

Міністерство освіти і науки України

Луцький національний технічний університет

Факультет робототехніки та штучного інтелекту

Кафедра прикладної механіки та мехатроніки

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ
ОСВІТИ «БАКАЛАВР»**

**ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ
ВАЖЕЛЯ К6-03.605 ДЛЯ УМОВ СЕРІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА**

спеціальність 131 Прикладна механіка
освітня програма Прикладна механіка

Виконав: здобувач вищої освіти
Групи ІМ-41
Лазарук Владислав Вікторович

(підпис)

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

(підпис)

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
«__» _____ 2026 р.
К.т.н., доцент
Гарант освітньої програми:
Божко Тетяна Євгенівна

(підпис)

Луцьк – 2026 року

Луцький національний технічний університет

Факультет: транспорту та механічної інженерії

Кафедра: прикладної механіки та мехатроніки

Ступінь вищої освіти: бакалавр

Галузь знань: 13 Механічна інженерія

Спеціальність: 131 Прикладна механіка

Освітня програма: Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

(Редько Р.Г.)
“ ____ ” _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Лазаруку Владиславу Вікторовичу

1. Тема кваліфікаційної роботи Підвищення продуктивності механічної обробки важеля К6-03.605 для умов серійного виробництва.

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “ 31 ” грудня 2025 р. № 962/01-07

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 02.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи: Креслення деталі важель К6-03.605, річна програма випуску 30000 шт/рік, нормативні дані.

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

Анотація. Вступ. Розділ 1. Аналіз об'єкту виробництва важеля К6-03.605. Розділ 2. Технологічні розрахунки. Розділ 3. Конструювання пристроїв. Розділ 4. Проектування механічної дільниці. Розділ 5. Охорона праці. Висновки та пропозиції. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Презентація 14 слайд, 14 лист (ф. А4).

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання

03.02.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Вступ. Аналіз об'єкту виробництва – важеля К6-03.605</i>	<i>14.02.2026р.</i>	
2.	<i>Технологічні розрахунки</i>	<i>14.03.2026р.</i>	
3.	<i>Конструювання пристроїв</i>	<i>18.04.2026р.</i>	
4.	<i>Проектування механічної дільниці</i>	<i>08.05.2026р.</i>	
5.	<i>Охорона праці</i>	<i>16.05.2026р.</i>	
6.	<i>Висновки та пропозиції</i>	<i>23.05.2026р.</i>	
7.	<i>Формування списку використаних джерел</i>	<i>23.05.2026р.</i>	
8.	<i>Формування додатків</i>	<i>30.05.2020р.</i>	
9.	<i>Оформлення ілюстративного матеріалу</i>	<i>30.05.2020р.</i>	
10.	<i>Інструментальна перевірка на академічний плагіат</i>	<i>02.06.2026р.</i>	
12.	<i>Представлення кваліфікаційної роботи бакалавра до захисту</i>	<i>04.06.2026р.</i>	

Здобувач вищої освіти

Лазарук В.В.

Керівник кваліфікаційної роботи

Гальчук Т.Н.

АНОТАЦІЯ

Лазарук В.В. Підвищення продуктивності механічної обробки важеля К6-03.605 для умов серійного виробництва. Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра ОП «Прикладна механіка» спеціальності 131 Прикладна механіка. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2026.

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків (згідно структури кваліфікаційної роботи затвердженої кафедрою).

У роботі розроблено технологічний процес, що забезпечує підвищення продуктивності механічної обробки важеля К6-03.605 для умов серійного виробництва. Проведено: вибір та обґрунтування технологічних баз обробки; технологічні розрахунки припусків, вибір режими різання, технічної норми часу на обробку. Розроблено: конструкції спеціального пристрою для механічної обробки та контролю; планування ділянки для механічної обробки важеля КС6-03.605. Розглянуті питання охорони праці та навколишнього середовища.

Об'єкт дослідження – деталь важель КС6-03.605.

Предмет дослідження – технологічний процес механічної обробки деталі важель КС6-03.605.

Ключові слова: важель, технологічний процес, пристрій, режими різання, заготовка.

ABSTRACTS

Lazaruk V.V. Increasing the productivity of machining the K6-03.605 lever for serial production conditions. Manuscript.

Bachelor's qualification work of OP "Applied Mechanics" specialty 131 Applied Mechanics. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2026.

The bachelor's qualification work consists of an introduction, 5 chapters, conclusions, a list of references, and appendices (according to the structure of the qualification work approved by the department).

The work developed a technological process that ensures increased productivity of mechanical processing of the K6-03.605 lever for serial production conditions. The following were carried out: selection and justification of technological bases of processing; technological calculations of allowances, selection of cutting modes, technical norms of time for processing. The following were developed: designs of a special device for mechanical processing and control; planning of the area for mechanical processing of the K6-03.605 lever. Issues of labor protection and the environment were considered.

The object of the study is the lever part KC6-03.605.

The subject of the study is the technological process of mechanical processing of the lever part KC6-03.605.

Keywords: lever, technological process, device, cutting modes, workpiece.

ЗМІСТ

	ст
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ ВИРОБНИЦТВА ВАЖЕЛЯ К6-03.605.....	10
1.1. Службове призначення та технічні умови.....	10
1.2. Порівняння методів отримання заготовки.....	11
1.3. Вибір методу обробки поверхонь.....	12
1.4. Встановлення типу та форми виробництва.....	14
РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ.....	17
2.1. Визначення показників технологічності конструкції деталі	17
2.2. Обґрунтування вибору баз.....	18
2.3. Розрахунок припусків і технологічних розмірів.....	22
2.4. Розрахунок режимів різання.....	25
2.5. Нормування технологічного процесу.....	28
РОЗДІЛ 3. КОНСТРУЮВАННЯ ПРИСТРОЇВ.....	31
3.1. Проектування пристрою для фрезерування торців.....	31
3.1.1. Вибір пристрою, структурної схеми.....	31
3.1.2. Розрахунок параметрів приводу.....	31
3.1.3. Розрахунки пристрою на точність.....	32
3.1.4. Загальний опис та принцип дії.....	33
3.2. Проектування контрольного пристрою.....	34
РОЗДІЛ 4. ПРОЕКТУВАННЯ МЕХАНІЧНОЇ ДІЛЬНИЦІ.....	35
4.1. Розрахунок уточненого типу виробництва.....	35
4.2. Встановлення кількості працівників на ділянці.....	35
4.3. Розрахунок виробничої площі ділянки.....	36
4.4. Технологічне планування ділянки.....	38

4.5. Вантажопід'ємні і транспортні засоби на ділянці.....	39
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	40
5.1. Охорона праці на ділянці виготовлення важеля К6-03.605..	40
5.2. Заходи протипожежної безпеки.....	43
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....	44
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	45
ДОДАТКИ.....	47

ВСТУП

Актуальність теми. Ефективність виробництва для виготовлення виробів у машинобудуванні полягає в тому, що під час проектування механічних дільниць для впровадження технологічних процесів потрібно вирішити ряд технічних і організаційних задач, що включають аналіз технологічних процесів, способів механічної обробки та ін. [1]. Основне завдання при цьому покладається на те, щоб під час проектування були внесені пропозиції щодо підвищення продуктивності механічної обробки виробництва, так як вона в значній мірі визначає науково-технічний прогрес в машинобудуванні [2]. Таким чином застосування прогресивних методів обробки, які забезпечують високу точність, якість поверхонь деталей машин, збільшують ресурс роботи деталей, ефективність використання сучасних верстатів з програмним управлінням, прогресивних форм організації виробничих процесів – все це направлено на розв’язування головної задачі: збільшення продуктивності для встановленого виробництва.

Мета роботи - досягнення підвищення продуктивності механічної обробки важеля К6-03.605 для умов серійного виробництва.

У кваліфікаційній роботі необхідно вирішити такі задачі:

- охарактеризувати об’єкт виробництва;
- вибрати метод отримання заготовки та методи обробки поверхонь деталі важеля К6-03.605;
- для забезпечення продуктивності виготовлення деталі важеля К6-03.605 розробити технологічний процес механічної обробки для умов серійного виробництва;
- спроектувати конструкції пристроїв: для механічної обробки та контролю;
- розробити план дільниці механічної обробки важеля К6-03.605 та заходи із охорони праці.

Об’єкт дослідження – деталь важеля К6-03.605.

Предмет дослідження – технологічний процес механічної обробки деталі важель К6-03.605.

Практичне значення результатів роботи: розробка технологічного процесу для досягнення підвищення продуктивності механічної обробки важеля К6-03.605 в умов серійного виробництва.

В роботі запропоновано наступні рішення:

- спроектовано технологічний процес механічної обробки для програми випуску 30000 штук / рік, що забезпечує точність виготовлення деталі та підвищує продуктивність обробки;
- сконструйовано верстатний пристрій для багатомісної обробки та спеціальний пристрій для контролю;
- спроектовано ділянку механічної обробки та розроблено заходи щодо забезпечення охорони праці під час роботи на ній.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ ВИРОБНИЦТВА ВАЖЕЛЯ К6-03.605

1.1. Службове призначення та технічні умови

Важель К6-03.605 призначений для управління керуючими колесами комбайнів. Деталь має з однієї сторони різьбову поверхню, а з другої конічний отвір.

Основні поверхні деталі важеля К6-03.605 - конічний отвір конусністю 1:8 і різьбова поверхня М24×2 – 6 q (поверхні Д і К,Е). Основні поверхні Е і К виконані з допуском 0.005...0.06 мм, різьбова поверхня Д з допуском 6 q. Поверхні Е і К виконані з шорсткістю R_a 2,5.

Основні технічні вимоги, методи їх досягнення і контролю зводимо в таблицю А.1.

Поверхні А, Б, В, Г, Ж, З, І, Л є допоміжними і призначені для побудови конструкції деталі (рис. А.1).

Матеріал деталі Ст 40 Х ДСТУ 7806:2015. Основні властивості матеріалу сталь 40Х і його хімічний склад наведені в таблицях А.2 і А.3 [3].

Деталь має достатню жорсткість для обробки різальними інструментами і можливість закріплювати її в різних технологічних пристроях.

Деталь має конічні базові поверхні, виконані за 9 квалітетом точності. Виконання їх технологічно можливе методом шліфування зовнішнього конуса і методом розгортання з розкатуванням внутрішнього конуса.

Нетехнологічною в конструкції деталі є ламана вісь деталі. Обробка – нескладна в разі застосування спеціальних пристроїв на металорізальних верстатах для її закріплення і базування.

В цілому деталь є достатньо технологічною з можливістю забезпечення технічних вимог універсальним обладнанням нормальної точності з приміщенням спеціалізованого оснащення.

1.2. Порівняння методів отримання заготовки

Спосіб отримання заготовки визначається конструкцією деталі, матеріалом, технічними вимогами, серійністю випуску, а також економічністю виготовлення [4].

Заготовкою для проектної деталі служить штамповка сталі – 40 ДСТУ 7806:2015. Заготовку для деталі можна отримати такими способами : гарячим штампуванням на пресах та вільним куванням на молотах.

Собівартість заготовки розраховуємо за формулою [5]:

$$S_{\text{заг}} = \left(\frac{C_i}{1000} \times Q \times K_m \times K_c \times K_e \times K_m \times K_n \right) - (Q - q) \times \frac{S_{\text{від}}}{1000}$$

Розрахунок зводимо у таблицю 1.1.

Таблиця 1.1. – Визначення собівартості заготовки

№ п/п	Назва показника формули	Позначення	Вид заготовки	
			гаряче штампування	вільне кування
1	Вартість 1т заготовки	C_i	140000	160000
2	Коефіцієнт точності	K_T	1,0	1,06
3	Коефіцієнт матеріалу	K_M	1,1	1,1
4	Коефіцієнт складності	K_c	1,12	1,12
5	Коефіцієнт об'єму виробництва	K_v	1,2	1,2
6	Коефіцієнт маси	K_{Π}	1,1	1,0
7	Маса заготовки, кг	Q	2,05	2,36
8	Маса деталі, кг	q	1,54	1,54
9	Ціна 1т відходів, грн	$S_{\text{від}}$	4500	4500
10	Собівартість виготовлення однієї заготовки, грн	$S_{\text{заг}}$	464,43	588,05

Економічний ефект визначаємо за формулою: $E = (S_{\text{заг}2} - S_{\text{заг}1}) \times N$,

де $S_{\text{заг}1}$ – собівартість одержання заготовки штамповою.

$S_{\text{заг}2}$ – собівартість одержання заготовки куванням.

$$E = (S_{\text{заг2}} - S_{\text{заг1}}) \times N = (588,05 - 464,43) \times 30000 = 3708554 \text{ грн.}$$

Із розрахунків видно, що застосування гарячого штампування є економічно вигідним за собівартістю.

1.3. Вибір методу обробки поверхонь

Вибір методу для обробки кожної поверхні деталі проводимо за допомогою коефіцієнту уточнення [5], що розраховується за формулою:

$$E_p = \frac{T_z}{T_d},$$

де T_z і T_d – відповідно допуски на розмір заготовки та деталі.

Кількість методів обробки визначаємо за формулою: $n_p = \frac{\lg E_p}{0,46},$

Визначимо число методів обробки поверхонь за коефіцієнтом уточнення для операції токарної – обробки поверхні $\varnothing 22,64_{-0,14} \text{ мм.}$

$$\text{Загальне уточнення : } E_p = \frac{0,34}{0,14} = 2,43$$

$$\text{Тоді кількість переходів : } n_p = \frac{2,43}{0,46} = 1,9$$

Приймемо $n = 2$. Різниця квалітетів заготовки та деталі: $16 - 11 = 5$, розкладаємо у порядку прогресивного зменшення розмірів $5 = 3 + 2$.

Таким чином після 1-го переходу: $16 - 3 = 13$ квалітет – точіння чорнове; після 2-го переходу: $13 - 2 = 11$ квалітет – точіння чистове.

Аналогічно проводимо розрахунки для інших поверхонь. Результати розрахунку зводимо у таблицю 1.2.

Таблиця 1.2. – Зведена таблиця обробки поверхонь деталі

Поверхня, види обробки	T_d	T_z	E	n	$n_{\text{пр}}$
1	2	3	4	5	6
$\varnothing 24,7 \pm 0,05$ 1. Свердлити 2. Зенкерувати 3. Розвернути	0,34	0,1	3,4	2,6	3

Продовження таблиці 1.2

1	2	3	4	5	6
$\varnothing 32 \pm 0,05$ 1.Точіння чорнове 2.Точіння чистове 3. Шліфування	0,34	0,1	3,4	2,7	3
$\varnothing 22,64_{-0,14}$ 1.Точіння чорнове 2.Точіння чистове	0,34	0,14	2,43	1,9	2
$\varnothing 5^{+0,3}$ 1. Свердління	0,34	0,3	1,13	0,3	1
$7 \pm 0,3$ 1.Підрізка торця	0,34	0,6	0,57	0,53	1
$183 \pm 0,3$ 1.Підрізка торця	0,34	0,6	0,57	0,53	1
$211 \pm 1,0$ 1.Фрезерування торця	0,34	2,0	0,17	1,5	1

На основі проведених розрахунків приймаємо технологічний процес механічної обробки важеля:

005 Вертикально-свердлильна

- 1.Свердлити отвір $\varnothing 15,5$ мм наскрізь.
2. Зенкерувати отв. $\triangle 1:8$ до $\varnothing 19,3$ мм.
3. Розвернути отв. $\triangle 1:8$ до $\varnothing 19,75$ мм.
4. Розкатати отв. $\triangle 1:8$ до $R_{a2,5}$.

010 Вертикально-свердлильна

1. Зенкувати фаску $1,5 \times 45^0$.

015 Токарно-гвинторізна

1. Підрізати торець начисто.
2. Точити поверхню до $\varnothing 24_{-0,52}$ в р-р $7 \pm 0,3$.
3. Центрувати торець $\varnothing 3,15^*$ до $\varnothing 10^{+0,36}$.

020 Токарна ЧПК

1. Точити фасонну поверхню начорно.
2. Підрізати торець в р-р 211 ± 1.0 до $\varnothing 18,3_{-0.52}$
3. Точити фасонну поверхню начисто.
4. Підрізати торець в р-р 183 ± 0.3 до $\varnothing 26,4_{-0.17}$ з утворенням радіусу R2

025 Різенакатна

1. Нарізати різь M24×2-6g в р-р 24*мм.

030 Вертикально-свердлильна

1. Свердлити отв. $\varnothing 5 + 0.3$ наскрізь.
2. Зенкувати фаску 1,5мм під $\angle 1200$ з двох сторін послідовно.

035 Круглошліфувальна

1. Шліфувати пов. $\triangle 1:8$ р-р 141 ± 0.5 до $\varnothing 32 \pm 0.05$

040 Горизонтально-фрезерна

1. Фрезерувати шпонковий паз $\varnothing 22 + 1.8$ на глибину 7 ± 0.25 в р-р 162 ± 1.0 під $\angle 470 \pm 10'$

045 Горизонтально-фрезерна

1. Фрезерувати торець в р-р 211 ± 1.0

1.4. Встановлення типу та форми виробництва

Вибір типу виробництва проводимо згідно методичних рекомендацій [5].

Для цього використовуємо коефіцієнт закріплення операцій:

$$K_{з.о.} = \frac{\sum O}{\sum P},$$

де О – кількість операцій, які виконуються на робочих місцях,

Р – кількість робочих місць на ділянці.

Для встановлення типу виробництва визначаємо наближено штучно-калькуляційний час за формулою: $T_{шт-к} = \varphi_k \times T_o$,

де φ_k – коефіцієнт, який враховує тип виробництва і тип верстату [5], стр. 146;

T_o – основний час виконання технологічної операції [5], стр. 145.

Штучний час визначаємо на основі розрахунку основного часу, визначеного по наближеним формулам. Розрахунок представлено у таблиці А.4.

Кількість верстатів для кожної операції розраховуємо за формулою:

$$m_p = \frac{N \times T_{шт-к}}{60 \times F_o \times \eta_n},$$

де $N=30000$ шт/рік- річна програма;

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

$\eta_n = 0.8$ - нормативний коефіцієнт завантаження обладнання.

Кількість операцій, що виконується на робочому місці визначається за формулою: $O = \frac{\eta_n}{\eta_{з.ф.}}$,

де $\eta_n = 0,8$ – нормативний коефіцієнт завантаження обладнання;

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

Розрахунки за цими формулами зводимо у таблицю А.5.

$$K_{з.о.} = \frac{\sum O}{\sum P} = \frac{87,91}{9} = 9,76 - \text{тип виробництва багатосерійний.}$$

Встановлюємо організаційну форму виробництва.

Добовий випуск деталей визначаємо за формулою:

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

де N – річна програма випуску виробів;

254 – кількість робочих днів у році.

$$N_o = \frac{30000}{254} = 118,1 \approx 118 \text{ шт.}$$

Добова продуктивність визначається за формулою:

$$Q_{\partial} = \frac{F_{\partial}}{T_{um-\kappa.c.} \times \eta},$$

де $F_{\partial}=952$ хв – добовий фонд роботи обладнання у дві зміни;

$T_{um-\kappa.c.}$ – середня працемісткість основних операцій, хв;

$$T_{um-\kappa.c.} = \frac{\sum_i^n T_{um-\kappa}}{n},$$

де $T_{um-\kappa}$ – штучний час і-ої операції, хв;

n – кількість основних операцій.

$$T_{um-\kappa.c.} = \frac{\sum_i^n T_{um-\kappa}}{n} = \frac{13,22}{9} = 1,47.$$

$$Q_{\partial} = \frac{F_{\partial}}{T_{um-\kappa.c.} \times \eta} = \frac{952}{1,47 \times 0,8} = 809,5.$$

Отже $0,6 \cdot Q_{\partial} > N_{\partial}$ і умова застосування потокової форми не виконується,

тому приймаємо групову форму організації виробництва.

Розраховуємо розмір партії деталей, які одночасно запускаються у виробництво за формулою:

$$n = \frac{N \times a}{254},$$

де $a=3$ дні - періодичність запуску деталей у виробництво.

$$n = \frac{N \times a}{254} = \frac{30000 \times 3}{254} = 354,3 \approx 355_{um}$$

Визначаємо кількість змін необхідну для обробки даної партії деталей за формулою:

$$C = \frac{T_{um-\kappa.c.} \times n}{476 \times 0,8} = \frac{1,47 \times 355}{476 \times 0,8} = 1,37$$

Приймаємо дві зміни, тоді кількість деталей у партії, яка обробляється за дві зміни становить:

$$n_{np} = \frac{C_{np} \times 476 \times 0,8}{T_{um-\kappa.c.}} = \frac{2 \times 476 \times 0,8}{1,47} = 518_{um}$$

РОЗДІЛ 2

ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ

2.1. Визначення показників технологічності конструкції деталі

Знаходимо такі показники технологічності деталі [5]:

Коефіцієнт використання матеріалу: $K_m = \frac{m}{M}$,

де m – маса деталі;

M – маса заготовки.

$$K_m = \frac{1,54}{2,05} = 0,75$$

По даному показнику деталь технологічна оскільки нормативний K_m для методів пластичного деформування, яким одержується заготовка, становить 0,5... 0,75.

Коефіцієнт точності обробки: $K_m = 1 - \frac{1}{A_{cp}}$,

де A_{cp} – середня точність обробки, яка визначається за формулою:

$$A_{cp} = \frac{1 \times n_1 + 2 \times n_2 + \dots + 19n_{19}}{\sum_{1}^{19} n_i},$$

де n_i – кількість поверхонь з i -им квалітетом обробки.

$$A_{cp} = \frac{3 \times 9 + 2 \times 10 + 2 \times 12 + 4 \times 14}{11} = 11,5$$

$$K_m = 1 - \frac{1}{11,5} = 0,91 > 0,8 - \text{технологічна}$$

Це свідчить про широку можливість використання для обробки деталі верстатів нормальної точності.

Коефіцієнт шорсткості: $K_u = \frac{1}{B_{cp}}$,

де B_{cp} – середня шорсткість обробки, яка визначається за формулою:

$$B_{cp} = \frac{0.01 \times n_1 + 0.02 \times n_2 + \dots + 80 \times n_{14}}{\sum_{i=1}^{14} n_i},$$

де n_i – кількість поверхонь які мають шорсткість по відповідному параметру ряду R_a .

$$B_{cp} = \frac{5 \times 1 + 20 \times 7 + 2,5 \times 3}{11} = 13,68$$

$$K_{ш} = \frac{1}{B_{cp}} = \frac{1}{13,68} = 0,1 < 0,32 - \text{технологічна.}$$

Це свідчить про широку можливість використання стандартного ріжучого інструменту.

Всі конструктивні елементи деталі, які підлягають обробці мають правильну геометричну форму, що дає можливість використовувати типові технологічні методи обробки типових поверхонь.

На цій підставі робимо висновок, що дана деталь є технологічною у виготовленні.

2.2. Обґрунтування вибору баз

Із службового призначення деталі видно, що основними базами є площина, циліндрична поверхня $\varnothing 24\text{мм}$, що встановлюється у призму, а також конічний отвір і центрувальний.

005, 010 Вертикально-свердлильна - розмір $\varnothing 19,79 \pm 0,05\text{мм}$ (рис. 2.1)

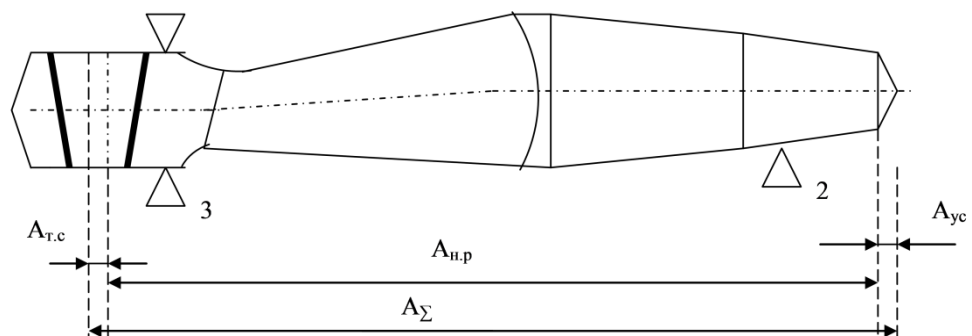


Рисунок 2.1.

$$\omega = \omega_{н.р} + \omega_{т.с} + \omega_y;$$

$$\omega_c = \omega_{н.р} + \omega_{т.с} = 0; \quad \omega_y = 0,09.$$

$$\omega = 0 + 0,09 = 0,09 \text{ мм}; \quad T = 0,1 \text{ мм}.$$

015 Токарно-гвинторізна (рис. 2.2)

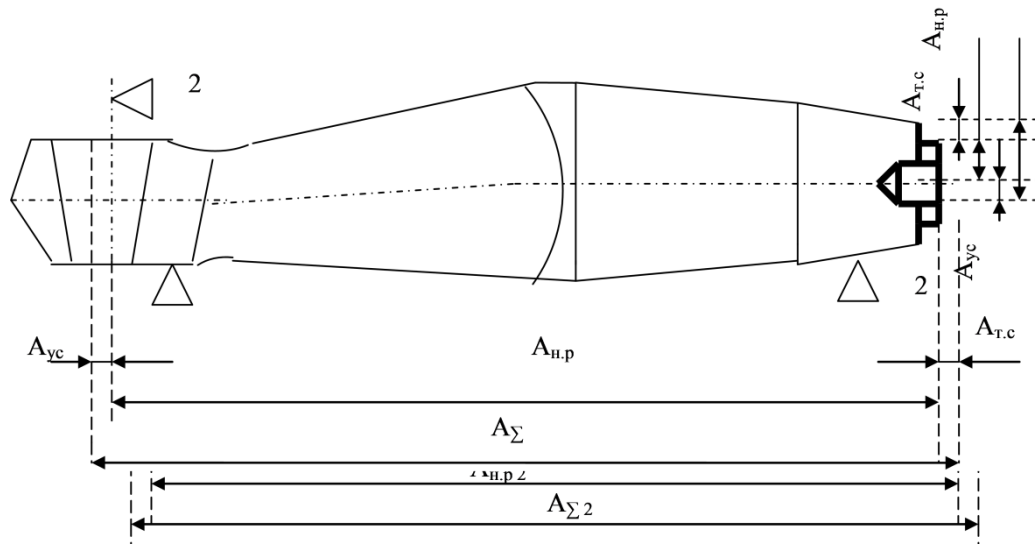


Рисунок 2.2.

В радіальному напрямку розмір $7 \pm 0,3 \text{ мм}$.

$$\omega = \omega_{н.р} + \omega_{т.с} + \omega_y;$$

$$\omega_c = \omega_{н.р} + \omega_{т.с} = 0,12; \quad \omega_y = 0,26.$$

$$\omega = 0,12 + 0,26 = 0,38 \text{ мм}; \quad T = 0,6 \text{ мм}.$$

В осьовому напрямку розмір $\varnothing 24_{-0,52} \text{ мм}$.

$$\omega = \omega_{н.р} + \omega_{т.с} + \omega_y;$$

$$\omega_c = \omega_{н.р} + \omega_{т.с} = 0,12; \quad \omega_y = 0,07.$$

$$\omega = 0,12 + 0,07 = 0,21 \text{ мм}; \quad T = 0,52 \text{ мм}.$$

020 Токарна з ЧПК. 025 Різенакатна (рис. 2.3)

В радіальному напрямку розміри $141 \pm 0,8 \text{ мм}$; $183 \pm 0,3 \text{ мм}$; $24 \pm 0,4 \text{ мм}$

$$\omega = \omega_{н.р} + \omega_{т.с} + \omega_y;$$

$$\omega_c = \omega_{н.р} + \omega_{т.с} = 0,12; \quad \omega_y = 0,26.$$

$$\omega = 0,12 + 0,26 = 0,38 \text{ мм}; \quad T = 0,6 \text{ мм}.$$

В осьовому напрямку розміри $\varnothing 32,5_{-0,3} \text{ мм}$; $\varnothing 22,64_{-0,14} \text{ мм}$.

$$\omega = \omega_{н.р} + \omega_{т.с} + \omega_y;$$

$$\omega_c = \omega_{н.р} + \omega_{т.с} = 0,06; \quad \omega_y = 0,07.$$

$$\omega = 0,06 + 0,07 = 0,13 \text{ мм}; \quad T = 0,14 \text{ мм}.$$

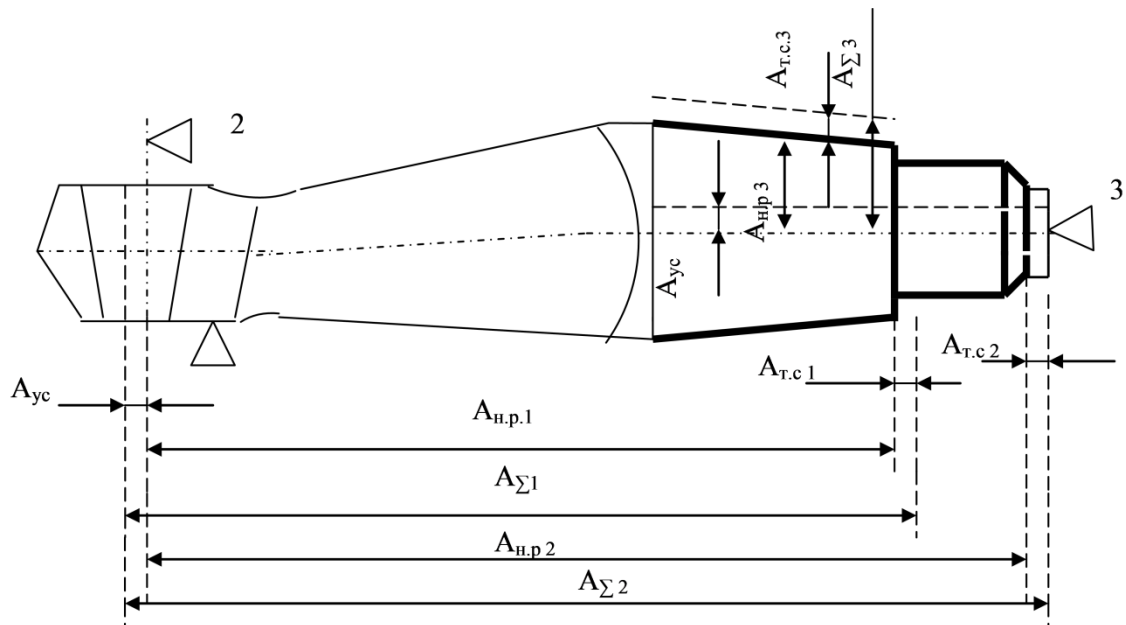


Рисунок 2.3.

030, 035 Вертикально свердлильна – розмір $\varnothing 5^{+0,3}$ мм (рис. 2.4)

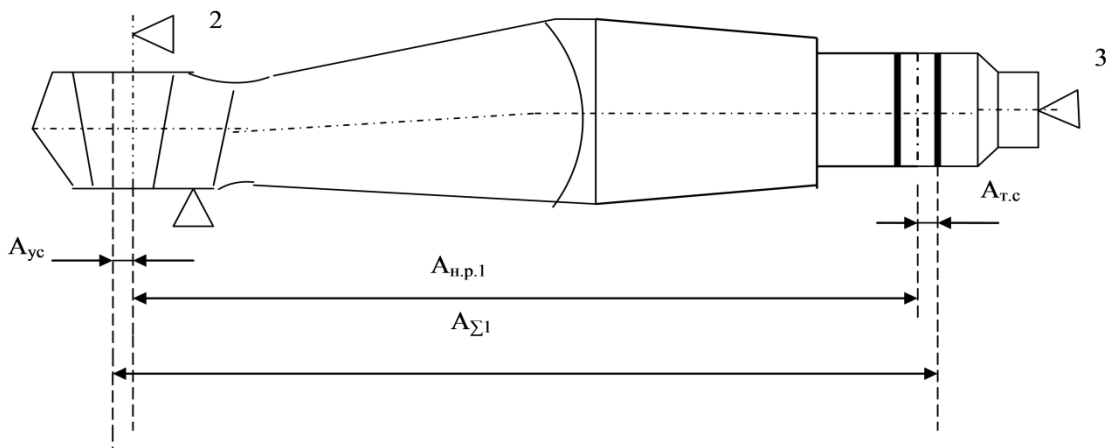


Рисунок 2.4.

$$\omega = \omega_{н.р} + \omega_{т.с} + \omega_y;$$

$$\omega_c = \omega_{н.р} + \omega_{т.с} = 0,1; \quad \omega_y = 0,2.$$

$$\omega = 0,1 + 0,2 = 0,21 \text{ мм}; \quad T = 0,3 \text{ мм}$$

040 Круглошліфувальна – розмір $\varnothing 32 \pm 0,5$ мм (рис. 2.5)

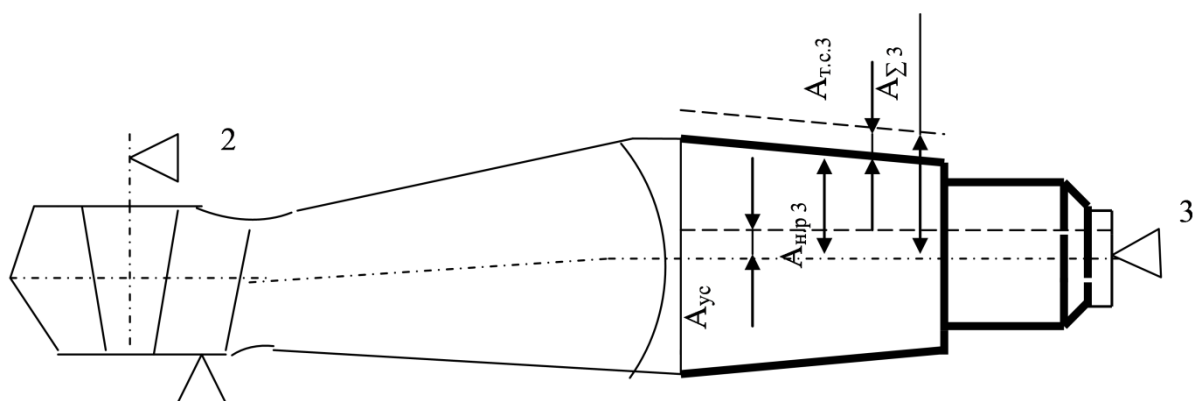


Рисунок 2.5.

$$\omega = \omega_{н.р} + \omega_{т.с} + \omega_y;$$

$$\omega_c = \omega_{н.р} + \omega_{т.с} = 0; \quad \omega_y = 0,07.$$

$$\omega = 0 + 0,07 = 0,07 \text{ мм}; \quad T = 0,1 \text{ мм}$$

045 Горизонтально-фрезерна – розмір $211 \pm 1.0 \text{ мм}$ (рис. 2.6)

$$\omega = \omega_{н.р} + \omega_{т.с} + \omega_y;$$

$$\omega_c = \omega_{н.р} + \omega_{т.с} = 0,2; \quad \omega_y = 0,26.$$

$$\omega = 0,2 + 0,26 = 0,46 \text{ мм}; \quad T = 2 \text{ мм}$$

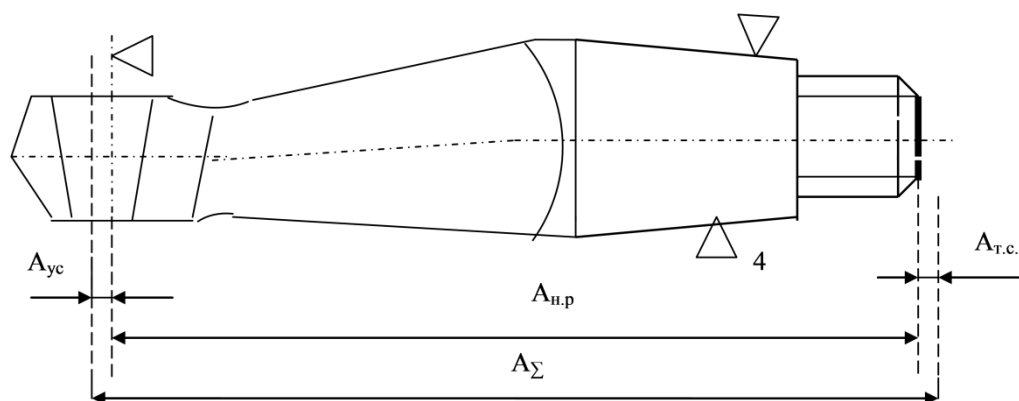


Рисунок 2.6.

2.3. Розрахунок припусків і технологічних розмірів

Розрахуємо припуски та міжопераційні розміри на обробку поверхні $\varnothing 22, 64 - 0,14$ під різьбу $M24 \times 2 - 6g$. Технологічний маршрут обробки поверхні складається з точіння чорнового і чистового.

Розрахунок припусків на обробку поверхні ведемо шляхом складання таблиці, в яку записуємо технологічний маршрут обробки поверхні і всі значення елементів припуску.

Для штамповки : $Rz = 250$ мкм, $T = 250$ мкм.

1. Точіння чорнове: $Rz = 100$ мкм, $T = 100$ мкм.

2. Точіння чистове: $Rz = 30$ мкм, $T = 30$ мкм.

Сумарне значення просторових відхилень при базуванні деталі на палець і в центрі [5]: $\rho_{заг} = \sqrt{\rho_{зм}^2 + \rho_n^2 + \rho_u^2}$,

$$\rho_{зм} = \delta = 1,0 \text{ мм}$$

$$\rho_n = \Delta_k \times l, \quad \Delta_k = 1,5 \text{ мкм на } 1 \text{ мм довжини}$$

$$\rho_n = 1,5 \times 211 = 316 \text{ мкм}$$

$$\rho_u = \sqrt{\left(\frac{\delta}{3}\right)^2 + 0,25^2} = \sqrt{\left(\frac{l}{3}\right)^2 + 0,25^2} = 0,625 \text{ мм} = 625 \text{ мкм}$$

$$\text{Отже } \rho_3 = \sqrt{1,0^2 + 0,316^2 + 0,625^2} = 1,22 \text{ мм} = 1220 \text{ мкм}.$$

$$\rho_1 = 0,06 \rho_{заг} = 0,06 \times 1220 = 70 \text{ мкм}$$

$$\rho_2 = 0,05 \rho_1 = 0,05 \times 70 = 3,5 \text{ мкм}$$

$$\text{Похибка установки на першому базуванні: } \varepsilon = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2}, \quad [5]$$

де ε_6 – похибка базування;

ε_3 – похибка закріплення

Похибка базування в разі закріплення на конічний базовий палець і в центрах $\varepsilon_6 = 0$.

$$\text{Похибка закріплення: } \varepsilon_3 = 200 \text{ мкм; } \varepsilon_1 = 200 \text{ мкм; } [5]$$

$$\varepsilon_2 = 0,05 \times \varepsilon_6 = 0,05 \times 200 = 10 \text{ мкм}$$

Розрахунок мінімальних значень міжопераційних припусків проводимо за формулою : $2z_{\min} = 2(R_{zi-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2})$

Мінімальний припуск для точіння:

- чорнове: $2z_{\min 1} = 2 \times (250 + 250 + \sqrt{1220^2 + 200^2}) = 2 \times 1730 \text{ мкм}$

- чистове: $2z_{\min 2} = 2 \times (100 + 100 + \sqrt{70^2 + 10^2}) = 2 \times 270 \text{ мкм}$

Таблиця 2.1.– Розрахунок припусків і граничних розмірів обробки
поверхні $\varnothing 22.64_{-0,14}$

Техноло- гічні переходи обробки поверхні	Елементи припуску, мкм				Розра- хун- ковий при- пуск 2zmin	Розра- хунко- вий розмір dp	Допу- ск δ мкм	Граничний розмір, мм		Граничні припуски, мкм	
	Rz	T	P	ε				dmin	dmax	2zmin	2zmax
Заготовка	250	250	1220	-		26,5	2000	26,5	28,5		
Точіння чорнове	100	100	70	200	2×1730	23,04	400	23,04	23,44	3460	5060
Точіння чистове	30	30	3,5	10	2×270	22,5	140	22,5	22,64	540	800
Всього										4000	5860

Загальний номінальний припуск :

$$Z_{\text{о ном}} = Z_{\text{о min}} + H_3 - H_d = 4000 + 1000 - 140 = 4860 \text{ мкм}$$

Номінальний розмір заготовки :

$$d_{3 \text{ ном}} = d_{d \text{ ном}} + Z_{\text{о ном}} = 22,64 + 4,86 = 27,5 \text{ мм}$$

Проводимо перевірку правильності розрахункових припусків і розмірів:

$$2z_{\max 2}^{np} - 2z_{\min 2}^{np} = \delta_1 - \delta_2$$

$$800 - 540 = 400 - 140$$

$$260 = 260$$

$$2z_{\max 1}^{np} - 2z_{\min 1}^{np} = \delta_3 - \delta_1$$

$$5060 - 3460 = 2000 - 400$$

$$1600 = 1600$$

Розрахунки проведено правильно.

Зведену таблицю припусків на поверхні наведено у таблиці 2.2, а схему графічного розміщення розмірів та припусків для обробки поверхні $\varnothing 22,64_{-0,14}$ під різьбу M24 x 2 – 6 q на рис. 2.1.

Таблиця 2.2. – Зведена таблиця припусків

Розмір	Припуск	Допуск	Розмір заготовки
$\varnothing 19,8 \pm 0,05$,  1:8 - суцільний метал			
$\varnothing 32 \pm 0,05$,  1:8	3	$\pm 0,5$	$\varnothing 38 \pm 1,0$
$\varnothing 22,64$	4,86	$\pm 1,0$	$\varnothing 27,5 \pm 1,0$
$211 \pm 1,0$	7(техн)	$\pm 1,0$	218^{+2}_{-1}

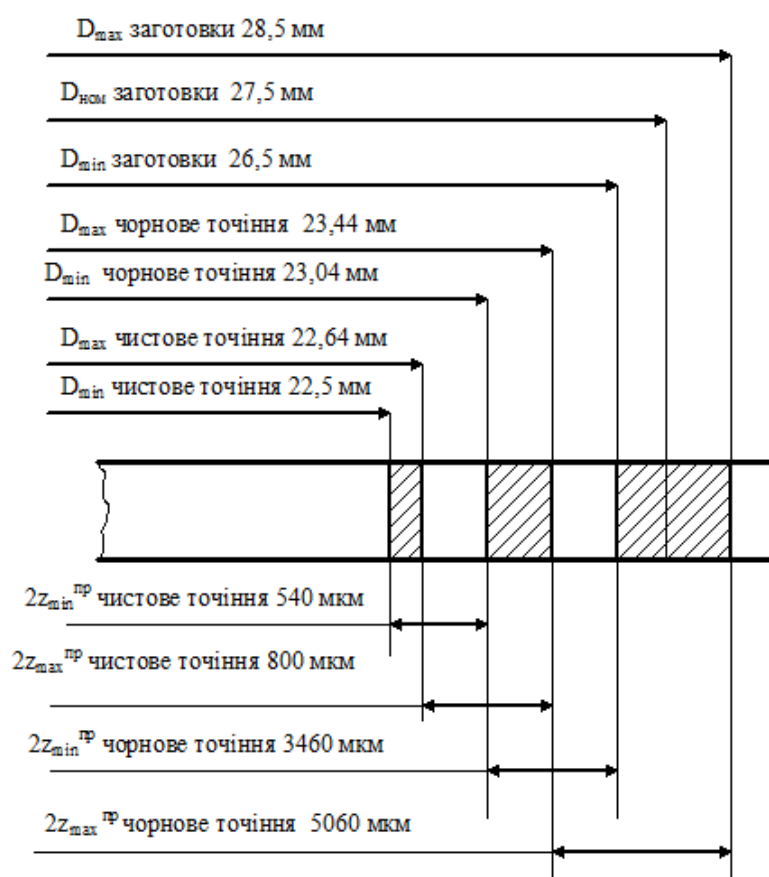


Рисунок 2.1.– Схема графічного розміщення розмірів та припусків для обробки поверхні $\varnothing 22,64_{-0,14}$ під різьбу M24 x 2 – 6 q

2.4. Розрахунок режимів різання

Режими різання визначаємо аналітичним методом за емпіричними формулами і шляхом підбору за довідниковими таблицями.

а) операція 005. Вертикально – свердлильна. Верстат 2Н125. Різальний інструмент – свердло $\varnothing 15,5\text{мм}$.

Глибина різання при свердлінні: $t = \frac{D}{2} = \frac{15,5}{2} = 7,75\text{мм}$

Подача при свердлінні $S = 0,18 \dots 0,26 \text{ мм/об}$ [6].

Вибираємо по паспортних даних верстата $S = 0,2 \text{ мм/об}$.

Швидкість різання при свердлінні розраховується за формулою:

$$v = \frac{C_v^{Z_v} \cdot D^{X_v}}{T^m \cdot S^{Y_v}} \cdot K_{M_v}, \quad \text{м/хв.} \quad [6]$$

де $C_v^{Z_v} = 8,9$; $Y_v = 0,7$; $X_v = 0,4$; $m = 0,2$ [6]

$T = 25 \text{ хв}$ – стійкість свердла [6]

$$K_{M_v} = \frac{48,7}{\sigma_6^{0,9}} = \frac{48,9}{75^{0,9}} = 1,0$$

$$v = \frac{8,9 \cdot 15,5^{0,4}}{25^{0,2} \cdot 0,2^{0,7}} \cdot 1,0 = 16,8 \text{ м/хв}$$

Визначаємо розрахункове число обертів:

$$n_p = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 16,8}{\pi \cdot 15,5} = 267,5 \text{ об/хв}$$

Згідно паспорта верстата коректуємо число обертів: $n = 250 \text{ об/хв}$.

Визначаємо дійсну швидкість різання:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{\pi \cdot 15,5 \cdot 250}{1000} = 15,7 \text{ м/хв}$$

Силу різання визначаємо за формулою:

$$P = C_p \cdot D^{Z_p} \cdot S^{Y_p} \cdot K_{M_p}, \quad \text{Н} \quad [6]$$

$C_p = 98,8$; $Z_p = 1,0$; $Y_p = 0,7$ [4]

$$K_{M_p} = \left(\frac{\sigma_6}{75} \right)^{0,75} = \left(\frac{75}{75} \right)^{0,75} = 1,0$$

$$P = 98,8 \cdot 15,5^{1,0} \cdot 0,2^{0,7} \cdot 1,0 = 640,5 \text{ Н}$$

Крутний момент на свердлі визначаємо за формулою :

$$M_K = C_M \cdot D^{2,0} \cdot S^{Y_m} \cdot K_{M_M}, \text{ Н} \cdot \text{мм} \quad [6]$$

$$C_M = 39; Y_m = 0,8 \quad [4]$$

$$K_{M_M} = K_{M_P} = 1,0$$

$$M_K = 39 \cdot 15,5^{2,0} \cdot 0,2^{0,8} \cdot 1,0 = 4304 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

Ефективна потужність різання [6]:

$$N_e = \frac{M_K \cdot n}{975 \cdot 1000} = \frac{3404 \cdot 250}{975 \cdot 1000} = 1,1 \text{ кВт}$$

Потужність прийнятого верстату 2,2 кВт.

Таким чином прийняті режими різання задовольняють умови обробки. Режими різання механічної обробки деталі для інших видів обробки поверхонь деталі визначені за допомогою САПР [7] та зведені у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3. – Режими різання

№ п/п	Назва операції і переходи	Довжина різання L, мм	Глибина різання t, мм	Кількість проходів, і шт	Подача S, мм/об	Число обертів n об/хв	Швидкість різання, V м/хв	Основний час T _о , хв.	Потужність різання, кВт	Потужність верстату, кВт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
005	Вертикально-свердлильна									
	1.Свердлити отвір Ø15,5мм наскрізь.	30	7,75	1	0,2	250	12,2	0,6		
	2. Зенкерувати отв.  1:8 до Ø19,3мм.	29	1,4	1	0,2	90	5,75	1,7		
	3. Розвернути отв.  1:8 до Ø19,75мм.	5	0,23	1	0,1	45	28	1,2	1,1	2,2
010	4. Розкатати отв. Ø19,8мм	-	-	1	-	190	11,8	0,2		
	 1:8 до R _a 2,5.									
010	Вертикально-свердлильна									
	1. Зенкувати фаску 1,5×450.	2	1,5	1	0,1	355	22	0,1	0,12	2,2

Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
015	Токарно-гвинторізна 1. Підрізати торець начисто. 2. Точити поверхню до $\varnothing 24-0.52$ в р-р 7 ± 0.3 . 3. Центрувати торець $\varnothing 3,15^*$ до $\varnothing 10+0.36$.	16 8 11	1 6 5	1 2 1	0,34 0,34 0,05	500 500 500	51,8 51,8 5,0	0,09 0,09 0,44	3,6	10
020	Токарна ЧПК 1. Точити фасонну поверхню начорно. 2. Підрізати торець в р-р 211 ± 1.0 до $\varnothing 18,3-0.52$ 3. Точити фасонну поверхню начисто. 4. Підрізати торець в р-р 183 ± 0.3 до $\varnothing 22,64-0.17$ з утворенням радіусу R2	95 3 95 4	5,2 1 0,65 1,28	3 1 1 1	0,4 0,1 0,3 0,1	840 840 840 840	84 76 84 74	0,283 0,036 0,38 0,084	7,2	10
025	Різенкатна 1. Нарізати різь M24 $\times$ 2-6g в р-р 24*мм.	24	2	1	2.0	20	25	0,09	2,3	3
030	Вертикально-свердлильна 1. Свердлити отв. $\varnothing 5+0.3$ наскрізь. 2. Зенкувати фаску 1,5мм під $\angle 1200$ з двох сторін послідовно.	26,5 2	2,5 2,5	1 1	0,1 0,1	1000 500	14,9 7,85	0,26 0,08	0,1	2,2
035	Круглошліфувальна 1. Шліфувати пов. $\triangle 1:8$ р-р 141 ± 0.5 до $\varnothing 32\pm 0.05$	42	0,25	1	1,0	150	15,2	0,25	0,05	3
040	Горизонтально-фрезерна 1. Фрезерувати шпонковий паз $\varnothing 22+1.8$ на глибину 7 ± 0.25 в р-р 162 ± 1.0 під $\angle 470\pm 10'$	8	7	1	40	315	23,6	0,2	5,2	7,5
045	Горизонтально-фрезерна 1. Фрезерувати торець в р-р 211 ± 1.0	96	7	1	100 мм/хв	500	251	2,0	1,2	7,5

2.5. Нормування технологічного процесу

Оскільки тип виробництва багатосерійний та групова форма технологічного процесу то визначаємо норму штучно-калькуляційного часу за формулою [5]:

$$T_{шт-к} = \frac{T_{п.з.}}{n} + T_{шт},$$

де $T_{п.з.}$ – підготовчо-заключний час, хв.;

n – кількість деталей в партії, шт.;

$T_{шт}$ – норма штучного часу, хв.

$$T_{шт.} = T_o + T_d + T_{обсл} + T_{відп},$$

де $T_{шт.}$ – штучний час на операцію, хв.;

T_o – основний (машинний) час, хв.;

T_d – допоміжний час, хв.;

$$T_d = T_{у.с} + T_{з.о} + T_{уп} + T_{вим},$$

де $T_{у.с}$ – час на встановлення та зняття деталі, хв.;

$T_{з.о}$ – час на закріплення та відкріплення заготовки в пристрої, хв.;

$T_{уп}$ – час на прийоми управління верстатом, хв.;

$T_{вим}$ – час на вимірювання деталі, хв.;

$T_{обсл}$ – час на обслуговування робочого місця, хв.;

$$T_{обсл} = T_{тех} + T_{орг},$$

де $T_{тех}$ – час на технічне обслуговування верстату, хв.;

$T_{орг}$ – час на організаційне обслуговування робочого місця, хв.;

$T_{відп}$ – відпочинок і фізіологічні потреби, хв.

Розраховуємо норму штучного часу на операцію 040 - Вертикально - фрезерну.

Основний час визначаємо за формулою : $T_o = \frac{L}{S} \cdot i$,

де $i = 1$ - кількість проходів

$$T_o = \frac{8}{40} \cdot 1 = 0,2 \text{ хв}$$

Підраховуємо об'єм допоміжної роботи і час на її виконання:

1) встановити заготовку в пристрій і зняти після виконання операції :

$$T_{\text{уст}} = 0,4 \text{ хв.}, [7]$$

2) допоміжний час, зв'язаний з управлінням верстатом :

$$T_{\text{упр}} = 0,24 \text{ хв.}, [7],$$

3) допоміжний час, який необхідний на вимірювання деталі після проведення операції :

$$T_{\text{вим}} = 0,19 \text{ хв.}, [7]$$

Загальний допоміжний час :

$$T_{\text{д}} = T_{\text{уст}} + T_{\text{упр}} + T_{\text{вим}} = 0,4 + 0,24 + 0,19 = 0,83 \text{ хв.}$$

Час на обслуговування робочого місця $T_{\text{обсл}}$ складає 4 % від оперативного часу $T_{\text{оп}} = T_{\text{o}} + T_{\text{д}}, [7]$

$$T_{\text{обсл}} = 0,04 \cdot T_{\text{оп}} = 0,04 \cdot (0,2 + 0,83) = 0,06 \text{ хв.}$$

Час на відпочинок і особисті потреби $T_{\text{відп}}$ складає 4 % від оперативного часу, [37]

$$T_{\text{відп}} = 0,04 \cdot (0,2 + 0,83) = 0,06 \text{ хв.}$$

Штучний час на операцію :

$$T_{\text{шт}} = T_{\text{оп}} + T_{\text{обсл}} + T_{\text{відп}} = 1,03 + 0,06 + 0,06 = 1,15 \text{ хв.}$$

Підготовчо – заключний час $T_{\text{пз}} = 16 \text{ хв.}, [7]$

$$\text{Штучно – калькуляційний час } T_{\text{шт-к}} = \frac{16}{355} + 1,15 = 1,2 \text{ хв}$$

Аналогічно проводимо розрахунки на інші операції і дані записуємо в таблицю 2.4.

Таблиця 2.4. – Норми часу на механічну обробку деталі

№ опер.	Назва операції	T _о , хв	T _д , хв.				T _{оп} , хв	T _{обсл} , хв.	T _{відп.} , хв.	T _{шт} , хв	T _{пз} , хв	T _{штк} , хв.
			T _у	T _{уп}	T _{кон}	Сума						
005	Вертикально-свердлильна	3,7	0,19	0,50	0,05	0,74	4,44	0,18	0,18	4,8	18	4,85
010	Вертикально-свердлильна	0,06	0,14	0,14	0,01	0,29	0,35	0,02	0,02	0,39	18	0,44
015	Токарно-гвинторізна	0,62	0,25	0,52	0,04	0,81	1,43	0,06	0,05	1,54	30	1,62
020	Токарна ЧПК	0,8	0,28	0,44	0,22	0,94	1,74	0,07	0,07	1,88	30	1,96
025	Різенакатна	0,09	0,06	0,04	0,06	0,16	0,25	0,02	0,02	0,29	22	0,35
030	Вертикально-свердлильна	0,35	0,22	0,08	0,03	0,33	0,68	0,03	0,03	0,74	18	0,79
035	Кругло-шліфувальна	0,25	0,16	0,13	0,01	0,3	0,55	0,02	0,02	0,59	18	0,64
040	Горизонтально-фрезерна	0,2	0,4	0,24	0,19	0,83	1,03	0,06	0,06	1,15	16	1,2
045	Горизонтально-фрезерна	2,0	0,21	0,1	0,08	0,39	2,69	0,03	0,03	2,75	28	2,83
	Всього	8,07				4,79	12,9			14,1 3		14,68

РОЗДІЛ 3

КОНСТРУЮВАННЯ ПРИСТРОЇВ

3.1. Проектування пристрою для фрезерування торців

3.1.1. Вибір пристрою, структурної схеми.

Конструкція пристрою побудована на плиті яка служитиме корпусом. В спроектований пристрій одночасно встановлюється для обробки 4 деталі. Важель базується на конічні пальці і призму [8]. Схема затиску деталі зображена на рисунку 3.1.

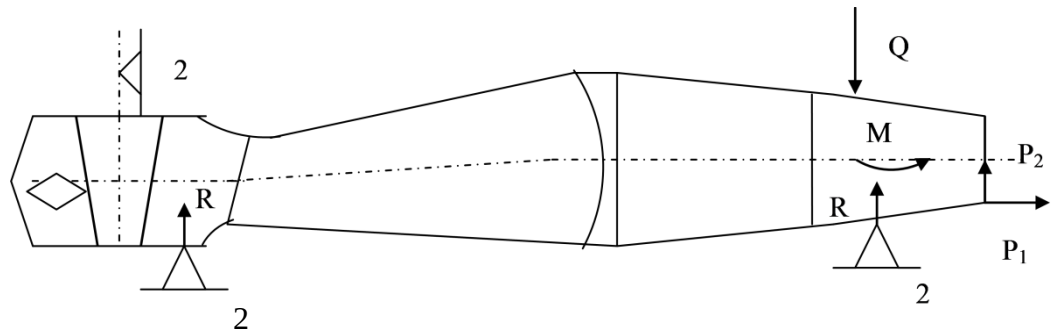


Рисунок 3.1.

Затиск деталі здійснюватиметься за допомогою пневмокамери, так як пневмокамера розвиває достатнє зусилля для затиску.

3.1.2. Розрахунок параметрів приводу.

Під час фрезерування деталь базується в призмі. Затиск деталі діє нормально до поверхні заготовки і повинен створити силу затиску, яка перешкоджає переміщенню оброблювальної заготовки під дією сили різання P .

Надійний затиск заготовки здійснюється за умови, якщо: $f \cdot P \geq k \cdot P$ [9].

$$Q \cdot \frac{l_4}{l_3} \cdot \frac{l_1}{l_2} = 4 \cdot P; \quad P = \frac{Q}{4} \cdot \frac{l_4}{l_3} \cdot \frac{l_1}{l_2}.$$

$$\text{Звідси : } \frac{f \cdot Q}{4} \cdot \frac{l_4}{l_3} \cdot \frac{l_1}{l_2} \geq k \cdot P; \quad Q \geq \frac{4 \cdot k \cdot P \cdot l_3 \cdot l_2}{f \cdot l_4 \cdot l_1};$$

де P – сила різання ,

$f = 0,15$ – коефіцієнт тертя,

$k = 2,0$ – коефіцієнт запасу,

$l_1 = 280$ мм,

$l_2 = 140$ мм,

$l_3 = l_4 = 40$ мм.

Визначаємо силу різання за формулою [5]:

$$P = C_p \cdot t^{X_p} \cdot S^{Y_p} \cdot z \cdot B^{Z_p} \cdot D^q,$$

де $C_p = 68$; $X_p = 0,86$; $Y_p = 0,74$; $Z_p = 1,00$; $q = -0,86$ [5].

$$P = 68 \cdot 7^{0,86} \cdot 0,05^{0,74} \cdot 10 \cdot 25^1 \cdot 100^{-0,86} = 171,6 \text{ кг}$$

$$\text{Сила затиску} \quad Q \geq \frac{4 \cdot 2 \cdot 171,6 \cdot 140 \cdot 40}{0,15 \cdot 40 \cdot 280} = 457,6 \text{ кг}$$

$$\text{Діаметр пневмоциліндру : } Q = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot p,$$

$p = 4 \text{ кг / см}^2$ – тиск в пневмосистемі.

$$\text{Звідси } D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 457,6}{\pi \cdot 4}} = 12,1 \text{ см.}$$

Вибираємо пневмопривід з $D = 150$ мм за джерелом [9].

3.1.3. Розрахунки пристрою на точність.

Сумарна похибка виготовлення ε_Σ не повинна перевищувати встановленого для даного розміру допуску T_A : $\varepsilon_\Sigma \leq T_A$, [9].

Сумарна похибка визначається за похибкою [7]:

$$E \leq \delta - k \cdot \sqrt{(\kappa_1 \cdot \varepsilon_{\delta})^2 + \varepsilon_z^2 + \varepsilon_y^2 + \varepsilon_{zn}^2 + \varepsilon_n^2 + (\kappa_2 \cdot \omega)^2},$$

де $K = 1...1,2$ – коефіцієнт, що враховує закон розподілу похибок;

ε_{δ} – похибка верстату в ненавантаженому стані;

ε_{δ} – похибка базування;

ε_3 – похибка закріплення;

ε_n – похибка налагодження пристрою;

$\varepsilon_{3,n}$ – похибка, що виникає внаслідок зношення установчих елементів;

$\delta = 1 \text{ мм}$ – допуск на відповідний розмір розміщення оброблювальної поверхні заготовки, що заданий за кресленням, мм;

$\varepsilon_6 = 0,2 \text{ мм}$; $\varepsilon_3 = 0,06 \text{ мм}$; $\varepsilon_y = 0,26 \text{ мм}$; $\varepsilon_n = 0$; $\varepsilon_{3,n} = 0,1 \text{ мм}$; $w = 0,1$ [9].

$$E \leq 1,0 - 1,2 \cdot \sqrt{(0,85 \cdot 0,2)^2 + 0,06^2 + 0,26^2 + 0,1^2 + 0^2 + (0,85 \cdot 0,1)^2} = 0,84$$

Умова виконується, отже даний пристрій забезпечить потрібну точність.

Виходячи з цього, точність виготовлення деталі складає $\pm 0,43$, що задовольняє допуск на розмір деталі $\pm 1 \text{ мм}$.

3.1.4. Загальний опис та принцип дії.

Конструкція пристрою побудована на плиті (поз. 1), яка служить корпусом пристрою. В пристрій одночасно встановлюється для обробки 4 деталі. Базування деталей здійснюється на конічні пальці по отвору деталі і призму по зовнішній конічній поверхні. Призми виконані також конічними за профілем деталі.

Затиск деталі здійснюється двома притисками, що вільно встановлені на осях (поз. 20) і мають спільну вісь покачування. Загальний притиск (поз. 10) закріплений на коромислі (поз. 9), яке має опору (поз. 7) з однієї сторони, а з другої зв'язане з пневмокамерою, яка окремо встановлюється на столі верстата. Обробка проводиться на горизонтально-фрезерному верстаті з допомогою торцевої фрези.

Кріплення пристрою на столі верстата проводиться за допомогою 4 болтів через пази, що зроблені в нижній плиті пристрою.

3.2. Проектування контрольного пристрою

Пристрій для контролю складається з корпусу (поз.1), який виготовлений з швелера з обробленою основою. На корпусі розміщена призма з двома конічними пальцями, конусності  1 : 8 (поз. 4) для установки важеля. Хвостовик важеля підтискується центром (поз. 80) за допомогою маховика.

На підпружиненому верхньому важелі розміщений калібр. Під час натискання на упор (поз. 27) калібр (поз. 5) повинен зайти в шпонковий паз деталі.

В цьому випадку виконання розміру 162 мм забезпечується. Крім цього пристрій імітує положення важеля у вузлі і забезпечує контроль кута 47° розміщення шпонкового паза відносно положення конічного отвору.

Деталь рахується якісною, якщо деталь (поз. 5) входить в шпонковий паз до упору.

РОЗДІЛ 4

ПРОЕКТУВАННЯ МЕХАНІЧНОЇ ДІЛЬНИЦІ

4.1. Розрахунок уточненого типу виробництва

На основі встановленої технічної норми часу (п. 2.5) уточнюємо тип виробництва за формулами п.1.4. Результати розрахунків представляємо у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Уточнення типу виробництва

№ опер.	Назва операції	$T_{шт-к},$ хв	$m_p,$ шт	$m_{пр},$ шт	η_f	O
005	Вертикально-свердлильна	4,85	0,75	1	0,75	1,07
010	Вертикально-свердлильна	0,44	0,1	1	0,1	8
015	Токарно-гвинторізна	1,62	0,25	1	0,25	3,3
020	Токарна ЧПК	1,96	0,3	1	0,3	2,67
025	Різенкатна	0,35	0,1	1	0,1	8
030	Вертикально-свердлильна	0,79	0,12	1	0,12	6,67
035	Круглошліфувальна	0,64	0,1	1	0,1	8
040	Горизонтально-фрезерна	1,2	0,2	1	0,2	4
045	Горизонтально-фрезерна	2,83	0,45	1	0,45	1,78
	Всього	14,68		9		43,49

$$K_{з.о.} = \frac{\sum O}{\sum P} = \frac{43,49}{6} = 4,8$$

Оскільки $1 < K_{з.о.} \leq 10$ остаточно приймаємо тип виробництва багатосерійний з предметною формою організації виробництва з розміщення обладнання за ходом техпроцесу.

4.2. Встановлення кількості працівників на дільниці

Чисельність верстатників на дільниці, що проектується розраховується за наступною формулою:

$$P_v = T_N \cdot K_3 \cdot K_6 / \Phi_{dp} K_m ,$$

де T_N – трудомісткість обробки річної програми дільниці, год;
 $\Phi_{dp} = 1820$ – дійсний річний фонд часу робітника, год [10];
 $K_m = 1,3$ – коефіцієнт багатостанкового обслуговування [10];
 $K_z \cdot K_b = 0,85$ – коефіцієнт завантаження та використання обладнання [10];
 Так як $T_N = F_d \cdot m \cdot K_z = 4029 \cdot 9 \cdot 0,8 = 29008,8$ год

$$P_g = \frac{29008,8 \cdot 0,85}{1,3 \cdot 1820} = 10,4$$

Приймаємо чисельність основних робітників рівну 10 чоловік.

Кількість наладчиків звичайно складає один наладчик на 2...8 одиниць устаткування [10]. Приймаємо кількість наладчиків – 2.

Кількість слюсарів становить 2...3% від P_b [10].

Тобто $P_{сл} = (0,02 \dots 0,03)P_b = 0,03 \cdot 10 = 0,3$. Приймаємо – 1 чол.

Всього основних робітників на дільниці $P_o = P_b + P_n + P_{сл} = 10 + 2 + 1 = 13$ чол.

Допоміжні робітники складають у серійному виробництві 15...25% від кількості основних робітників [10].

$$P_d = (0,15 \dots 0,25)P_o = 0,2 \cdot 13 = 2,6 \approx 3 \text{ чоловіка.}$$

Число керівників, фахівців та службовців визначаємо у відсотках від загальної кількості робітників підрозділу виробництва, відповідно з рекомендаціями джерела [10]: 10...12%; 2,3...3,8%; та 1,5...3% відповідно.

$$P_{кер} = (P_{вер} + P_{доп}) \cdot 0,1 = (10 + 3) \cdot 0,1 = 1,3. \text{ Приймаємо 2 чол.}$$

$$P_{фах} = (P_{вер} + P_{доп}) \cdot 0,035 = (10 + 3) \cdot 0,035 = 0,45. \text{ Приймаємо 1 чол.}$$

$$P_{служ} = (P_{вер} + P_{доп}) \cdot 0,03 = (10 + 3) \cdot 0,03 = 0,39. \text{ Приймаємо 1 чол.}$$

Всього працюючих на дільниці:

$$P_{цеху} = P_o + P_d + P_{кер} + P_{фах} + P_{служ} = 13 + 3 + 2 + 1 + 1 = 20 \text{ працівників.}$$

4.3. Розрахунок виробничої площі дільниці

Кількість основного технологічного обладнання дільниці визначається за технологічним процесом у відповідності з вибраним типом виробництва і

формою організації виробництва [10]. За результатами розрахунків п.4.1 складаємо специфікацію обладнання на дільниці (таблиця 4.2).

Таблиця 4.2 – Специфікація основного технологічного обладнання дільниці

Назва верстату	Модель	Кількість
Вертикально – свердлильний	2Н125	1
Вертикально – свердлильний	2Н125	1
Токарно-гвинторізний	16К20	1
Токарний з ЧПК	СК6150	1
Різьбонакатний	А 2528	1
Вертикально – свердлильний	2Н125	1
Кругло-шліфувальна	3М151	1
Горизонтально-фрезерна	6Р82Г	1
Горизонтально-фрезерна	6Р82Г	1
Всього		9

Виробнича верстатна площа визначається на основі планування обладнання. Оскільки всі верстати на дільниці відносяться за габаритами до середніх, то питома площа на 1 верстат становить 25 м^2 [10]. Тоді площа дільниці механічної обробки важеля складає $F = 9 \cdot 25 = 225 \text{ м}^2$.

Площа проходів та проїздів становить 10% від виробничої площі дільниці [10], тобто $225 \cdot 0,1 = 22,5 \text{ м}^2$.

Загальна площа дільниці $F = 225 + 22,5 = 247,5 \text{ м}^2$. Приймаємо 300 м^2 .

На основі проведених вище розрахунків визначено основні техніко-економічні показники дільниці (таблиця 4.3).

Таблиця 4.3.– Основні техніко-економічні показники дільниці

Найменування показників і одиниці вимірювань	По дільниці
1	2
Загальні показники (основні данні)	
1. Найменування виробу	Важіль
2. Річна програма випуску, т.	61,5
3. Працесмність виготовлення, год.	21745
4. Кількість основного обладнання, шт.:	
- дрібного	-
- середнього	9
- крупного	-
- особливо крупного	-
- всього	9
5. Тип виробництва	багатосерійний
6. Кількість робітників, чол.:	
- основних	13
- допоміжних	3
- керівники	2
- фахівці	1
- службовці	1
- всього	20
7. Виробничі площі, м ² :	
- основного виробництва	250
- проїздів	25,5
- в всього (прийнято)	300
Питомі показники (відносні)	
1. Середній коефіцієнт завантаження обладнання	0,26
2. Питома площа на один основний верстат, м ² :	
- загальна	33,3
- виробнича	27,7
3. Річний випуск на один основний верстат, верстато-год.	2416
4. Річний випуск на одного основного робітника, верстато-год.	1673
5. Питома площа на одного основного робітника, м ² .	23,1

4.4. Технологічне планування дільниці

Виробничі площі дільниці розміщуються у цеху – одноповерховій безкрановій будівлі прямокутної форми з сіткою колон 24×12м та висота прольоту 7,2 м. Для бокових світлових проїмів використовуються віконні рами із метало пластикових матеріалів із заповненням їх великорозмірним листовим склом, з використанням сонцезахисних пристроїв. Підлога на

дільниці виконана з полімерцетметним покриттям, яке допускає технологічне навантаження $3...5 \text{ т/м}^2$, використання води, мінеральних масел і емульсій і має низьку трудомісткість очищення [10].

План дільниці виконано в масштабі 1:100 з використанням САПР [11]. Дільницю обробки важеля розташовуємо за складом заготовок. Верстати на дільниці розташовуємо за ходом технологічного процесу в одну лінію вздовж проходу шириною 2000 мм. Для забезпечення безпечних умов роботи, а також повноцінного обслуговування витримуємо відстані між верстатами в залежності від габаритів верстату [12]. Відстані між верстатами та відстані від стіни або колон до верстатів вказуємо від зовнішніх габаритів верстатів включаючи крайні положення рухомих частин, постійні огороження, електрошафи і пульти, насоси для мастильно – охолоджуючих рідин.

4.5. Вантажопідємні і транспортні засоби на дільниці

Для перевезення однотипних деталей невеликих розмірів призначені спеціальні візки, оснащені стелажми [10].

$$\text{Кількість наземних транспортних засобів [10]} \quad \Gamma_{\text{тр.}} = \frac{M \cdot i \cdot T_m \cdot K_n}{q \cdot K_q \cdot \Phi_e \cdot 60},$$

де $M = 738 \text{ т}$ – маса перевезених вантажів;

$i = 8$ – середнє число транспортних операцій;

$T_m = 25 \text{ хв.}$ – середній час транспортування;

$K_n = 1,25$ – коефіцієнт нерівномірності подачі вантажу;

$q = 1 \text{ тонна}$ – вантажопідйомність одного транспортного засобу;

$K_q = 0,4$ – коефіцієнт використання вантажопідйомності;

$\Phi_e = 4029 \text{ годин}$ – ефективний фонд часу;

$$\Gamma_{\text{тр.}} = \frac{738 \cdot 3 \cdot 15 \cdot 0,9}{1 \cdot 0,4 \cdot 4029 \cdot 60} \approx 1 \text{ шт.}$$

Приймаємо один електрокар з підйомною платформою.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Охорона праці на дільниці виготовлення важеля К6-03.605

5.1.1. Характеристика проектної дільниці з точки зору охорони праці.

Дільниця механічної обробки згідно СНіП за пожежебезпекою відноситься до категорії “Д” [13]. На дільниці встановлено металорізальне обладнання таких груп : токарної, свердлильної, шліфувальної, різенакатної, фрезерної.

Основними заходами, які зменшують або попереджують травматизм під час роботи на дільниці є механізація технологічного процесу, всі пристрої працюють на пневматичному затиску із запобіжними клапанами, які забезпечують надійне кріплення деталей у випадку непередбаченого падіння тиску в мережі. Пульти управління на верстатах розміщені в місцях, які зручні для обслуговування. Зусилля на ручках управління не перевищують 40Н. На верстатах встановлені захисні кожухи, екрани, електричне блокування. Крім цього, на верстатах встановлені захисні кожухи на вузлах, які передають обертові моменти. Всі захисні кожухи з внутрішньої сторони фарбуються у жовтий колір, а із зовнішньої сторони наноситься знак безпеки за ДСТУ ISO 6309:2007.

Допустимий рівень шуму в приміщеннях, в тому числі і цехах холодної обробки за ДСН 3.3.6.037-99 складає 71 ... 90 дБ [14]. Основними заходами, які захищають робітників від шкідливих дій шуму і вібрацій є установка верстата на віброопори.

Кожне робоче місце обладнане інструментальною тумбочкою і дерев'яною підстилкою, а для видалення стружки з верстата застосовуються спеціальні вмонтовані у верстати шнекові і магнітні транспортери, а на свердлильних верстатах – спеціальні гачки і щітки.

В цехах, де розміщені металорізальні верстати, застосовується комбіноване освітлення. Освітленість на підлозі для загального освітлення повинна бути не

менше 50 лк для ламп накаливання і не менше 150 лк для люмінесцентних ламп незалежно від місцевого освітлення [13].

5.1.2. Вимоги до метеоумов на ділянці.

Виробнича площа ділянки складає 225 м², що утворює об'єм будівлі 1620 м³. Число працюючих - 9 чол. Згідно ДБН 245 (ДСТУ 3211:2009) на одного працюючого повинно приходиться 15 м³ об'єму і 4,5 м² площі. Потреба в об'ємі 135 м³ і площі 40,5 м². Виходячи з розмірів проектної ділянки, вона повністю відповідає вимогам.

На ділянці механічної обробки виникають фактори, які шкідливо впливають на організм людини.

Основною причиною забрудненості повітря на ділянці є пил, який утворюється в процесі обробки, а також аерозоль від мастильно-охолоджувальних матеріалів під час процесу різання. На виробничій ділянці гранично допустима концентрація пилу складає до 6 мг/м³ [15]. Для усунення вищезгаданих недоліків і виконання норм гранично допустимих концентрацій на верстатах встановлено місцеву витяжну вентиляцію, яка в процесі механічної обробки витягує пил і аерозоль із зони різання і подає повітровідводами в спеціальні циклони.

Великий вплив на організм людини несе температура і вологість середовища, в якому працює працівник. Згідно ДСН 3.3.6.042-99 температура і вологість повітря повинні відповідати параметрам табл. 5.1.

Таблиця 5.1.— Допустимі норми температури, відносної вологості і швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень в машинобудуванні

Період року	Категорія робіт	Температура, С ⁰	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря V, м/с
Холодний і перехідний	Легка - 1	20...23	40 ... 60	0,2
Теплий	Легка - 1	22...25	40 ... 60	0,2

У виробничому приміщенні температура в теплий період підтримується за рахунок витяжно – приточної вентиляції. В холодний і перехідний періоди температура в приміщенні підвищується за рахунок опалення, для чого застосовуються теплові нагнітаючі калорифери.

5.1.3. Основні заходи екологічного забезпечення технологічного процесу.

Одним із основних напрямків боротьби за збереження середовища є обеззараження промислових відходів, які забруднюють ґрунт, воду і повітря і представляють собою реальну загрозу для екології. Однак, в даний момент достатньо повне обеззараження і ліквідація відходів не проводиться. Недостатній рівень виробництва приводить до того, що значна частина сировини, деколи до 70...90 % і більше, не використовується, перетворюючись у відходи виробництва [16]. Механічна обробка металів на верстатах в механічних цехах супроводжується виділенням пилюки, стружки, туманів, масел і емульсій, які через вентиляційну систему викидаються з приміщення. Пил, що утворюється в процесі абразивної обробки складається на 30...40% з матеріалу абразивного круга і на 60...70% матеріалу оброблювального матеріалу.

Для очищення від пилу, враховуючи особливості виробництва важеля, необхідно використовувати пиловловлювачі 1 класу, за умови вловлювання пилу розміром більше 0,3 мкм і ефективністю пиловловлювання 0,8 [16]. Різновидом пиловловлювачів, які широко застосовуються в машинобудуванні, є циклони.

Для очистки технологічних газів і вентиляційного повітря використовуються потерчаті рукавні фільтри.

Для очищення стоків використовуються механічні методи (проціджування, відстоювання, фільтрування).

Для зниження шуму застосовується акустична обробка, а також екранування джерела шуму шляхом встановлення між джерелом і робочим місцем звуковідбиваючого екрану.

5.2. Заходи протипожежної безпеки

Виробництва механічної обробки доволі часто відрізняються підвищеною пожежною небезпекою через наявність великої кількості виробничого обладнання, наявності МОР, великої оснащеності електрообладнання.

З метою зменшення небезпеки виникнення пожежі пропонується ряд заходів:

- 1) будівлі виробничих приміщень повинні бути виконані із вогнестійких матеріалів (категорія вогнестійкості Д);
- 2) правильне планування розташування приміщень;
- 3) наявність евакуаційних виходів;
- 4) наявність протипожежної сигналізації та системи вентиляції;
- 5) заземлення і занулення обладнання під струмом;
- 6) наявність засобів пожежегасіння (пожежні щити, вогнегасники);
- 7) легко займисті речовини повинні зберігатися в спеціальній тарі.

Основною причиною виникнення пожежі під час роботи верстатів є коротке замикання електрообладнання, що є в наявності в конструкціях верстатів. З метою уникнення даних випадків передбачено заземлення і занулення струмопровідних частин верстатів.

Не допускається експлуатація верстатів в разі несправного електрообладнання, пошкоджені ізоляції, наявності масляних підтікань.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

На основі аналізу проведеної роботи, щодо забезпечення підвищення продуктивності механічної обробки важеля К6-03.605 для умов серійного виробництва, можна зробити наступні висновки:

- В якості заготовки раціонально використовувати гарячу штамповку.
- Спроектований технологічний процес для умов серійного виробництва з використанням верстату з ЧПК та різенакатного.
- Проведені теоретичні обґрунтування запропонованих методів та форм обробки.
- Спроектоване спеціальний пристрій для одночасного фрезерування 4-х деталей, що забезпечує задану точність і якість обробки деталі та зменшує трудомісткість та підвищує продуктивність обробки.
- Спроектована дільниця для механічної обробки забезпечить задану програму випуску і безпечну роботу працюючих.
- Розроблені засоби безпеки виробництва та розглянуті питання охорони праці.

Запропонований технологічний процес виготовлення важеля К6-03.605 є доцільним за продуктивністю оскільки передбачає використання верстатів з ЧПК, що зменшує трудомісткість обробки та її вартість.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гальчук Т.Н. Technological fundamentals of mechanical engineering: електроний навчальний посібник для студентів спеціальності 131 – „Прикладна механіка” денної та заочної форм навчання. Луцьк: ЛНТУ, 2023. 430 Мб.
URL: https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/%D0%93%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D1%87%D1%83%D0%BA/index.html
2. Кальченко , В. В., Венжега , В. І., Кужельний , Я. В., & Клименко, В. І. Технологічні методи підвищення якості та продуктивності обробки деталей двигунів автомобілів. Автомобільний транспорт. 2023. №52. С. 25–31.
URL: <https://doi.org/10.30977/AT.2219-8342.2023.52.0.03>
3. Марочник сталі та сплавів – закордонні аналоги. URL: http://www.splav-kharkov.com/analog/zm_tabl_rus.php (дата звернення: 22.03.2026).
4. Гущин О. В. Технологічні методи виробництва заготовок деталей машин : посібник для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 131 – «Прикладна механіка» спеціалізації «Технології машинобудування». Краматорськ: ДДМА, 2019. 159 с.
5. Рудь В. Д., Божко Т. Є., Гальчук Т. Н. Методологія підготовки випускної роботи за спеціальністю 131- Прикладна механіка (освітній рівень – бакалавр; спеціалізація – технології машинобудування): навчальний посібник. Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2017. 487с.
6. Паливода Ю. Є. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки : навчально-методичний посібник. Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2019. 240 с.
7. Гальчук Т.Н. Розрахунок режимів різання в системах автоматизованого проектування: Збірник наукових праць VIII міжнародної науково-технічної конференції з проблем вищої освіти і науки ТК-2024 «Прогресивні напрямки розвитку автоматичних технологічних комплексів». Луцьк: ЛНТУ, 2024. С.170-171. URL: <http://t-komplex.net.ua/ua/authors/>

8. Гальчук Т.Н. Оптимізація конструкції пристрою для досягнення точності базування багатоступінчатих валів. Перспективні технології та прилади. 2023. №23. С.17-22. DOI: <https://doi.org/10.36910/10.36910/6775-2313-5352-2023-23-03>

9. Боровик А.І. Технологічна оснастка механоскладального виробництва: підручник. К.: Кондор, 2024. 726 с.

10. 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: 10.04.2024).

11. Гальчук Т.Н. Використання систем автоматизованого проектування для планування підрозділів машинобудівного виробництва. Наукові нотатки. 2022. №74. С.58-62. DOI: <https://doi.org/10.36910/775.24153966.2022.74.9>

12. Вимоги до розміщення виробничого обладнання і організація робочих місць. URL: <http://do.gendocs.ru/docs/index-24983> (дата звернення: 15.04.2026).

13. Основи охорони праці : підручник / М. С. Одарченко та ін. Х. : Стиль-Издат, 2017. 334 с.

14. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=48147 (дата звернення: 16.05.2026).

15. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: <https://dnaop.com/html/34094> (дата звернення: 20.05.2026).

16. Стищенко Т. Є., Пронюк Г. В. Сердюк Н. М. та ін. Безпека життєдіяльності: навч. посібник. Харків : ХНУРЕ, 2018. 336 с.

ДОДАТКИ