування технологічних баз проводимо для усіх деталей кронштейна. Для прикладу наведемо розрахунок для основи та корпусу. Для інших деталей розрахунки наведено у додатку Б.

#### Основи 4.01.96.01

	<p>005 Вертикально – фрезерна Установ А</p> $\Sigma W = W_{пр} + W_{т.с.} + W_{в}$ $W_{пр} + W_{т.с.} = W_{с}$ $W_{с} = 0,2 \text{ мм};$ $W_{в} = 0,06 \text{ мм};$ <p>Тоді:</p> $\Sigma W = 0,2 + 0,06 = 0,26 \text{ мм}$
---	--

	<p>005 Вертикально – фрезерна Установ В</p> $\Sigma W = W_{\text{пр}} + W_{\text{тс}} + W_{\text{в}}$ $W_{\text{пр}} + W_{\text{тс}} = W_{\text{с}}$ $W_{\text{с}} = 0,12 \text{ мм};$ $W_{\text{в}} = 0,06 \text{ мм};$ <p>Тоді:</p> $\Sigma W = 0,12 + 0,06 = 0,18 \text{ мм}$
---	--

### Корпуса 4.01.96.02

	<p>005 Вертикально – фрезерна о Установ А</p> $\Sigma W = W_{\text{пр}} + W_{\text{тс}} + W_{\text{в}}$ $W_{\text{пр}} + W_{\text{тс}} = W_{\text{с}}$ $W_{\text{с}} = 0,12 \text{ мм};$ $W_{\text{в}} = 0,06 \text{ мм};$ <p>Тоді:</p> $\Sigma W = 0,12 + 0,06$ $= 0,18 \text{ мм}$
	<p>010 Вертикально – фрезерна Установ В</p> $\Sigma W = W_{\text{пр}} + W_{\text{тс}} + W_{\text{в}}$ $W_{\text{пр}} + W_{\text{тс}} = W_{\text{с}}$ $W_{\text{с}} = 0,17 \text{ мм};$ $W_{\text{в}} = 0,06 \text{ мм};$ <p>Тоді:</p> $\Sigma W = 0,17 + 0,06$ $= 0,23 \text{ мм}$

## 2.4. Визначення допусків на технологічні розміри і розрахунок припусків

Для розрахунків припусків використовують декілька методів. В рамках курсового проекту розрахунок припусків на механічну обробку виконуємо розрахунково - аналітичним і табличним методами.

Визначимо припуски для отвору  $\varnothing 80\text{js8}$ - розрахунково-аналітичним методом.

Знаходимо сумарне відхилення заготовки за формулою:

$$\rho_3 = \sqrt{\rho_{\text{см}}^2 + \rho_{\text{кор}}^2}$$

$$\rho_{\text{кор}} = \sqrt{(\Delta_K l)^2 + (\Delta_K d)^2} = \sqrt{(0,7 \cdot 40)^2 + (0,7 \cdot 80)^2} \approx 62,6 \text{ мкм}$$

$$\rho_{\text{см}} = \sqrt{\left(\frac{\delta_B}{2}\right)^2 + \left(\frac{\delta_\Gamma}{2}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{57}{2}\right)^2 + \left(\frac{190}{2}\right)^2} = 99,2 \text{ мкм}$$

де  $\delta_B$  і  $\delta_\Gamma$  – допуски на поверхні, які використовуються в якості базових визначаємо по ГОСТ 7505-74

$$\rho_3 = \sqrt{99,2^2 + 62,6^2} = 117 \text{ мкм}$$

Остаточне просторове відхилення:

$$\text{після свердління: } \rho_1 = 0,05 \cdot 117 = 6 \text{ мкм}$$

$$\text{після зенкерування: } \rho_2 = 0,02 \cdot 117 = 2,5 \text{ мкм}$$

Похибка установки при свердлінні:

$$\varepsilon_1 = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2}$$

$$S_{\text{max}} = \delta_A + \delta_B + s_{\text{min}}$$

де  $\delta_A$  – допуск на поверхню  $\delta_A = 190 \text{ мкм} = 0,19 \text{ мм}$ ;

$\delta_B$  – допуск встановлення  $\delta_B = 60 \text{ мкм} = 0,06 \text{ мм}$ ;

$s_{\text{min}}$  – мінімальний зазор між стінками упорів і деталі  $s_{\text{min}} = 13 \text{ мкм} = 0,013 \text{ мм}$

$$\text{tg} \alpha = \frac{0,19 + 0,06 + 0,013}{\sqrt{125^2 + 70^2}} = 0,0018$$

$$\varepsilon_6 = l \text{tg} \alpha = 40 \cdot 0,0018 = 0,073 \text{ мм} = 73 \text{ мкм}$$

де  $l$  – довжина оброблюваного отвору.

Похибка закріплення заготовки  $\varepsilon_3$  приймається рівний 120 мкм.

Тоді похибка установки при свердлінні рівна:

$$\varepsilon_1 = \sqrt{73^2 + 120^2} = 140,5 \text{ мкм}$$

похибка установки при зенкеруванні:

$$\varepsilon_2 = 0,05 \varepsilon_1 + \varepsilon_{\text{інд}} = 0,05 \cdot 140,5 + 0 = 7,03 \text{ мкм}$$

Остаточна похибка установки при розгортанні:

$$\varepsilon_3 = 0,05\varepsilon_2 + \varepsilon_{\text{інд}} = 0,05 \cdot 7,03 + 0 = 0,35 \text{ мкм}$$

Так як операції проводяться в одній установці то  $\varepsilon_{\text{інд}} = 0$ .

Розрахунок мінімальних значень припусків знаходимо користуючись основною формулою:

$$2z_{\min i} = 2(R_{z_{i-1}} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2})$$

Мінімальний припуск:

під свердління

$$2z_{\min 1} = 2(460 + \sqrt{231^2 + 140,5^2}) = 2 \cdot 730 \text{ мкм}$$

під зенкерування

$$2z_{\min 2} = 2(50 + 120 + \sqrt{11,5^2 + 7,03^2}) = 2 \cdot 140 \text{ мкм}$$

під розгорткування

$$2z_{\min 3} = 2(20 + 74 + \sqrt{4,6^2 + 0,35^2}) = 2 \cdot 100 \text{ мкм}$$

Розрахунковий розмір діаметра заповнюємо починаючи з кінцевого (креслярського) розміру шляхом почергового додавання розрахункового припуска кожного технологічного припуска:

$$d_{p1} = 80,046 - 0,200 = 79,8 \text{ мм}$$

$$d_{p2} = 79,8 - 0,280 = 79,5 \text{ мм}$$

$$d_{p3} = 79,5 - 1,46 = 78,04 \text{ мм}$$

Найбільші граничні розміри розраховуємо додаванням допуску до округленого найменшого граничного розміру:

$$d_{\min 1} = 80,046 - 0,046 = 80 \text{ мм}$$

$$d_{\min 2} = 79,8 - 0,074 = 79,7 \text{ мм}$$

$$d_{\min 3} = 79,5 - 0,12 = 79,4 \text{ мм}$$

$$d_{\min 4} = 78,04 - 0,46 = 77,88 \text{ мм}$$

Граничні значення припусків:

$$2z_{\min 3}^{\text{пп}} = 80,046 - 79,8 = 0,246 \text{ мм} = 246 \text{ мкм}$$

$$2z_{\min 2}^{\text{пп}} = 79,8 - 79,5 = 0,3 \text{ мм} = 300 \text{ мкм}$$

$$2z_{\min 1}^{\text{пп}} = 79,5 - 78,04 = 1,46 \text{ мм} = 1460 \text{ мкм}$$

$$2z_{\max_3}^{\text{pp}} = 80 - 79,7 = 0,3 \text{ мм} = 300 \text{ мкм}$$

$$2z_{\max_2}^{\text{pp}} = 79,7 - 79,4 = 0,3 \text{ мм} = 300 \text{ мкм}$$

$$2z_{\max_1}^{\text{pp}} = 79,4 - 77,88 = 1,52 \text{ мм} = 1520 \text{ мкм}$$

Номінальний припуск визначаємо з врахуванням несиметричного розміщення поля допуску заготовки:

$$z_{0_{\text{ном}}} = z_{0_{\text{min}}} + H_3 + H_d$$

Нижнє відхилення розміру заготовки  $H_3 = 1200 \text{ мкм}$ ;

$$z_{0_{\text{ном}}} = 2120 + 1200 + 46 = 3366 \text{ мкм}$$

$$d_{3_{\text{ном}}} = 80,046 - 3,4 = 76,6 \approx 76 \text{ мм}$$

Результати розрахунків припусків зведено у таблицю Б.2.

## 2.5. Визначення режимів різання і вибір технологічного обладнання

Під час призначення елементів режимів різання за рекомендаціями джерела [5] враховуємо обробку, характеристики та матеріал інструменту, заготовки, обладнання.

Проектування техпроцесу виконуємо у програмі FeatureCAM. Дана програма самостійно підбирає елементи режиму різання з метою максимальної оптимізації механічної обробки деталі. Тому надалі параметри різання приймаємо ті що розраховані у програмі, з подальшим обчисленням деяких невідомих величин.

Розрахунки проводимо за методою викладеною у джерелі [3]. Для прикладу наводимо розрахунок для операції 005 (обробка деталі «Кронштейн 4.01.96»).

Фрезерувати торець 17 начорно

Виходячи із заданих програмою параметрів, записуємо елементи режиму різання для даної операції:

глибина різання  $t=2 \text{ мм}$ ;

подача  $s: s=0,8 \text{ мм/об}$ .

швидкість різання :  $v=134$  м/хв

Діаметр інструменту:  $D = 50$ мм

Потужність різання:  $N = 3,7$ кВт

частота обертання інструменту:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 134}{3,14 \cdot 50} = 854 \text{ об/хв}$$

У зв'язку з тим, що обробка проводиться на верстаті з ЧПК, коректування за паспортним даним верстату не проводимо.

Сила різання :

$$P_z = \frac{N \cdot 1020 \cdot 60}{v} = \frac{3,75 \cdot 1000 \cdot 60}{134} = 1679,1 \text{ Н}$$

Крутний момент на шпинделі:

$$M_{кр} = \frac{P_z D}{2 \cdot 100} = \frac{1679,1 \cdot 50}{2 \cdot 100} = 419,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Таблиця 2.1 - Зведена таблиця режимів різання для обробки «Кронштейна 4.01.96»

№ п/п	Перехід	Режими різання					
		глибина різання, мм	подача, мм/об	швидкість різання, м/хв	число оборотів, об/хв	Потужність, кВт	Основний час, хв
		$t$	$s$	$V$	$n$	$N$	$T_o$
1	2	3	4	5	6	7	8
005 Вертикально - фрезерна							
Установ А							
1	Фрезерувати торець 3 начисто	1	1,01	101	640	1,9	2,46
2	Фрезерувати поверхню 36 по контуру	2	0,64	32	509	1,42	6,33
3	Фрезерувати поверхню 37 по контуру начисто	2	0,64	32	1019	0,98	1,06
4	Фрезерувати торець 38	2	0,48	134	1334	1,81	2,44
5	Фрезерувати поверхню 39 по контуру	2	0,64	32	509	1,19	2,15
6	Фрезерувати торець 40	2	0,48	134	1334	1,4	1,44

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8
7	Фрезерувати поверхню 41	2	0,64	32	509	1,6	4,3
8	Розточити отвір 10	2	0,24	55	135	2,1	4,25
9	Свердлити почергово отвори 42	3,5	0,165	22	840	0,5	0,25
10	Почергово нарізати різьбу на отвори 42	1,5	1,5	7	210	0,43	0,15
11	Попередньо свердлити отвір 43	10	0,388	22	357,4	2,8	0,46
12	Розсвердлити отвір 43	2,75	0,49	26	322	1,9	0,4
13	Розгортати отвір 43	0,25	4,03	11	137	0,71	0,24
Установ Б							
14	Фрезерувати торець 19 начисто	2	1,68	19	120	2,8	3,4
15	Розточити отвір 13	2	0,6	22	90	1,3	1,01
16	Зенкерувати отвір 13	0,9	0,8	38	153	0,6	1,15
17	Розгортати отвір 13	0,12	2,5	11	45	0,23	0,58
18	Розточити отвір 44	2	0,1	121	549	1,92	1,4
19	Свердлити почергово отвори 45	3,5	0,165	22	840	0,5	0,25
20	Почергово нарізати різьбу на отвори 45	1,5	1,5	7	210	0,43	0,15

Зведені таблиці режимів різання для обробки всіх деталей наведено у додатку Б. Для обробки цієї деталі приймаємо верстат з ЧПК ГФ2171М з АСІ (рис..Б.19).

Технічні характеристики верстата ГФ2171М з АСІ наведено у таблиці Б.9.

Режими різання для обробки усіх деталей, що входять до кронштейну наведено у таблицях Б.3-Б.8. Для обробки деталей приймаємо фрезерувальні верстати з ЧПК:

- для основи - ГФ2171Р;
- для корпусу - FV-361-04 CNC;
- для фланця - FV-361-04 CNC;
- для косинок - 6ДМ13Ф3;
- для ребра - 6ДМ13Ф3.

Технічні характеристики даних верстатів наведено у таблицях Б.10-Б.12.

## 2.6. Нормування технологічного процесу

Технологічні норми часу для умов серійного виробництва визначаються розрахунково - аналітичним методом за методом джерела [3].

Для прикладу визначаємо норму штучно-калькуляційного часу  $T_{ш-к}$  для вертикально-фрезерної операції 005 обробки деталі «Кронштейн».

$$T_{ш-к} = \frac{T_{п-з}}{n} + T_{шт};$$

де  $T_{п-з}$  – підготовчо-заключний час, який рівний сумі затрат часу;

$n$  – кількість деталей у настоюваній партії – 10шт;

$T_{шт}$  – штучний час, який рівний.

$T_{п-з}$  для верстата з ЧПК він складається з організаційної підготовки:

- отримання креслення, технічної документації, програмоносія, ріжучого, допоміжного, контрольно-вимірюваного інструменту, приспособлення, заготовки – 4...10 хв. Приймаємо 8 хв.

- ознайомлення з роботою, кресленням, огляд заготовки – 2хв.

- інструктаж майстра – 2 хв.

Та на наладку верстата, приспособлення, інструмента, програмних приладів:

- на встановлення деталі у пристрій – 2,5хв;

- підключення приспособлення до пневмосистеми – 2 хв.

- встановлення і зняття інструментального блоку – 0,2 хв.

- встановлення і зняття програмоносія – 1хв.
- перевірка працездатності считуючого приладу і програмоносія – 0,5хв
- налагодження нульового положення – 3,0 хв.
- встановлення інструменту на довжину обробки – 1,1хв.
- налагодження для подачі ЗОР – 0,3хв

$$T_{п-з} = 8+2+2+2,5+2+0,2+1+0,5+3+1,1+0,3 = 22,6 \text{ хв}$$

$T_{шт}$  рівний:

$$T_{шт} = ((T_{цаА} + T_{ВА}) + (T_{цаБ} + T_{ВБ})) + T_{об.от},$$

де  $T_{цаА}$  – час циклу автоматичної роботи станка по програмі для установка А:

$$T_{ца} = T_o + T_{мв}$$

$T_o$  – основний час на обробку;

$T_{мв}$  – машино-допоміжний час за програмою;

$$T_{цаА} = 25,9 \text{ хв}$$

$T_{цаБ}$  – час циклу автоматичної роботи верстату за програмою для установка Б:

$$T_{ца} = T_o + T_{мв}$$

$T_o$  – основний час на обробку;

$T_{мв}$  – машино-допоміжний час за програмою;

$$T_{цаБ} = 8,1 \text{ хв}$$

$T_{ВА}$  – допоміжний час для установка А, який рівний:

$$T_{ВА} = (T_{у.с} + T_{з.о} + T_{уп} + T_{вм})k,$$

де  $T_{у.с}$  – час на установку і знімання деталі – 1,25хв;

$T_{з.о}$  – час на закріплення і відкріплення деталі – 0,24 хв;

$T_{уп}$  – час на прийоми управління – 0,85 хв;

$T_{вм}$  – час на вимірювання деталі – 0,12 хв.

Тоді:

$$T_{ВА} = (1,25 + 0,24 + 0,85 + 0,12)1,5 = 3,7 \text{ хв}$$

$T_{ВБ}$  – допоміжний час для установка Б, який рівний:

$$T_{ВБ} = (T_{у.с} + T_{з.о} + T_{уп} + T_{вм})k,$$

де  $T_{у.с}$  – час на установку і знімання деталі – 1,25 хв;

$T_{з.о}$  – час на закріплення і відкріплення деталі – 0,24 хв;

$T_{уп}$  – час на прийоми управління – 0,85 хв;

$T_{\text{вм}}$  – час на вимірювання деталі – 0,19 хв.

Тоді:

$$T_{\text{вБ}} = (1,25 + 0,24 + 0,85 + 0,19)1,5 = 3,7 \text{ хв}$$

$T_{\text{об.от}}$  – час на обслуговування і відпочинок, який рівний 6% від  $T_{\text{оп}}$ ,

$$T_{\text{опА}} = T_{\text{цаА}} + T_{\text{вА}} = 25,9 + 3,7 = 29,6 \text{ хв:}$$

$$T_{\text{об.отА}} = \frac{29,6 \cdot 6}{100} = 1,8 \text{ хв}$$

$$T_{\text{опБ}} = T_{\text{цаБ}} + T_{\text{вБ}} = 8,1 + 3,7 = 11,8 \text{ хв:}$$

$$T_{\text{об.отБ}} = \frac{11,8 \cdot 6}{100} = 0,7 \text{ хв}$$

Знаходимо штучно-калькуляційний час:

$$T_{\text{ш-к}} = \frac{22,6}{10} + (31,4 + 12,5) = 46,16 \text{ хв}$$

Таблиця 2.3 - Норма штучно-калькуляційного часу для обробки  
Кронштейну 4.01.96

Номер і найменування операції	$T_{\text{ца}}$	$T_{\text{в}}$			$T_{\text{оп}}$	$T_{\text{об.от}}$	$T_{\text{шт}}$	$T_{\text{п-з}}$	n	$T_{\text{ш-к}}$
		$T_{\text{у.с}^+} + T_{\text{з.о}}$	$T_{\text{уп}}$	$T_{\text{вм}}$						
005 Вертикально-фрезерна										
Установ А	25,9	1,49	0,85	0,19	29,6	1,8	31,4	22,6	10	46,16
Установ Б	8,1	1,49	0,85	0,19	11,8	0,7	12,5	22,6		

Для інших деталей результати визначення штучно-калькуляційного часу наведено у таблицях Б.12- Б.17.

## 2.7. Висновки до 2-го розділу

В розділі обґрунтовано спосіб виготовлення заготовок для деталей кронштейна. Прийнято для основи, корпусу та фланця – штамповку, для косинок та ребра - прокат. Визначено масу готової деталі та заготовок отриманими різними методами за допомогою програми автоматизованого проектування “КОМПАС-3D”. Спроектовано 3D вигляд деталей та заготовок: основи 4.01.96.01, корпусу 4.01.96.02, фланця 4.01.96.03, косинки 4.01.96.04,

косинки 4.01.96.05, ребро 4.01.96.06 з інформацією про тіло. Провівши розрахунки встановлено економічний ефект отримання заготовок, що складає 119490 грн.

Виконано вибір методів, послідовності та числа переходів для обробки окремих поверхонь. Проведено вибір та дане розрахункове обґрунтування технологічних баз. Визначено мінімальні проміжні припуски на обробку поверхонь, значення технологічних розмірів, розміри початкової заготовки та допуски цих розмірів. Розраховані припуски і технологічні розміри на механічну обробку поверхонь. Проведено визначення режимів різання та технічної норми часу за допомогою аналітично-розрахункового методу та використання програми FeatureCAM.

## РОЗДІЛ 3

### КОНСТРУЮВАННЯ ПРИСТРОЇВ

#### 3.1. Проектування спеціального фрезерного пристосування

3.1.1. Розробка схеми базування виробу із позначенням всіх необхідних точок і сил закріплення

Оскільки проектування для середньосерійного виробництва, то необхідне технологічне оснащення, яке б дозволило знизити або по можливості усунути взагалі долю важкої, ручної і низько кваліфікованої праці, яка пов'язана з установкою і закріпленням деталі.

Проектуємо верстатний пристрій для обробки поверхонь на верстаті з ЧПК. В прийнятому варіанті механічної обробки обробка даних поверхонь здійснюється на верстаті ГФ2171Р.

Для повного базування заготовок в пристрої необхідно створити 6-ть опорних точок, розміщених визначеним чином відповідно базових поверхонь заготовки [7]. Враховуючи геометричні параметри заготовки, вибираємо наступну схему базування (рис. 3.1).

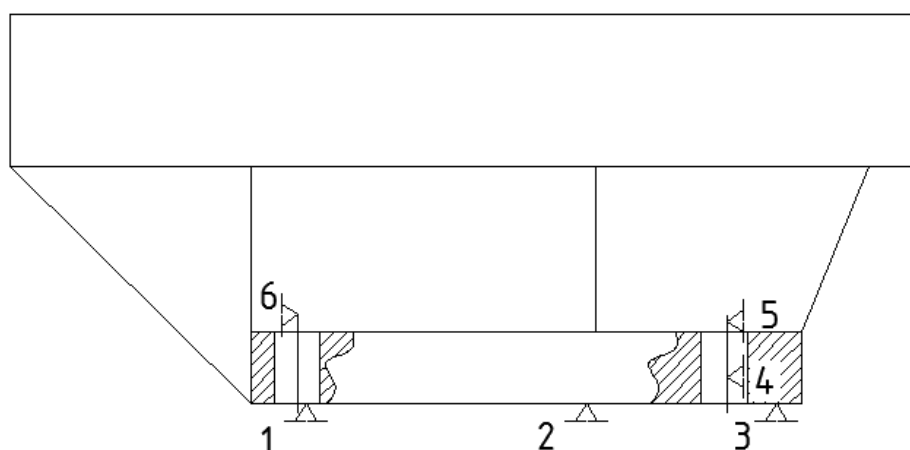


Рис. 3.1- Схема базування заготовки

### 3.1.2. Розрахунок приспособлення на точність

Від точності виготовлення і установки на верстаті, зносостійкості установочних елементів і жорсткості в значній мірі залежить точність обробки заготовок. Для розрахунку приспособлення на точність використовують формулу [7]:

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \delta - k_T \sqrt{(k_{T1} \varepsilon_6)^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_y^2 + \varepsilon_{3H}^2 + \varepsilon_{3M}^2 + (k_{T2} \omega)^2}$$

де  $\delta$  - виконуваний допуск при обробці розміру заготовки  $\delta = 0,14$  мм

$k_T$  - коефіцієнт, що враховує відхилення розсіювання значень складових значень від закону нормального розподілу  $k_T = 1 \dots 1,2$ , приймаємо  $k_T = 1$

$k_{T1}$  - коефіцієнт, що враховує зменшення граничного значення похибки базування  $k_{T1} = 0,8 \dots 0,85$ , приймаємо  $k_{T1} = 0,85$

$k_{T2}$  - коефіцієнт, що враховує зменшення граничного значення похибки в сумарній похибці  $k_{T2} = 0,6 \dots 0,8$ , приймаємо  $k_{T1} = 0,6$

$\varepsilon_6$  - похибка базування  $\varepsilon_6 = 0$  мкм

$\varepsilon_3$  - похибка закріплення  $\varepsilon_3 = 110$  мкм

$\varepsilon_y$  - похибка установки  $\varepsilon_y = 0$  мкм

$\varepsilon_{3H}$  - похибка від зношення установочних елементів

$$\varepsilon_{3H} = \beta_2 N = 0,0015 \cdot 5000 = 7,5 \text{ мкм}$$

$\varepsilon_{3M}$  - похибка від зміщення інструменту  $\varepsilon_{3M} = 0$

$\omega$  - економічна точність обробки  $\omega = 140$  мкм

$$\varepsilon_{\text{пр}} = 0,14 - 1 \sqrt{(0,8 \cdot 0)^2 + 0,11^2 + 0^2 + 0,0075^2 + 0^2 + (0,6 \cdot 0,14)^2} =$$

0,025 мм

### 3.1.3. Розрахунок сил закріплення виробу у пристрої

Вибравши спосіб установки (базування) деталі, розмістивши установочні елементи в пристрої визначають величину, місце прикладання і напрямки сил затиску деталі. Після цього вибираємо тип силових приводів для переміщення затискних елементів за рекомендаціями джерела [8]. В даному випадку необхідна сила затиску обчислюється за формулою:

$$W = \frac{kP}{f_1 + f_2},$$

де  $k$  - коефіцієнт запасу

$$k = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6;$$

$k_0$  - гарантований коефіцієнт запасу  $k_0=1,5$ ;

$k_1$  - враховує збільшення сил різання через випадкові нерівності, при чорновій обробці  $k_1 = 0$ ;

$k_2$  - характеризує збільшення сил різання в наслідок затуплення інструменту, при фрезеруванні  $k_2 = 1,2$ ;

$k_3$  - враховує збільшення сил різання при перервному різанні,  $k_3 = 1,2$ ;

$k_4$  - характеризує постійність сили закріплення при використанні пневмоциліндрів односторонньої дії,  $k_4 = 1$ ;

$k_5$  - характеризує ергономіку ручних затискних механізмів,  $k_5=0$ ;

$k_6$  - враховуються при наявності моментів, що намагаються повернути заготовку навколо осі; при установці заготовки,  $k_6= 1,5$ .

$$\text{Отже, } k = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1,5 = 3,24 .$$

$P$  - сила різання;

$f_1$  - коефіцієнт тертя між контактуючими поверхнями заготовки та елементів пристосування  $f_1 = 0.15$ .

Тоді сила затиску :

$$W = \frac{3,24 \cdot 1128,8}{0,15 + 0,15} = 12191,1 \text{ Н}$$

3.1.4. Силовий розрахунок пристрою, вибір затискного пристрою і приводу

Для забезпечення затиску деталі з силою  $W=12191,1\text{Н}$  вибираємо пневматичний поршневий привід. Розрахуємо параметри пневмоциліндра.

Діаметр поршня знаходимо за формулою:

$$W = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot p \cdot \eta}{4},$$

де  $W$  – сила затиску;

$p$ - тиск стисненого повітря  $p= 0,4 \text{ МПа}$ .

$\eta$  - коефіцієнт корисної дії, що враховує втрати в пневмоциліндрі  $\eta = 0,85$ .

Тоді отримаємо :

$$D = \sqrt{\frac{4W}{\pi \cdot p \cdot \eta}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 12191,1}{3,14 \cdot 0,4 \cdot 0,85}} = 198,3 \text{ мм}$$

Отже, для забезпечення необхідної точності затиску вибираємо пневмоциліндр з діаметром поршня  $D = 200$  мм; діаметр штока 40 мм, це дозволяє затискувати деталі інших типів. Загальний вигляд пристрою наведено на рис. Б.19, а 3D – модель на рис. 3.2.

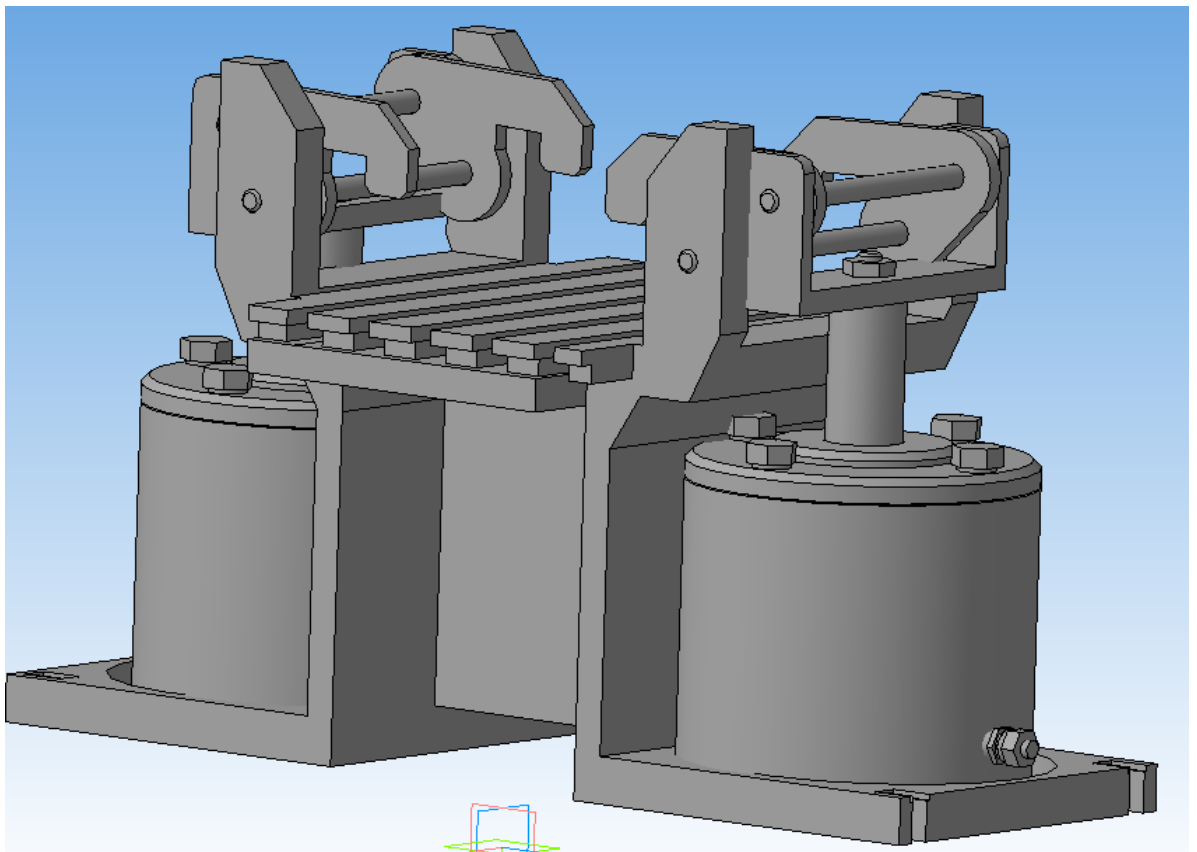


Рис. 3.2 – 3D модель пристрою для фрезерної обробки кронштейну

### 3.1.5. Розрахунок елементів пристроїв на міцність

Розрахунок на міцність проводимо за умов [8]:

$$\sigma = \frac{4P}{\pi d^2} \leq [\sigma];$$

де  $\sigma$  – напруження на зріз, МПа;

$[\sigma]$  - допустиме напруження для вуглецевої сталі після поліпшення, МПа;

$P$ - розрахункова осьова сила;

$d$  - діаметр поперечного перерізу осі, мм.

$$\sigma = \frac{4 \cdot 12191,1}{3,14 \cdot 16^2} = 60,7 \text{ МПа} \leq [\sigma] = 110 \text{ МПа}$$

Умова міцності задовольняється, оскільки  $\sigma \leq [\sigma]$ .

### 3.1.6. Розрахунок елементів пристроїв на спрацювання

Загальний допуск установчих опор пристроїв визначаються як:

$$T = T_{\text{виг}} + T_{\text{зн}}$$

де  $T_{\text{виг}}$  – допуск на виготовлення (приймаємо рівним 1/3 загального допуску)

$T_{\text{зн}}$  - допуск на зношення.

Приймаючи рекомендований допуск на висоту опор Н7 в межах 0,025 мм, отримаємо:

$$T_{\text{виг}} = \frac{1}{3} \cdot 0,14 = 0,046 \text{ мм.}$$

Отримане значення допуску округлюємо до стандартного значення, що складає 0,5мм.

Тоді  $T_{\text{виг}} = 0,5\text{мм}$  і допуск на зношення:

$$T_{\text{зн}} = T - T_{\text{виг}} = 0,14 - 0,5 = 0,11\text{мм}$$

Визначаємо зносостійкість опор:

$$C=1000 \text{ шт/мкм.}$$

Визначаємо допустиму кількість встановлень на опори :

$$N_{\text{дет}} = C \cdot T_{\text{зн}};$$

$$N_{\text{дет}} = 1000 \cdot 1,1 = 1100 \text{ дет.}$$

Визначаємо кількість обладнання, яка необхідна для виготовлення річної програми  $N$ :

$$n = \frac{N}{N_{\text{дет}}};$$

$$n = \frac{5000}{1100} = 4,5 \text{ компл.}$$

3.1.7. Розрахунок економічного ефекту застосування пристосування і терміну його окупності

Для визначення економічної ефективності розробленого пристрою проведемо порівняльну характеристику двох значень технологічної собівартості оброблення заготовки при використанні старого і нового пристроїв [3]:

$$C_T = Z_T \left( 1 + \frac{z}{100} \right) + \frac{S_T}{N} \left( \frac{1 + q_n}{i} + q_e \right),$$

$$C_{\Pi} = Z_{\Pi} \left( 1 + \frac{z}{100} \right) + \frac{S_{\Pi}}{N} \left( \frac{1 + q_n}{i} + q_e \right)$$

де  $Z_T$ ;  $Z_{\Pi}$  – основна заробітна плата при використанні операцій по відповідних варіантах, грн.;

$z$  - цехові накладні витрати ( $z = 150\%$ );

$S_T$ ;  $S_{\Pi}$  - собівартість виготовлення пристроїв по відповідних варіантах, грн.;

$q_n$  - коефіцієнт проектування пристрою ( $q_n = 0,5$ );

$q_e$  - коефіцієнт експлуатації пристрою ( $q_e = 0,3$ );

$i$  - термін служби пристрою(приймаємо  $i=3$  роки);

$N$  - річна програма випуску, шт.

Величина основної заробітної плати визначається за формулою:

$$Z = t_{шт} \cdot b_z;$$

де  $t_{шт}$  – штучний час на оброблення деталі, год.;

$b_z$  - погодинна ставка робітника прийнятого розряду, грн./год (приймаємо рівною 163 грн/год для 4-го розряду(базовий варіант) і 146 грн/год для 3-го розряду (проектний варіант)).

$$Z_T = 42,1 \cdot \frac{1}{60} \cdot 163 = 114,7 \text{ грн}$$

$$Z_{\Pi} = 31,4 \cdot \frac{1}{60} \cdot 146 = 77 \text{ грн}$$

Собівартість виготовлення пристрою в залежності від його складності можна визначити за формулою:

$$S = n \cdot C_n$$

де  $n$  – кількість основних деталей у пристрої;

$C_n$  - питома собівартість пристроїв на одну деталь ( $C_n = 30$  грн).

$$S_T = 50 \cdot 20 = 1000 \text{ грн}$$

$$S_H = 76 \cdot 20 = 1520 \text{ грн}$$

$$C_c = 114,7 \left(1 + \frac{150}{100}\right) + \frac{1000}{1000} \left(\frac{1 + 0,5}{3} + 0,3\right) = 295 \text{ грн}$$

$$C_H = 77 \left(1 + \frac{150}{100}\right) + \frac{1520}{1000} \left(\frac{1 + 0,5}{3} + 0,3\right) = 205 \text{ грн}$$

Економічний ефект від використання нового пристрою в розрахунку на річну програму випуску:

$$E = (C_c - C_H)N;$$

$$E = (295 - 205) \cdot 1000 = 90000 \text{ грн}$$

Термін окупності (у роках):

$$T = \frac{(S_H - S_c) \left(\frac{1 + q_n}{i} + q_e\right)}{E}$$

$$T = \frac{(1520 - 1000) \left(\frac{1 + 0,5}{3} + 0,3\right)}{90000} = 0,01 \text{ року}$$

### 3.2 Проектування контрольного пристрою

#### 3.2.1. Розрахунок на точність

Сумарна похибка результату вимірювань складається з не виняткової систематичної похибки (НСП) і випадкової похибки [9].

Знаходимо кордон НВВ результату вимірювань, згідно РМГ 29 - 99:

$$\Theta(D) = \pm \sum_{i=1}^N |\Theta_i|,$$

де  $\Theta_i$  — межа  $i$ -й складової не виключеної систематичної похибки при  $N \leq 3$ ;

$N$  - число доданків, що складаються з меж допустимих основних і додаткових похибок СІ, робочих еталонів і т. д.

$$\Theta(P) = 1,3 \sqrt{(\Delta_{\bar{N}\bar{E}})^2 + (\Delta_{\bar{I}\bar{a}\bar{o}})^2 + (\Delta_{\bar{a}\bar{a},\bar{y}\bar{o}\bar{a}\bar{e}})^2},$$

для  $N \geq 4$  – складових НВВ.

Знаходимо середнє арифметичне від спостережень:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{n},$$

де  $x_i$  – середнє арифметичне значення вимірюваної величини;

$n$  – число спостережень.

Обчислюємо середньоквадратичне відхилення:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Якщо  $\frac{\Theta(P)}{S(P)} \leq 0,8$ , то одноразові вимірювання мають право на здійснення і

тоді сумарна похибка набагато менше ціни ділення СІ і поля допуску, нехтують випадковою похибкою СКО і приймають  $\Delta(P) = \Theta_i(P)$ . У цих випадках методика виконання вимірювань за ISO 5167-1:2003 може бути поєднана з інструкцією на експлуатацію СІ і норму, закладену в НТД - (КД, ТД і технологічну

інструкцію). Якщо  $\frac{\Theta(P)}{S(P)} < 8$ , то величиною  $\Theta_i(P)$  – НСП нехтують і остаточно

приймають за похибку результату вимірювання для довірчої ймовірності ( $P$ )

$$E(P) = Z_{(p/2)} \cdot S(x) = \varepsilon(P),$$

де  $Z_{(p/2)}$  – коефіцієнт Лапласа за спеціальними таблицями від імовірності ( $P$ ).

Якщо  $0,8 \leq \frac{\Theta(P)}{S(P)} \leq 8$  то кордон похибки результату вимірювань:

$$\Delta = K(P) \cdot [\Theta(P) + \varepsilon(P)],$$

$$\hat{E}(P) = K_{\Sigma(\gamma)} = \frac{\sqrt{1+\gamma^2}}{1+\gamma},$$

$$\gamma = \frac{\Theta(P)}{[\sqrt{3} \cdot K(P) \cdot S(x)]},$$

У квадратних дужках  $K(P)$  приймається за таблицею 3 [8] від формули

$$\Theta_i(P) = K(P) \sqrt{\sum_{j=1}^m \Theta_j^2},$$

де  $K(P)$  - коефіцієнт, що визначається прийнятої  $P$  і числом  $m$  складових НВВ;

$m$  – число складових НСП;

$\Theta_j$  – знайдені нестатистична методами кордону  $j$ -ої складової НВВ (межі інтервалу, всередині якого знаходиться ця складова, що визначаються внаслідок відсутності відомостей для ймовірності її знаходження в цьому інтервалі).

Результат вимірювання має вигляд

$$\hat{A} = \bar{x} \pm \Delta.$$

### 3.2.2 Опис конструкції пристрою

Контрольний пристрій призначений для контролю круглості поверхні отвору  $\varnothing 80_{js8}$ , що становить 0,03 мм. Деталь встановлюється на плиту 1 корпусу базовою поверхнею розміром 400 мм. В корпусі закріплено вісь 2 з штативом 3 для індикатора 4. Наконечник передавального пристрою 5 підводиться до поверхні отвору. Покази індикатора фіксуються для повного оберту передавального пристрою. Ціна поділки індикатора годинникового типу 0,01 мм. Загальний вигляд пристрою наведено на рис. Б..20.

### 3.3. Висновки до 3-го розділу

У даному розділі виконано відповідно до завдання проектування верстатного пристрою для обробки кронштейна на вертикально-фрезерному верстаті з ЧПК моделі ГФ2171М. Для цього: запропонована оптимальну схему базування заготовки; розроблена конструкція пристосування.

Проведені розрахунки:

- параметрів приводу (приводом для пристрою вибрано пневмоциліндр з робочим тиском 0,4 МПа, діаметром поршня 200мм, діаметром штока 40мм і силою затиску 12191Н);

- елементів пристроїв на спрацювання і міцність (напруження на зріз  $\sigma=60,7 \text{ МПа} \leq [\sigma]=100 \text{ МПа}$ ; допуск на зношення - 0,11 мм; зносостійкість опор - 1000 шт/мкм; допустима кількість встановлень на опори - 1100 деталей).

Розрахунок пристрою на точність вказує на забезпечення точності обробки. Економічний ефект від впровадження пристрою становить 90000 грн. Термін окуплення менше року. Також розроблено 3D модель пристрою.

Спроектовано пристрій для перевірки для контролю круглості отвору  $\varnothing 80\text{Js9}$  до нижньої площини кронштейна.

## РОЗДІЛ 4

### ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ У СЕРЕДОВИЩІ FEATURECAM

#### 4.1. Особливості програмного середовища FeatureCAM

На даний час актуальною є розв'язання задачі взаємообміну графічними даними між CAD/CAE/CAM системами, імпорту графічних об'єктів з однієї САПР програми в іншу. Це дозволить швидше та якісно, використовувати всі переваги кожного програмного середовища. Аналіз останніх досліджень показав, що питання транспортування даних між різними CAD/CAE/CAM середовищами розглядаються у різних спеціалізованих журналах, виданнях [10-12], зокрема описує світові стандарти, щодо передачі графічних даних між різними середовищами, подає специфікацію таких стандартів. В результаті розгляду взаємодії різних CAD/CAM – середовищ, щодо транспортування документів постає цікаве дослідження стосовно передачі даних між програми САПР.

Однією із систем для підготовки керуючих програм з високим ступенем автоматизації прийняття рішень, що дозволяє мінімізувати час розробки КП для верстатів з ЧПК є FeatureCAM. В основі САМ-системи лежить автоматичне розпізнавання типових елементів з твердотільної поверхневої моделі та їх автоматична обробка із застосуванням вбудованої технологічної бази знань. Завдяки утиліті Delcam Exchange, FeatureCAM здатний відкривати файли моделей КОМПАС-3D.

FeatureCAM містить мережеву і локальну базу інструментів і режимів різання, бібліотеку постпроцесорів, засоби оцінки трудомісткості робіт. У процесі роботи FeatureCAM автоматично вибирає ріжучий інструмент, призначає обробку, розбиває припуск на проходи і розраховує режими різання, готує керуючу програму. Технолог може внести зміни до рішення, прийняті FeatureCAM, і налаштувати її так, щоб надалі кориговані рішення приймалися в

автоматичному режимі. Система ідеально підходить для програмування виробів серійного виробництва.

Як і більшість систем, FeatureCAM має модульну структуру. Кожен модуль вирішує певне коло завдань. Якщо підприємству для покриття потреб у програмуванні не вимагаються всі сучасні стратегії і можливості програмного пакету, то можна скористатися окремими модулями, наприклад, тільки токарним, тільки фрезерним, тільки електроерозійним і т.д. Допускається різна їх комбінація. Все це скорочує початкові витрати підприємства на підготовку виробництва.

Основні модулі FeatureCAM:

FeatureCAM - система модульна, залежно від завдань можуть застосовуватися наступні модулі:

-FeatureMILL2.5D для 2-х і 2,5-координатної фрезерної обробки.

-FeatureMILL3D для 3-координатного і високошвидкісного фрезерування з контролем зарізань.

-FeatureTURN для 2-х координатної токарної обробки, включаючи підтримку протівощпінделей, перехоплення деталі, подачу прутка. Містить функції доробки матеріалу, підтримує фіксовані цикли точіння і свердління.

-FeatureTURN/MILL Для 2,5-координатного фрезерування і 2-х координатної токарної обробки. Підтримує верстати з можливістю фрезерної обробки по осях С і Y, а також верстати з полярної інтерполяцією.

-Multi-Turret Turning - додатковий модуль до FeatureTURN / MILL для програмування верстатів з кількома револьверними головками (до 4-х). Підтримує фрезерування по осі В.

-FeatureWIRE для 2-х координатної, 2-х осьовий конічної і 4-х координатної дротяної електроерозійної обробки на верстатах Charmilles, Agie, Sodick, Fanuc, Mitsubishi та ін

-FeatureRECOGNITION - додатковий модуль для автоматичного розпізнавання технологічних елементів у твердотільних моделях, включаючи складні складові елементи. Входить до складу FeatureMILL3D.

-5-Axis Positioning - додатковий модуль для 5-осьовий позиційної обробки. Дозволяє орієнтувати вісь інструменту в просторі.

-5-Axis Simultaneous - додатковий модуль для 5-осьовий безперервної обробки. Автоматичний контроль за віссю інструменту. Можливість завдання кута відхилення осі інструменту від нормалі до поверхні з нахилом і випередженням.

-Machine Simulation - додатковий модуль для візуалізації обробки на верстаті. Верифікація згенерованої траєкторії.

#### 4.2. Алгоритм проектування технологічного процесу для кронштейна двигуна вертикального супорта 4.01.96

Проектування технологічного процесу розпочинається із створення заготовки, із вказуванням матеріалу та основних механічних показників:

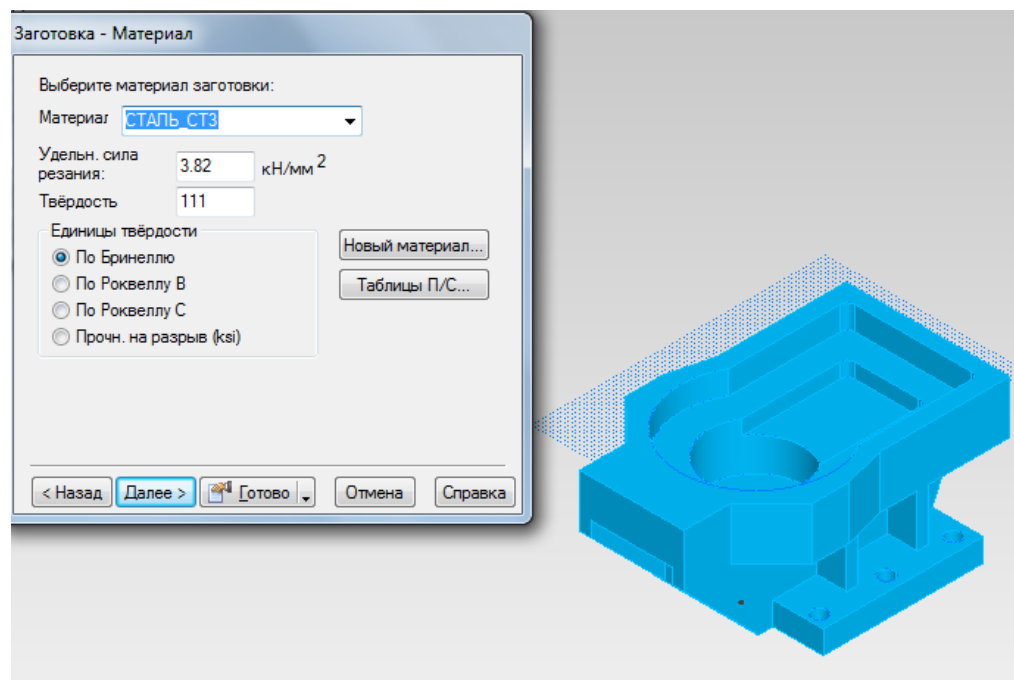


Рис. 4.1 - Генерування заготовки

Після генерування заготовки задаємося положенням установка та нульової точки, для можливості подальшого проектування траєкторій руху інструмента:

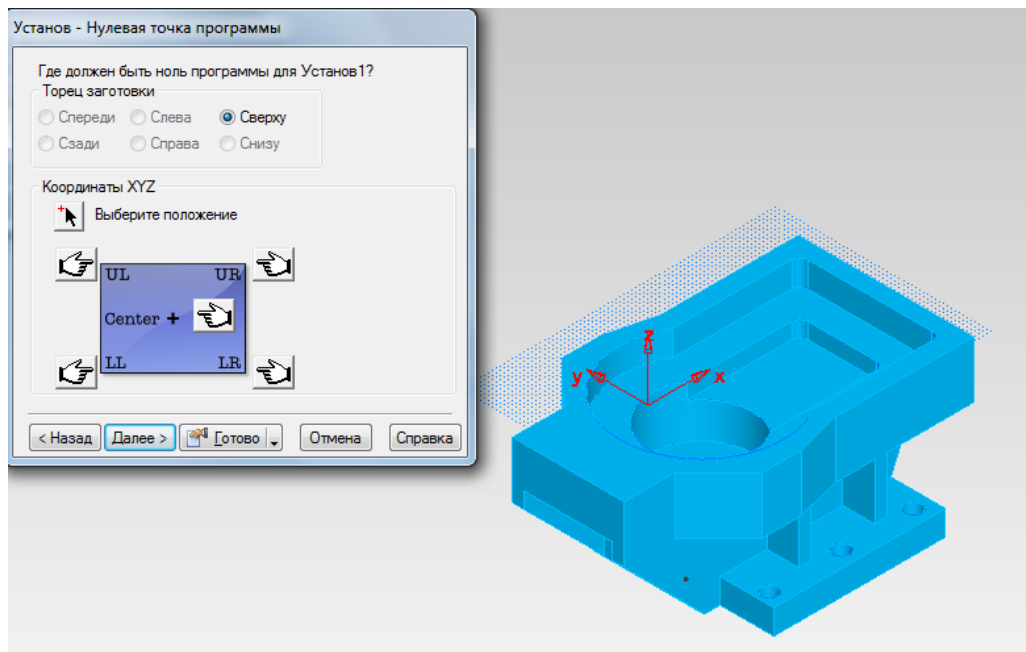


Рис. 4.3 – Задання нульової точки

Після задання всіх необхідних параметрів починаємо проектувати переходи фрезерної операції, для цього вибираємо піктограму «Елементи»:

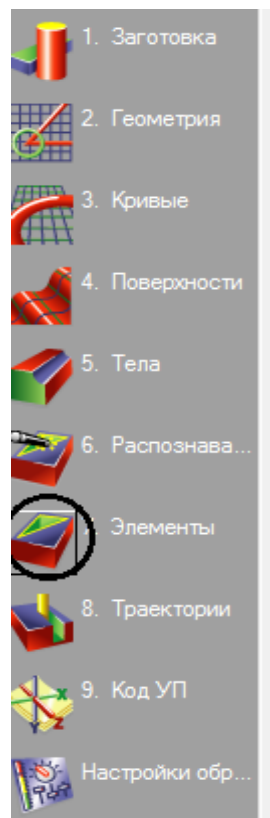


Рис. 4.4 – Розміщення піктограми «Елементи»

Після чого у вікні, що з'явилось вибираємо вид операції що буде виконуватись:

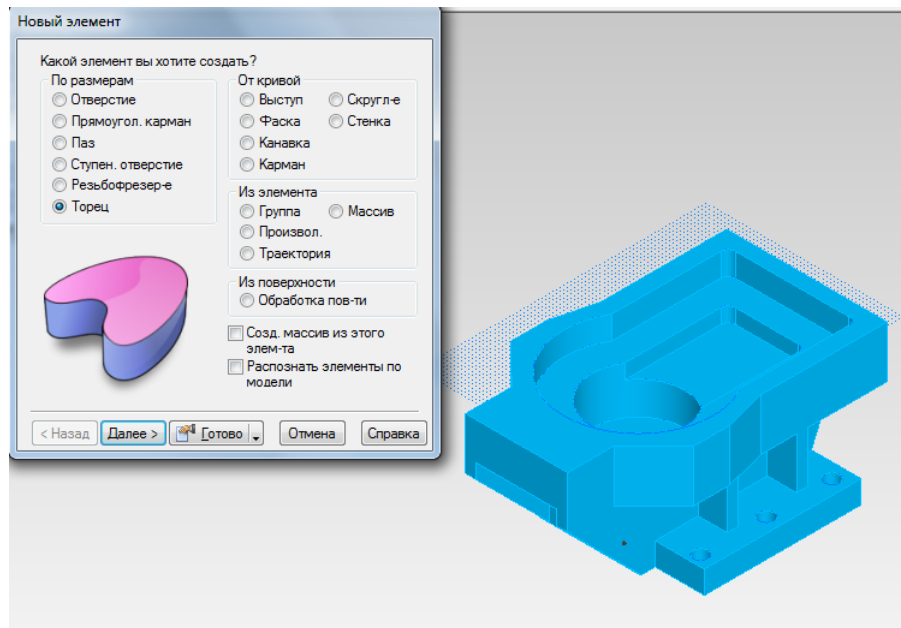


Рис. 4.5 – Створення нового переходу операції

В процесі проектування переходу програма буде просити задати поверхню, що буде оброблятися, тип обробки, особливості руху інструменту. Перевіряємо правильність задання всіх параметрів, для цього включаємо візуалізацію руху інструменту відносно деталі:

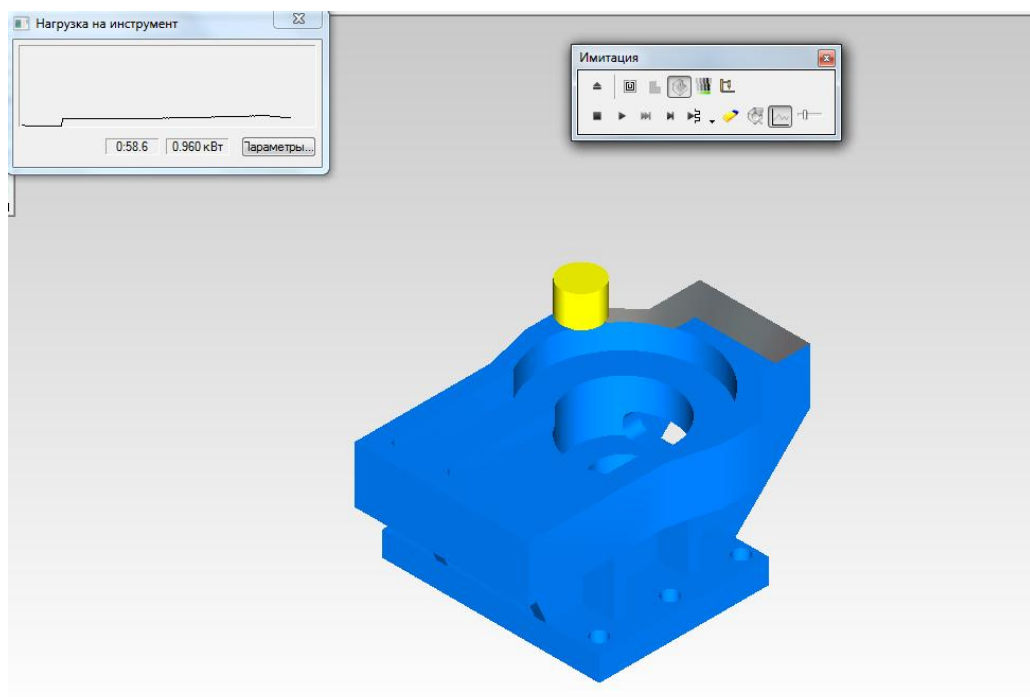
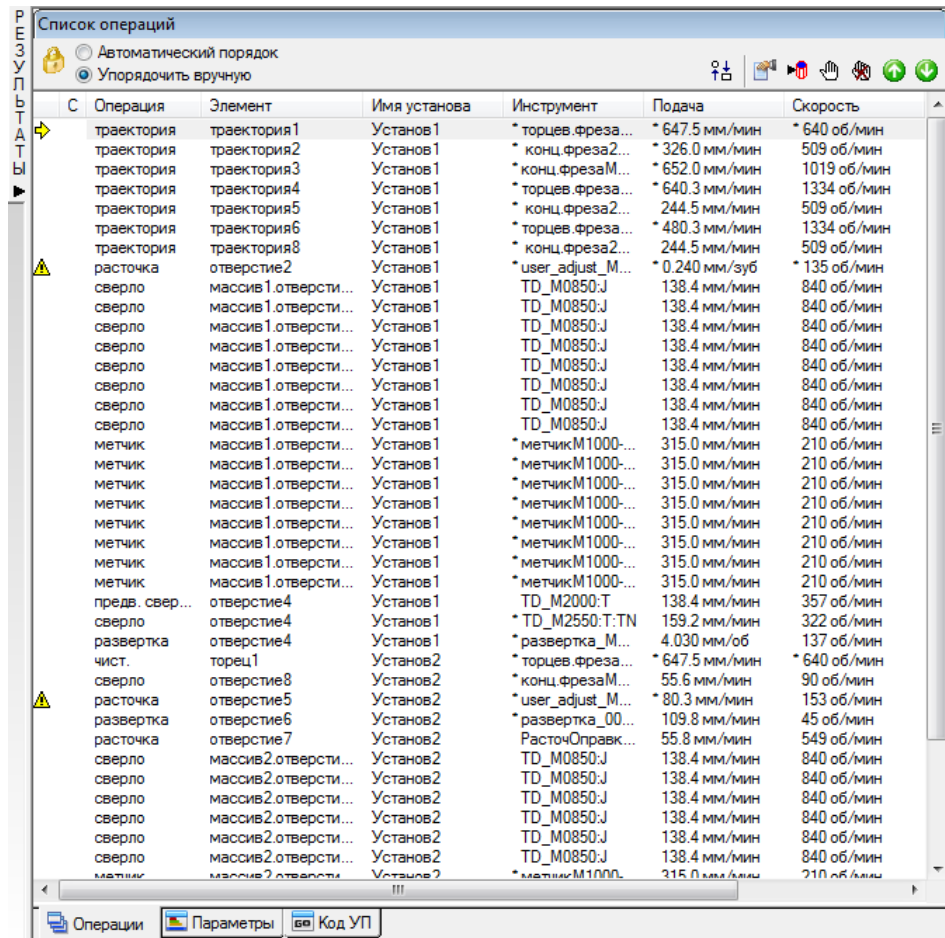


Рис. 4.6 – Імітація руху інструмента

Як видно з рис. 4.6, також можна перевірити навантаження на інструмент та час на виконання переходу.

Тими самими кроками проектуються інші переходи та установи майбутньої операції (рис. 4.7).



С	Операция	Элемент	Имя установка	Инструмент	Подача	Скорость
	траектория	траектория1	Установ1	* торцев.фреза...	* 647.5 мм/мин	* 640 об/мин
	траектория	траектория2	Установ1	* конц.фреза2...	* 326.0 мм/мин	509 об/мин
	траектория	траектория3	Установ1	* конц.фрезаM...	* 652.0 мм/мин	1019 об/мин
	траектория	траектория4	Установ1	* торцев.фреза...	* 640.3 мм/мин	1334 об/мин
	траектория	траектория5	Установ1	* конц.фреза2...	244.5 мм/мин	509 об/мин
	траектория	траектория6	Установ1	* торцев.фреза...	* 480.3 мм/мин	1334 об/мин
	траектория	траектория8	Установ1	* конц.фреза2...	244.5 мм/мин	509 об/мин
	расточка	отверстие2	Установ1	* user_adjust_M...	* 0.240 мм/зуб	* 135 об/мин
	сверло	массив1.отверсти...	Установ1	TD_M0850:J	138.4 мм/мин	840 об/мин
	сверло	массив1.отверсти...	Установ1	TD_M0850:J	138.4 мм/мин	840 об/мин
	сверло	массив1.отверсти...	Установ1	TD_M0850:J	138.4 мм/мин	840 об/мин
	сверло	массив1.отверсти...	Установ1	TD_M0850:J	138.4 мм/мин	840 об/мин
	сверло	массив1.отверсти...	Установ1	TD_M0850:J	138.4 мм/мин	840 об/мин
	сверло	массив1.отверсти...	Установ1	TD_M0850:J	138.4 мм/мин	840 об/мин
	сверло	массив1.отверсти...	Установ1	TD_M0850:J	138.4 мм/мин	840 об/мин
	метчик	массив1.отверсти...	Установ1	* метчикM1000-...	315.0 мм/мин	210 об/мин
	метчик	массив1.отверсти...	Установ1	* метчикM1000-...	315.0 мм/мин	210 об/мин
	метчик	массив1.отверсти...	Установ1	* метчикM1000-...	315.0 мм/мин	210 об/мин
	метчик	массив1.отверсти...	Установ1	* метчикM1000-...	315.0 мм/мин	210 об/мин
	метчик	массив1.отверсти...	Установ1	* метчикM1000-...	315.0 мм/мин	210 об/мин
	метчик	массив1.отверсти...	Установ1	* метчикM1000-...	315.0 мм/мин	210 об/мин
	метчик	массив1.отверсти...	Установ1	* метчикM1000-...	315.0 мм/мин	210 об/мин
	предв. свер...	отверстие4	Установ1	TD_M2000:T	138.4 мм/мин	357 об/мин
	сверло	отверстие4	Установ1	* TD_M2550:T:TN	159.2 мм/мин	322 об/мин
	развертка	отверстие4	Установ1	* развертка_M...	4.030 мм/об	137 об/мин
	чист.	торец1	Установ2	* торцев.фреза...	* 647.5 мм/мин	* 640 об/мин
	сверло	отверстие8	Установ2	* конц.фрезаM...	55.6 мм/мин	90 об/мин
	расточка	отверстие5	Установ2	* user_adjust_M...	* 80.3 мм/мин	153 об/мин
	развертка	отверстие6	Установ2	* развертка_00...	109.8 мм/мин	45 об/мин
	расточка	отверстие7	Установ2	РасточОправк...	55.8 мм/мин	549 об/мин
	сверло	массив2.отверсти...	Установ2	TD_M0850:J	138.4 мм/мин	840 об/мин
	сверло	массив2.отверсти...	Установ2	TD_M0850:J	138.4 мм/мин	840 об/мин
	сверло	массив2.отверсти...	Установ2	TD_M0850:J	138.4 мм/мин	840 об/мин
	сверло	массив2.отверсти...	Установ2	TD_M0850:J	138.4 мм/мин	840 об/мин
	сверло	массив2.отверсти...	Установ2	TD_M0850:J	138.4 мм/мин	840 об/мин
	сверло	массив2.отверсти...	Установ2	TD_M0850:J	138.4 мм/мин	840 об/мин
	метчик	массив2.отверсти...	Установ2	* метчикM1000-...	315.0 мм/мин	210 об/мин

Рис. 4.7 - Список спроектованих операцій

### 4.3. Проектування ріжучого інструменту для кронштейна двигуна вертикального супорта 4.01.96 на верстаті з ЧПК

Під час розробки управляючої програми для кронштейна двигуна вертикального супорта 4.01.96 було вибрано за основний ріжучий інструмент фрезу округлену. Фреза не стандартизована оскільки її параметри та розміри

підбиралися тільки для операцій, що використовуються для обробки кронштейну. Фреза створювалась програмою.

Проаналізувавши габарити деталі і обсяг припуску вибираємо твердосплавну фрезу діаметром 8 мм із округленим торцем.

Опишемо алгоритм підбору фрези округленої.

1. У гілці «Інструменти» провідника контекстного меню вибираємо пункт створення фрези потрібного типу і заповнюємо у вікні потрібні поля (рис. 4.8).

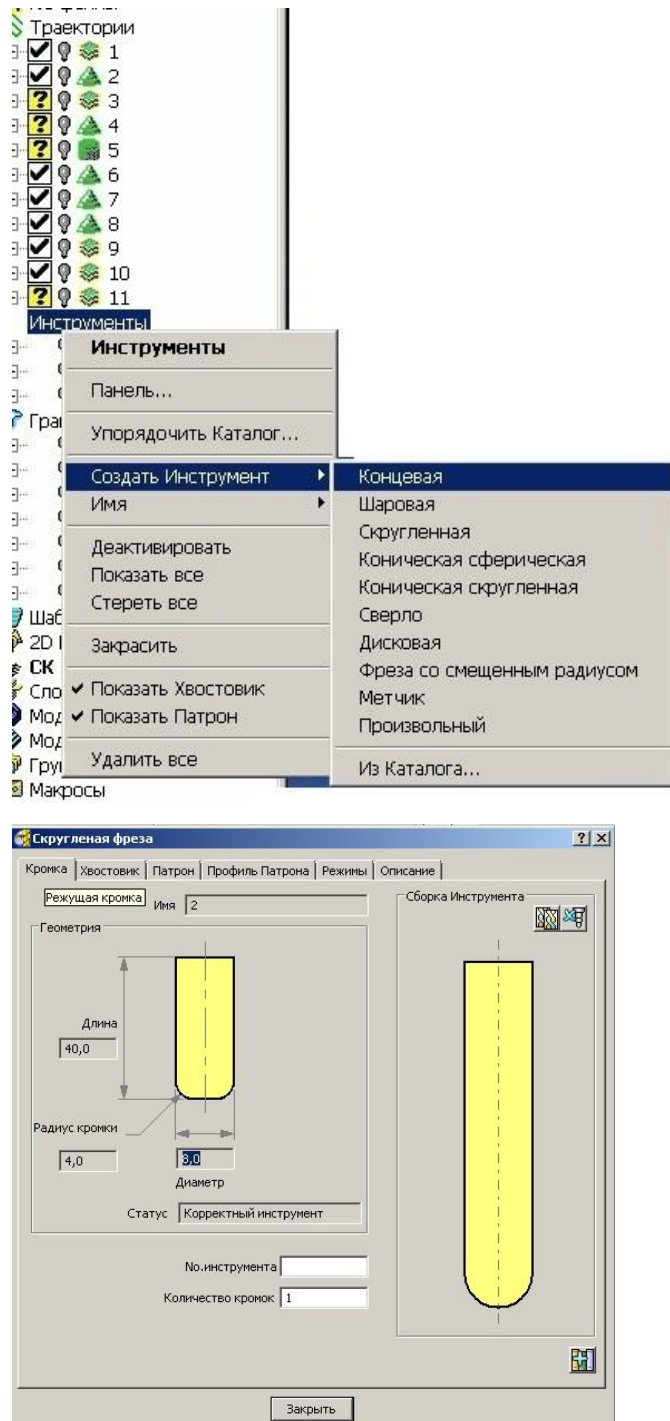


Рис 4.8

- У підпункт «кромка» вносимо дані: довжина кромки - 40 мм; радіус округлення - 4 мм та діаметр фрези - 8 мм.
- У підпункт «хвостовик» вносимо довжину заточки та довжину самого хвостовика (рис. 4.9).
- В підпункті «патрон» вказуємо назву патрону, призначаємо виліт та загальну довжину (рис. 4.10).
- В підпункті «профіль патрона» назначаємо запас та максимальний діаметр профілю (рис. 4.11).

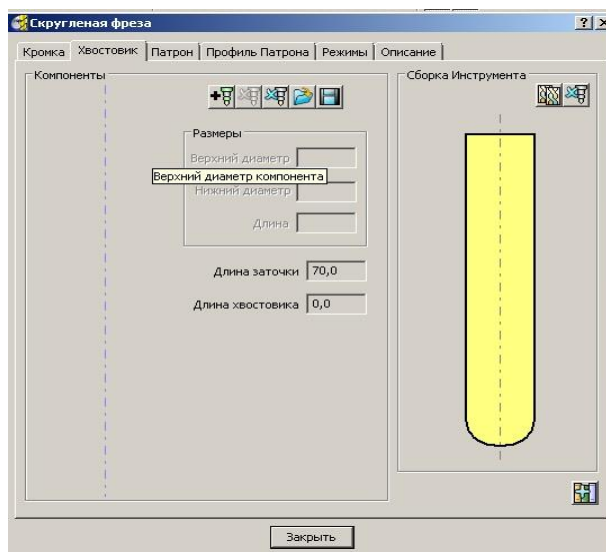


Рис. 4.9

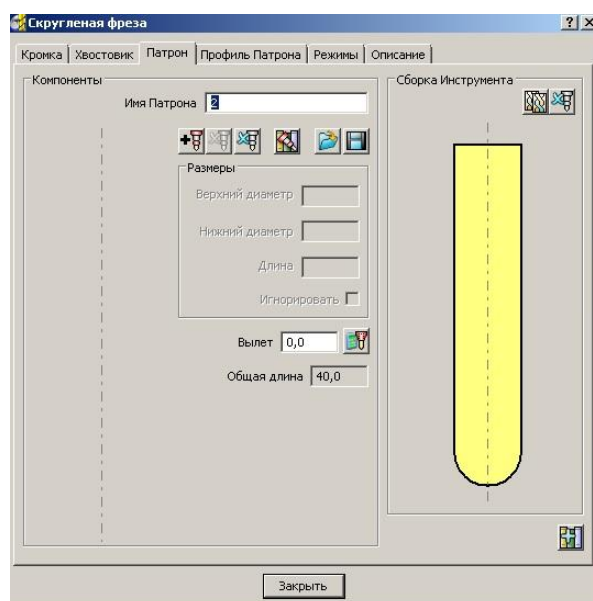


Рис. 4.10

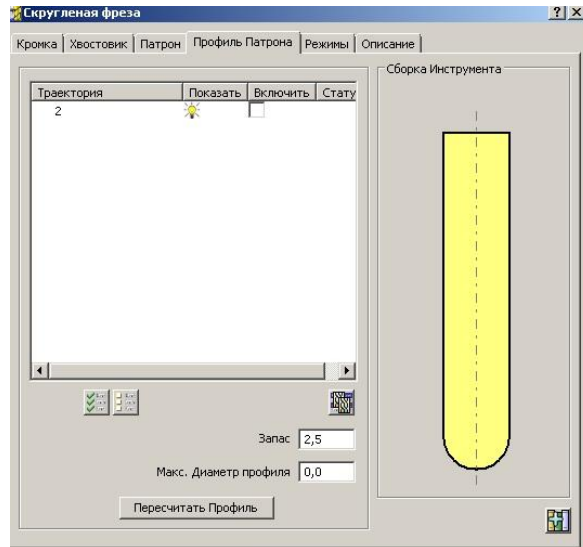


Рис. 4.11

6. В підпункті «режими» вибираємо групу інструменту, ID, та охолодження фрези. Ставимо відповідні відмітки біля пунктів «Показати подачу на зуб і Глибину резання в ДФ» та «Скрити пусті строки».

6. Після заповнення всіх пунктів затверджуємо обрані параметри та закриваємо діалогове вікно.

#### 4.4. Розробка управляючої програми технологічного процесу обробки кронштейна двигуна вертикального супорта 4.01.96

Розробка управляючої програми виконується під потреби конкретного виробництва, з урахуванням його обладнання, вимог та іншого [13]. Розрахунок КП проводиться за допомогою САМ систем, які за даними 3D моделей і введених оператором відомостей напівавтоматично розраховують КП. Процес виведення КП в кодах верстата називається постпроцесуванням. Постпроцесор – спеціальний модуль САМ системи, який у відповідність із закладеною в нього специфікацією створює файл із кодами, необхідними для конкретної моделі верстату [14].

Розроблена КП обробки деталі кронштейна двигуна вертикального супорта 4.01.96 виконана в програмі Power Mill.

Для створення NC файлу, в меню правою кнопкою миші на NC файли вибираємо «Параметри». Тут вказуємо файл постпроцесора, в даному випадку обробка буде проводитись за допомогою постпроцесора Siemens840D, систему координат, розширення виведення файлу і т.д. (рис. 4.12).

На вкладки траєкторія задаємо параметри зміни інструмента та його корекції. В меню правою кнопкою на NC файли вибираємо Створити NC файл. Задаємо ім'я, добавляємо траєкторії обробки для створення коду керуючої програми (рис. 4.13).

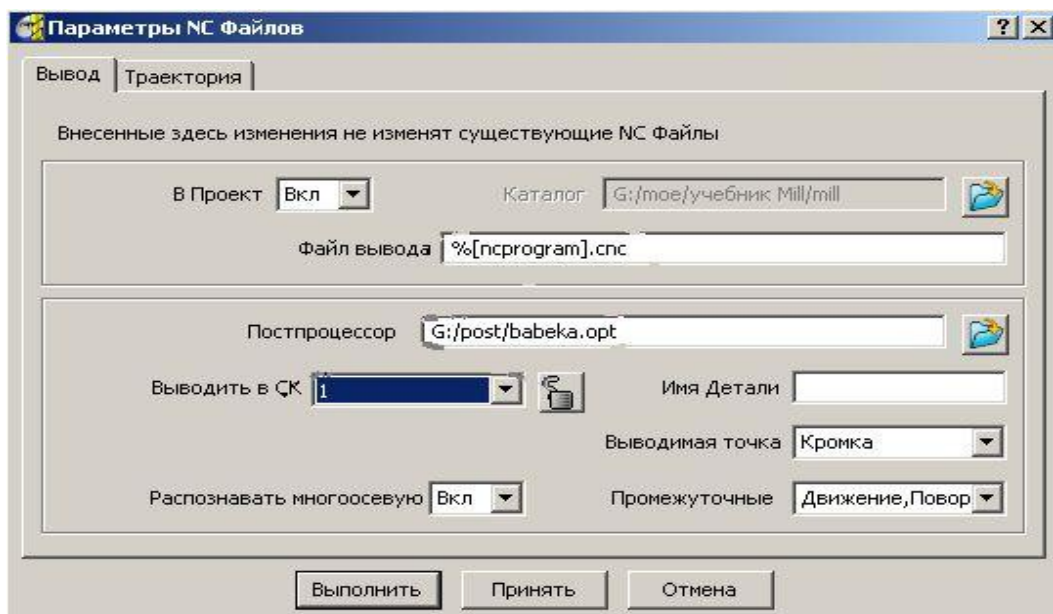


Рис. 4.12

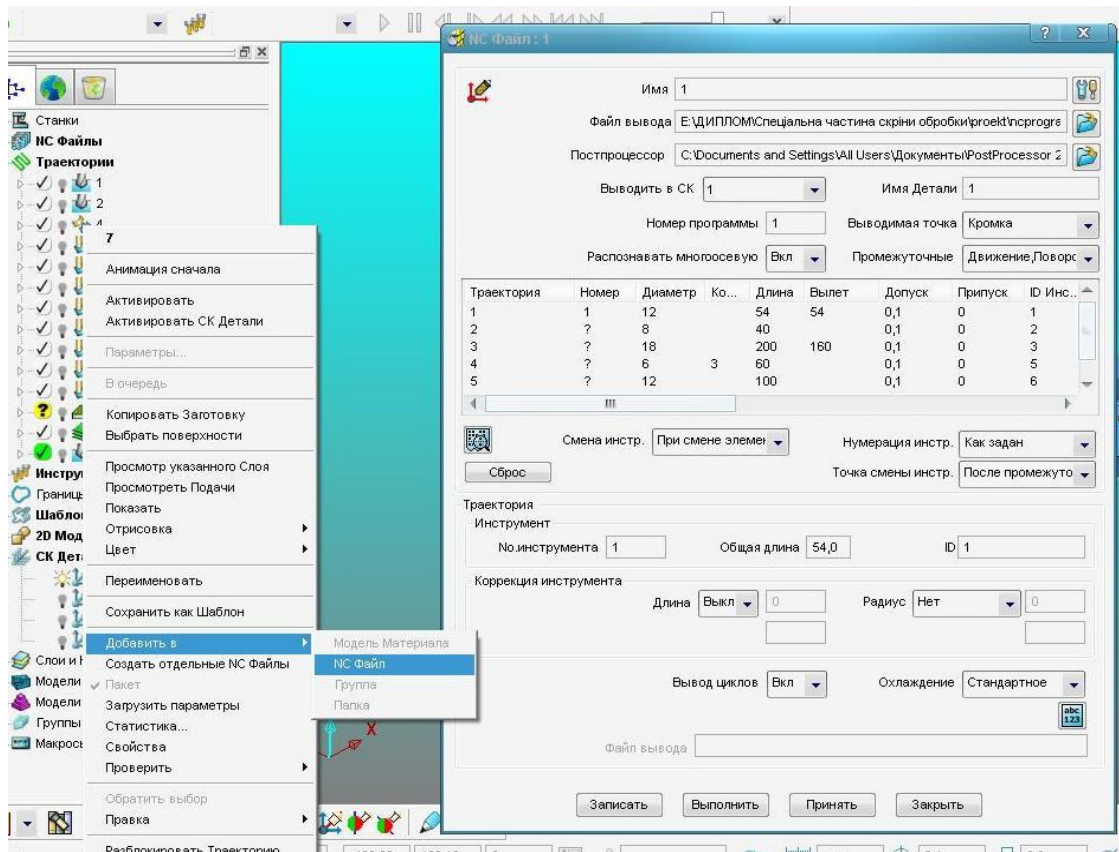


Рис. 4.13

Скріншоти обробки деталі на верстаті з ЧПК. Наведено у додатку В..

Код керуючої програми для верстата з ЧПК постпроцесуванням Siemens840D представлено в додатку В.

#### 4.5. Висновки до 4-го розділу

В розділі проведено проектування технологічного процесу обробки кронштейна двигуна вертикального супорта 4.01.96 із застосуванням програмного середовища FeatureCAM, що є найбільш поширеним в системах твердотільного моделювання для умов серійного випуску продукції. Створено 3D-моделі заготовки та деталі кронштейна. Автоматизовано, за даними 3D моделей і введених відомостей, створено керуючу програму для верстату з ЧПК.

Під час розробки керуючої програми деталі кронштейн двигуна вертикального супорта 4.01.96 було описано алгоритм для вибору та проектування ріжучого інструменту – фрези, а також проведено 3D імітацію руху ріжучого інструменту.

Застосування програмного пакету дозволяє використовувати окремі модулі (фрезерні або свердлильні). Це дає можливість скоротити витрати, що пов'язані із підготовкою виробництва.

РОЗДІЛ 5  
ПЛАНУВАННЯ ВИРОБНИЧОГО ПІДРОЗДІЛУ ДЛЯ  
ВИГОТОВЛЕННЯ  
КРОНШТЕЙНУ

5.1. Визначення кількості верстатів виробничого підрозділу

Знаходимо, наближено, кількість подібних виробів для виготовлення [15]:

$$B = \frac{C_n}{m_n} = \frac{100}{7} = 15 \text{ дет.}$$

де  $C_n$  - прийнята кількість верстатів у підрозділі,  $C_n = 100$ ;

$m_n$  - прийнята кількість верстатів на ділянці виготовлення деталі,  $m_n = 7$

Приймаємо  $B_n=15$  деталей.

Уточнюємо кількість верстатів за прийнятою кількістю виробів:

$$B_n \cdot m_n = C_n;$$

$$15 \cdot 7 = 105 \text{ верст.}$$

Ручні місця слюсарів у механічних ділянках [15]:

$$M_m = 2\%C_n = 0,02 \cdot 105 = 2.$$

Допоміжне металорізальне обладнання:

- для ремонту бази механіка:  $C_{\text{рем}} = 4\%C_n = 0,04 \cdot 105 = 4,2 \approx 3$ ;
- для групи ремонту пристроїв та інструменту:

$$C_{\text{р.п-і}} = (1,4 \dots 4)\%C_n = 0,02 \cdot 105 = 2;$$

- для ділянки заточування:

$$C_{\text{рем}} = (4 \dots 6)\%C_n = 0,04 \cdot 105 = 4,2 \approx 4;$$

5.2 Визначення працюючих у виробничому підрозділі

Визначаємо працеемність річного випуску виробів [15]:

$$T_{\text{шт.ц}} = \Phi_{\text{д.о}} \cdot C_n \cdot K_{\text{з.с}} = 4029 \cdot 105 \cdot 0,75 = 317283 \text{ год.}$$

де  $\Phi_{\text{д.о}}$  - 4029 год.– дійсний річний фонд часу роботи обладнання;

$C_n = 105$  – кількість верстатів в цеху;

$K_{з.с} = 0,75$  - середній коефіцієнт завантаження обладнання для 2-х змінного режиму роботи.

Кількість основних робітників визначаємо з врахуванням кількості прийнятих верстатів :

$$P_B = \frac{C_n \cdot \Phi_{д.о} \cdot K_{з} \cdot K_B}{\Phi_{д.р} \cdot K_M} = \frac{105 \cdot 3890 \cdot 0,8}{1820 \cdot 1,5} = 118 \text{ чол.}$$

де  $C_n$  – прийнята кількість верстатів у цеху;

$\Phi_{д.о}$  – дійсний річний фонд часу роботи обладнання;

$\Phi_{д.р}$  – дійсний річний фонд часу роботи робітника;

$K_M$  - коефіцієнт багатостанкового обслуговування;

$K_{з}, K_B$  - коефіцієнти завантаження та використання обладнання,  $K_{з} \cdot K_B = 0,8$ .

Визначаємо кількість наладчиків для кожної групи верстатів

[16]:

Фрезерні з ЧПУ – 12 наладчиків.

Кількість слюсарів для серійного виробництва:

$$(1 \dots 3)\% P_B = 0,02 \cdot 118 = 2,36 \approx 3 \text{ чол.}$$

Загальна кількість основних робітників цеху:

$$P_o = P_B + P_n + P_{сл} = 118 + 12 + 3 = 133 \text{ чол.}$$

Кількість основних робітників для виготовлення кронштейна:

$$P_B = M_{р.в} \cdot m \cdot K_n,$$

де  $M_{р.в}$  – кількість місць робітників-верстатників:

$$M_{р.в} = \frac{m_n}{K_M} = \frac{7}{1,3} = 5,4$$

де  $m_n$  - прийнята кількість верстатів на дільниці;

$K_M$  - коефіцієнт багатостанкового обслуговування – для середньо-серійного виробництва – 1,3...1,5;

$m$  – число змін роботи обладнання в добу;

$K_n$  - коефіцієнт, який враховує додаткову кількість робітників для зміни:

$$K_n = \frac{\Phi_{н.р}}{\Phi_{д.р}} = \frac{2070}{1820} = 1,14$$

де  $\Phi_{н.р}$  - номінальний річний фонд часу для робітника (2070 год.);

$\Phi_{д.р}$  - дійсний річний фонд часу для робітника (1820 год.).

Отже:

$$P_B = 5,4 \cdot 1 \cdot 1,14 = 6,2 \text{ чол.}$$

Приймаємо  $P_B = 7$  чол.

Кількість робітників не верстатників:  $0,03 \cdot 5,4 = 0,16$  – приймаємо 1.

Тоді кількість основних робітників для виготовлення кронштейна  $P_B = 8$  чол.

Допоміжні робітники складають –  $18...25\%P_o = 0,20 \cdot 133 \approx 24$  чол.

Керівники -  $2...3\%(P_o + P_d) = 0,02 \cdot (133 + 24) \approx 4$  чол.

Спеціалісти -  $11...13\%(P_o + P_d) = 0,11 \cdot (133 + 24) \approx 17$  чол.

Службовці -  $4...5\%(P_o + P_d) = 0,04 \cdot (133 + 24) \approx 6$  чол.

Всього працюючих на виробництві 184 чол.

$$P_{пр} = P_o + P_d + P_{кер} + P_{спец} + P_{служ} = 133 + 24 + 4 + 17 + 6 = 184 \text{ чол.}$$

### 5.3. Визначення виробничо-технологічних площ виробничого підрозділу

Виробнича площа механообробного підрозділу:

$$F_{вир} = C_{п} \cdot F_{вер} = 15 \cdot 9,7 + 30 \cdot 9,8 + 45 \cdot 7,3 + 15 \cdot 9,7 = 914 \text{ м}^2$$

де  $C_{п}$  – прийнята кількість основних верстатів цеху;

$F_{вер}$  - питома площа на 1 верстат,  $\text{м}^2$ .

Таблиця 5.1 – Питома площа верстатів

№п/п	Верстат	Габарити, м	Питома площа, $\text{м}^2$	Кількість верстатів
1	ГФ2717Р	3,1x3,135	9,7	15
2	FV-361-04 CNC	3,5x2,8	9,8	30
3	6ДМ13Ф3	2,62x2,8	7,3	45
4	ГФ2717Р	3,1x3,135	9,7	15

Площа для виготовлення кронштейну:

$$F_{\text{вир,д}} = m_{\text{п}} \cdot F_{\text{вер,д}} = 1 \cdot 9,7 + 2 \cdot 9,8 + 3 \cdot 7,3 + 1 \cdot 9,7 = 61 \text{ м}^2$$

Площа слюсарної дільниці:

$$F_{\text{сл,д}} = P_{\text{сл}} \cdot F_{\text{сл}} = 3 \cdot 6 = 18 \text{ м}^2$$

де  $P_{\text{сл}}$  - кількість слюсарів;

$F_{\text{сл}}$  - питома площа на 1 слюсаря, 4...6 м<sup>2</sup>.

- Площа контрольного відділення становить  $F_{\text{контр}}$ :

$$(3 \dots 5\%)F_{\text{вир}} = 0,03 \cdot 914 = 28 \text{ м}^2$$

- Площа ремонтної групи  $F_{\text{рем}}$  - 25...30 м<sup>2</sup> на 1 верстат ремонтної

бази:

$$F_{\text{рем}} = 30 \cdot 4 = 120 \text{ м}^2$$

- Площа ремонту пристроїв та інструменту  $F_{\text{р.п-і}}$  - 17...22 м<sup>2</sup> на 1

верстат відділення:

$$F_{\text{р.п-і}} = 2 \cdot 22 = 44 \text{ м}^2$$

- Площа дільниці заточування  $F_{\text{зат}}$  - 10...12 м<sup>2</sup> на 1 заточувальний

верстат:

$$F_{\text{зат}} = 4 \cdot 12 = 48 \text{ м}^2$$

- Площа складів:

$$F_{\text{ск}} = \frac{A \cdot Q}{q \cdot m \cdot k}$$

де  $A$  – час зберігання виробів на складі в днях;

$q$  – допустиме навантаження на 1 м<sup>2</sup> площі підлоги складу, 0,7...1,5 т/м<sup>2</sup>;

$m$  – кількість робочих днів у році, 254 днів;

$k$  – коефіцієнт використання площі складу;

$Q$  – маса вантажу що зберігається на складі протягом року:

$$Q = MN = (54,8 \cdot 1000) + (1,7 \cdot 2000) + (0,43 \cdot 4000) = 59920 \text{ кг} = 59,92 \text{ т}$$

де  $M$  – маса деталі

- площа складу для металу:

$$F_{\text{ск}} = \frac{5 \cdot 59,92}{1 \cdot 254 \cdot 0,25} = 5 \text{ м}^2$$

- площа складу для заготовок:

$$F_{\text{ск}} = \frac{12 \cdot 59,92}{1 \cdot 254 \cdot 0,25} = 11,3 \text{ м}^2 \approx 12 \text{ м}^2$$

- площа проміжного складу:

$$F_{\text{ск}} = \frac{12 \cdot 59,92}{1 \cdot 254 \cdot 0,35} = 9 \text{ м}^2$$

Знаходимо загальну площу складських приміщень  $F_{\text{скл}}$ :

- Площа відділення ЗОР і переробки стружки:

$$F_{\text{сл.д}} = F_{\text{зор}} \cdot F_{\text{стр}} = 55 + 105 = 160 \text{ м}^2;$$

де  $F_{\text{зор}}$  визначають наближено від кількості основних верстатів, для 101...120 верстатів  $F_{\text{зор}} = 50 - 70 \text{ м}^2$ ;

$F_{\text{стр}}$  встановлюється для переробки стружки встановлюється із умови  $1 \text{ м}^2$  на 1 верстат основного виробництва.

Площі цехових комор:

$$F_{\text{кл}} = C_{\text{ц}} \cdot f_{\text{кл}} = 105 \cdot 0,6 + 105 \cdot 0,5 + 105 \cdot 0,6 + 105 \cdot 0,1 = 189 \text{ м}^2$$

де  $C_{\text{ц}}$  - число верстатів цеху;

$f_{\text{кл}}$  - норми площ комор на 1 верстат при роботі у 2-ї зміни,  $\text{м}^2$ :

- комора ІРК –  $0,4 \dots 0,8 \text{ м}^2$ ;
- комора пристроїв –  $0,35 \dots 0,9 \text{ м}^2$ ;
- комора абразивів –  $0,45 \dots 0,7 \text{ м}^2$ ;
- комора допоміжних матеріалів –  $0,1 \text{ м}^2$ ;

Площа майстерні енергетика  $F_{\text{ен}}$  складає  $0,3 \text{ м}^2$  на одиницю енергетичного обладнання:  $F_{\text{ен}} = 0,3 \cdot 115 = 35 \text{ м}^2$ .

Загальна площа допоміжних відділень:

$$F_{\text{заг.доп}} = F_{\text{контр}} + F_{\text{рем}} + F_{\text{р.п-і}} + F_{\text{зат}} + F_{\text{скл}} + F_{\text{зор.стр}} + F_{\text{кл}} + F_{\text{ен}} = \\ = 28 + 120 + 44 + 48 + 26 + 160 + 189 + 35 = 650 \text{ м}^2$$

Площа службово-побутових та адміністративних приміщень  $F_{\text{с-п}}$ :  
(10 ... 12%) $F_{\text{вир}} = 0,1 \cdot 914 = 92 \text{ м}^2$ .

Площа магістральних проїздів  $F_{\text{проїзд}}$ :

$$(10 \dots 14\%)(F_{\text{вир}} + F_{\text{заг доп}}) = 0,1 \cdot (914 + 650) = 157 \text{ м}^2.$$

Загальна площа механоскладального цеху:

$$F_{\text{заг.ц}} = F_{\text{вир}} + F_{\text{сл.д}} + F_{\text{заг.доп}} + F_{\text{с-п}} + F_{\text{проїзд}} = \\ = 914 + 18 + 650 + 92 + 157 = 1831 \text{ м}^2$$

#### 5.4. Транспортна система виробничого підрозділу

Необхідна кількість засобів для транспортування вантажів:

$$\Gamma_{\text{в}} = \frac{Q \cdot i \cdot T_{\text{Т}} \cdot K_{\text{Н}}}{q \cdot K_{\text{д}} \cdot \Phi_{\text{Г}} \cdot 60} = \frac{59,92 \cdot 3 \cdot 15 \cdot 0,9}{25 \cdot 0,4 \cdot 4015 \cdot 60} \approx 1$$

де  $Q$  - річна вага вантажу, що перевозиться, т;

$i$  - середня кількість транспортних операцій,  $i = 2 \dots 3$ ;

$T_{\text{Т}}$  - час одного рейсу,  $T_{\text{Т}} = 10 \dots 15$  хв;

$K_{\text{Н}}$  - коефіцієнт нерівномірності подачі вантажу,  $K_{\text{Н}} = 0,9$ ;

$q$  - вантажопідйомність транспортного засобу, т;

$K_{\text{д}}$  - коефіцієнт використання палива,  $K_{\text{д}} = 0,4 \dots 0,5$ ;

$\Phi_{\text{Г}}$  - річний фонд часу при двозмінній роботі,  $\Phi_{\text{Г}} = 4015$  год.

Кількість засобів, які транспортують вантаж поштучно:

$$\Gamma_{\text{в}} = \frac{N \cdot i \cdot T_{\text{Т}} \cdot K_{\text{Н}}}{\Phi_{\text{Г}} \cdot 60} = \frac{59,92 \cdot 10 \cdot 5 \cdot 0,9}{4015 \cdot 60} \approx 1$$

де  $i$  - кількість транспортних операцій на заготовку,  $i = 5 \dots 10$ ;

$N$  - річна програма випуску деталей, т;

$K_{\text{Н}}$  - коефіцієнт нерівномірності роботи,  $K_{\text{Н}} = 1,15 \dots 1,2$ ;

$T_{\text{Т}}$  - час одного рейсу,  $T_{\text{Т}} = 2,5 \dots 5$  хв;

$\Phi_{\text{Г}}$  - річний фонд часу для двозмінної роботи,  $\Phi_{\text{Г}} = 4015$  год.

Розроблені планування відповідно до рекомендацій джерела [17] наведено у додатку Г (рис Г.1-Г.2).

## 5.5. Економічна доцільність модернізації технологічного процесу виготовлення виробу

Зменшення собівартості одиниці продукції  $\Delta S$  під час модернізації технологічного процесу можна спрогнозувати методом питомої ваги [18]. Зменшення собівартості одиниці продукції визначаємо за формулою, грн:

$$\Delta S = \frac{B_{iA} - B_{iH}}{K_{iA}},$$

де  $B_{iA}$  – витрати на матеріал на одиницю продукції за базовим технологічним процесом,  $B_{iA} = 375$  грн.;

$B_{iH}$  – витрати на матеріал на одиницю продукції за новим технологічним процесом,  $B_{iH} = 353$  грн.;

$K_{iA}$  – частка  $i$ -ї статті витрат у собівартості продукції-аналога,  $K_{iA} = 0,55 \dots 0,7$ .

$$\Delta S = \frac{368,8 - 250}{0,6} = 197 \text{ (грн)}$$

Величину додаткових капітальних вкладень  $\Delta K$ , грн.:

$$\Delta K = (2 \dots 4) \cdot V_{\text{обл.}}, \quad (5.9)$$

де  $2 \dots 4$  – коефіцієнт, який враховує витрати на проектування, оренду приміщень, тощо;

$V_{\text{обл.}}$  – вартість обладнання, яке необхідно придбати для впровадження технологічного процесу (вартість верстатів, що були у використанні).

Для модернізації технологічного процесу необхідно придбати верстати 7 верстатів.

Таблиця 5.2 – Вартість необхідного обладнання

Обладнання	Кількість обладнання на дільниці	Ціна, грн.	Вартість, грн.
ГФ2171М	1	500000	500000
ГФ2171Р	1	180000	180000
FV-361-04 CNC	2	82000	164000
6ДМ13Ф3	3	10400	312000
	7	866000	1156000

$$\Delta K = 2 \cdot 1156000 = 2312000 \text{ (грн)}$$

Розрахуємо термін окупності технологічного процесу та порівняємо його з нормативними, років:

$$T_{ок} = \frac{\Delta K}{\Delta S \cdot N}$$

де  $N$  – обсяг виробництва нової продукції за рік при застосуванні технологічного процесу для виготовлення усіх деталей,  $N = 7 \cdot 1000 = 7000$  шт.

$$T_{ок} = \frac{2312000}{197 \cdot 7000} = 1,7 \text{ (роки)}$$

#### 5.6. Висновки до 5-го розділу

Проведено розрахунок кількості обладнання та працівників для виробничого підрозділу з виготовлення кронштейна двигуна вертикального супорта 4.01.96 за вдосконаленим технологічним процесом механічної обробки усіх деталей, що входять до його складу.

Спроековано за допомогою графічного пакету AutoCAD план виробничого підрозділу та розміщення верстатів на ділянці з обробки кронштейна двигуна вертикального супорта 4.01.96 для умов серійного виробництва за модернізованим техпроцесом.

В результаті проведених розрахунків було здійснено економічне обґрунтування доцільності модернізації технологічного процесу. Використання модернізованого технологічного процесу на підприємстві дозволить отримати позитивний економічний ефект завдяки зменшенню трудомісткості обробки, скороченню кількості працюючих та обладнання, зменшенню енерговитрат, зменшенню виробничих площ, підвищенню продуктивності, зменшенню вартості виробу. Впровадження модернізованого технологічного процесу потребує від інвестора прогнозовано 2312000 грн. капітальних вкладень та термін їх окупності 1,7 року. Отримані показники свідчать про високий рівень дохідності для інвестора і підтверджують доцільність впровадження технологічного процесу виготовлення деталі типу кронштейна двигуна вертикального супорта 4.01.96.

## ВИСНОВКИ

У магістерській кваліфікаційній роботі використані сучасні тенденції машинобудування та комп'ютерних технологій. Запропоновано перспективний технологічний процес орієнтований на використання верстатів з ЧПК для обробки.

Отже, в результаті виконання магістерської кваліфікаційної роботи розроблено модернізований технологічний процес механічної обробки деталі «кронштейн двигуна вертикального супорта 4.01.96», який дозволяє знизити собівартість та трудомісткість механічної обробки, а також підвищити продуктивність праці. Визначено технологічні параметри необхідні для виготовлення даної деталі. Поставлені та послідовно розв'язані такі задачі: визначено тип виробництва - серійний; обґрунтовано способи виготовлення заготовок деталей для кронштейна двигуна вертикального супорта 4.01.96 з точки зору економічної доцільності; на основі аналізу базового процесу механічної обробки та програми випуску 1000 штук розроблено перспективний технологічний процес, який виконуються на верстатах ЧПК з отриманням технологічних карт.

Спроектовано спеціальний пристрій: для фрезерування площини основи кронштейна, що дає економічний ефект від його застосування 90000 грн. з терміном окупності менше місяця; для контролю круглості отвору  $\varnothing 80\text{Js}8$ .

В роботі використано найбільш поширену CAD-систему на основі програмного забезпечення SolidWorks для безпосереднього створення моделі деталі та заготовки кронштейна. Автоматизовано, за даними 3D моделей і введених відомостей, створено керуючу програму для верстату з ЧПК у FeatureCAM. Описано алгоритм для вибору та проектування ріжучого інструменту – фрези, а також проведено 3D імітацію руху ріжучого інструменту.

Використання під час проектування виготовлення кронштейна запропонованих засобів САПР дозволяє мінімізувати час розробки та скоротити початкові витрати на підготовку виробництва.

Спроектовано за допомогою графічного пакету AutoCad 15 планування виробничого підрозділу обробки деталі «кронштейн двигуна вертикального супорта 4.01.96» для умов серійного виробництва за модернізованим техпроцесом.

Під час оцінки ефективності інноваційного проекту визначено термін окупності 1,7 роки для капітальних вкладень інвестора на впровадження технологічного процесу, що прогнозовано становлять 2312000 грн.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Сталь 3: характеристики, властивості, продукція. URL: <https://steelgroup.com.ua/chornyj-metal> (дата звернення: 10.09.2024).
2. Національний стандарт України: URL: [https://ksv.do.am/GOST/DSTY\\_ALL/DSYU1/dstu\\_b\\_v.2.6-169\\_2011.pdf](https://ksv.do.am/GOST/DSTY_ALL/DSYU1/dstu_b_v.2.6-169_2011.pdf) (дата звернення: 12.09.2024).
3. Рудь В.Д., Божко Т.Є., Гальчук Т.Н. Методологія підготовки випускної роботи за спеціальністю 131- Прикладна механіка: навчальний посібник. Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2017. 487с.
4. Налобіна О. О., Бундза О. З., Серілко Д. Л., Голотюк М.В. Конструювання вузлів та агрегатів : навч. посібник. Рівне : НУВГП, 2020. 331 с.
5. Ревнівцев М. П., Паршина Н. П. Режими різання на металообробних верстатах у машинобудуванні: навч. посіб. К. : А.С.К., 2006. 416 с.
6. Вертикально-фрезерні верстати. URL: <https://kievstanko.com.ua/ua/p898038835-vertikalno-frezernyj-stanok.html> (дата звернення: 30.09.2024).
7. Боровик А.І. Технологічна оснастка механоскладального виробництва: підручник. К.: Кондор, 2008. 726 с.
8. Кузнецов Ю.І. Оснащення для верстатів з ЧПУ: Довідник. К.: Машинобудування, 2003. 359 с.
9. Гевко Б.М., Дичковський М.Г., Матвійчук А.В. Технологічна оснастка. Контрольні пристрої: навч. посіб. К.: Кондор, 2009. 220 с.
10. Initial Graphics Exchange specification (IGES). Computer Systems Laboratory National Institute of Standards and Technology - Gaithersburg, MD 20899. URL:

<https://www.govinfo.gov> (дата звернення: 22.10.2024).

11. Гумен О. М. Візуальне програмування задач механіки із залученням геометричних засобів CAD – систем. Прикладна геометрія та інженерна графіка. М.: ТДАТУ, 2013. – Вип. 4. Т.55. С.18 – 23.
12. Кветний Р.Н. Комп'ютерне проектування систем і процесів: посібник. URL: [posibnyky.vntu.edu.ua/k\\_m/t1/173.htm](http://posibnyky.vntu.edu.ua/k_m/t1/173.htm). (дата звернення: 16.10.2024)
13. Деркач П.Я. Автоматизація проектування виробів у машинобудуванні. Студентський науковий вісник. Серія «Технічні науки». 2022, №47. С. 66-70.
14. Гальчук Т.Н., Міскевич М.В. Автоматизація виготовлення виробів в машинобудуванні: матеріали VII Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції молодих учених та студентів «Актуальні проблеми автоматизації та управління». 2019, №7. С. 7-10. Режим доступу: <http://www.av.lntu.edu.ua>(дата звернення: 23.10.2024)
15. Гальчук Т.Н. Проектування та організація підрозділів сучасного машинобудівного виробництва: елект. навч. посіб. для студентів спеціальності 131 – „Прикладна механіка” денної та заочної форм навчання. Луцьк: ЛНТУ, 2022. URL: <https://elib.lntu.edu.ua> (дата звернення: 10.10.2024).
16. Джур Є.О., Бондаренко О.В. Проектування машинобудівних заводів та цехів. Загальна частина: навч. посіб. Д.: “Інновація”, 2011. 109с.
17. Вимоги до розміщення виробничого обладнання і організація робочих місць. URL: <http://do.gendocs.ru/docs/index-24983> (дата звернення: 15.10.2024).
18. Кавецький В.В., Козловський В.О. Економічне обґрунтування інноваційних рішень в машинобудуванні: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2013. 100 с.

# ДОДАТКИ