

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)
кафедра інжинірингу машинобудівних технологій
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр
(назва освітнього ступеня)
на тему: Розроблення технологічного процесу механічного оброблення
перехідника рульової рейки автомобіля

Виконав(ла): студент(ка) IV курсу, групи МП-41
спеціальності 131 «Прикладна механіка»

	(шифр і назва спеціальності)	
	<u>Дембовський М.С.</u>	
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Керівник	<u>Паньків М.Р.</u>	
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	<u>Дячун А.Є.</u>	
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	<u>Окіпний І.Б.</u>	
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Рецензент	<u></u>	
	(підпис)	(прізвище та ініціали)

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

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

Кафедра інжинірингу машинобудівних технологій

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Окіпний І.Б.

(підпис)

(прізвище та
ініціали)

« _____ » _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 131 Прикладна механіка

(шифр і назва спеціальності)

студенту Дембовський Максим Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

- Тема роботи Розроблення технологічного процесу механічного оброблення перехідника
рульової рейки автомобіля

Керівник роботи Паньків Марія Романівна, д.т.н., професор

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 21 » січня 2026 року № 4/9-26.

- Термін подання студентом завершеної роботи 12 червня 2026 року

- Вихідні дані до роботи базовий технологічний процес виготовлення перехідника,
річний випуск деталей N = 6 000 шт

- Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Реферат. Зміст. Вступ. Загально-технічна частина. Технологічна частина.

Конструкторська частина. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

Висновки. Перелік посилань.

- Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Карти технологічного процесу. Креслення патрон, Кондукторна плита.

Шестишпіндельна свердлильна головка.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Безпека життєдіяльності та основи охорони праці</i>	<i>Комар Р.В., к.т.н, доцент</i>		

7. Дата видачі
завдання

3 лютого 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
	<i>Реферат</i>	<i>05.02.2026</i>	
	<i>Зміст</i>	<i>07.02.2026</i>	
	<i>Вступ</i>	<i>14.02.2026</i>	
	<i>Аналітична частина</i>	<i>26.02.2026</i>	
	<i>Технологічна частина</i>	<i>18.02.2026</i>	
	<i>Конструкторська частина</i>	<i>03.06.2026</i>	
	<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>07.06.2026</i>	
	<i>Висновки</i>	<i>09.06.2026</i>	
	<i>Перелік посилань</i>	<i>10.06.2026</i>	
	<i>Графічна частина</i>	<i>18.06.2026</i>	

Студент

(підпис)

Дембовський М.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Паньків М.Р.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

КРБ передбачає проектування технологічного процесу механічної обробки деталі, технологічного оснащення для її виготовлення, опис заходів по охороні праці та безпеці життєдіяльності.

Аналітична частина включає аналіз технічних умов креслення, аналіз базового технологічного процесу і ставить основні задачі на дипломне проектування.

Технологічна частина проекту включає необхідні технологічні обґрунтування, розрахунки, розробку технологічного маршруту виготовлення деталі, вибір заготовки та розрахунок припусків, режимів різання, вибір різального та вимірювального інструменту, розрахунок необхідного обладнання для забезпечення технологічного процесу і інші технологічні рішення та їх обґрунтування.

Конструкторська частина проекту передбачає проектування технологічних та контрольних пристроїв, інструменту, наладок, їх конструкторські розрахунки.

Намічено ряд заходів по охороні праці та техніці безпеки працівників.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	6
1.1 Характеристика об'єкта виробництва	6
1.2. Аналіз базового (типового) технологічного процесу	6
1.3. Характеристика проектного варіанту технологічного процесу ..	7
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	9
2.1 Попереднє встановлення типу та організаційної форми виробництва	9
2.2 Відпрацювання деталі на технологічність	11
2.3 Вибір способу отримання заготовки	13
2.4 Вибір та розрахунок обґрунтування баз	14
2.5 Визначення допусків, припусків та операційних розмірів	18
2.6 Розрахунок режимів різання, вибір обладнання та оснащення ..	22
2.7 Нормування технологічного процесу, уточнення типу виробництва	79
3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	39
3.1 Проектування технологічного оснащення	46
3.2 Розрахунок на точність	46
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ ..	50
4.1 Основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори за умови впровадження об'єкта проектування у виробництво	53
4.2 Джерела виникнення травматизму та професійних захворювань	54
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	57
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	58
ДОДАТКИ	60

ВСТУП

Загальною тенденцією розвитку сучасного машинобудування являється часткова заміна діючих машин новими, більш точними і вдосконаленими.

Метою дипломного проекту є набуття і закріплення навиків самостійного застосування студентами одержаних теоретичних знань до вирішення цілого ряду інженерних задач: технологічних, конструкторських та науково дослідних.

Основною задачею дипломного проектування є розробка технологічного процесу, який би при використанні з розрахованого обладнання та оснащення, прийнятих оптимальних значеннях режимів різання, зменшенні основного та штучного часу дав би мінімальні витрати на виготовлення даної деталі.

Детальна розробка механічної дільниці для обробки вище вказаної деталі, при технологічному напрямку дипломного проектування, дасть можливість вдосконалення зменшення кількості верстатів, робітників і відповідно і витрат на виробництво.

При розробці дипломного проекту слід використовувати, по можливості, сучасні методи обробки та високопродуктивне обладнання.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Характеристика об'єкта виробництва

Одним із складальних елементів вузла є перехідник. Перехідник є базовою деталлю виробу, на якій монтуються окремі складальні одиниці і деталі. Деталь повинна забезпечувати: постійність точності відносного положення деталей і механізму як і в статичному стані, так і в процесі експлуатації виробу, плавність роботи і відсутність вібрації.

До даної деталі висувають високі вимоги до точності і жорсткості поверхонь, які є приєднувальним. До всіх інших – вимоги не досить високі.

Характерною особливістю деталі є наявність великої кількості кріпильних отворів.

На деталі з двох сторін що знаходяться кріпильні отвори: 6 отворів Н20, 6 отворів Н12 та 8 отворів діаметром 9 мм – на ці розміри не встановлено високі вимоги точності.

Крім цього на діам.380 мм знаходиться отвір діам.18 Н8. Вимоги до точності виготовлення цього отвору ґрунтуються на тому, що в цей отвір входить фіксатор і від нього задається розташування інших кріпильних отворів.

Крім цього, на деталі знаходяться отвори діаметрами 4 мм та 10 мм вимоги до яких невисокі, тому перший передбачений для виведення провідника, а другий – ремболта.

1.2 Аналіз базового (типового) технологічного процесу

По заводському технологічному процесу, заготовка отримується методом литва в земляні форми. Виходячи із завдання дипломного проекту, креслення деталі та річної програми випуску, раціональніше отримувати заготовку литвом в кокіль.

При литві в земляні форми не завжди вдається необхідне отримання конструктивних елементів перехідника – насамперед вікон.

Заготовка в загальному відповідає кресленню, але із значно більшими припусками на обробку ніж при литві в кокіль.

В заводському технологічному процесі передбачено фрезерування ливників як окрему операцію в механічному цеху, що необхідно робити в заготівельному цеху.

Вказана послідовність ходу технологічного процесу з точки зору необхідної точності можлива для сприйняття, але деякі операції укрупнені, використовується широко універсальне обладнання таке як горизонтально-розточне, координатно-розточне, отвори обробляються на радіально-свердлильному обладнанні. Обробка деяких поверхонь проводиться за розміткою.

В діючому технологічному процесі не на всі операції вказано базування деталі. В загальному послідовність обробки дозволяє отримати необхідну точність, але поряд з цим обробка проводиться на малопродуктивному обладнанні, степінь оснащеності досить низька.

Всі ці фактори призводять до збільшення основного і допоміжного часу. Це в свою чергу призводить до збільшення витрат на обслуговування верстатів, виплати робітникам зарплатні і т.д.

Аналізуючи існуючий технологічний процес приходимо до висновку, що є можливість значного його вдосконалення, застосування спеціального обладнання з метою скорочення основного і допоміжного часу, високопродуктивних методів, нових технологій.

1.3 Характеристика проектного варіанту технологічного процесу

В проектному варіанті існують деякі переваги відносно базових. Зокрема в базовому варіанті використовують литво в піщано-глинясті форми, яке саме по собі недоцільне так як матеріал марки АЛ9 досить дорогий, а маса заготовки отримується 12,8 кг. В проектному ми застосували литво в кокіль і тим самим економимо матеріал заготовка (11,8кг) і грошові фонди.

Ця заміна економить 4,5 тис. гривень в рік. Також було зменшено кількість верстатів і замінено їх на більш дешеві і продуктивніші для нашого технологічного процесу. В маршрут обробки було також внесено свої корективи, які дали позитивні результати.

При цьому механічні і фізичні властивості залишилися на тому ж рівні, а можливо в деякій мірі покращилися. При розрахунках порівняльної економії ефективності використовується показник ефективності по приведених затратах.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Попереднє встановлення типу та організаційної форми виробництва

Тип виробництва характеризується коефіцієнтом закріплення операцій за одним робочим місцем або одиницею обладнання.

Тип виробництва визначається коефіцієнтом

$$K_{zo} = \frac{Q}{P_m}, \quad (2.1)$$

де Q – число різних операцій;

P_m – число робочих місць, на яких виконуються дані операції.

За попереднім визначенням тип виробництва – середньосерійний.

Визначаємо $T_{шт.к}$ – штучно-калькуляційний час

$$T_{шт.к} = T_o \cdot \varphi_k, \quad (2.2)$$

де φ_k – коефіцієнт, який залежить від типу виробництва, методу обробки поверхонь, $\varphi_k = 2,0$ – для умов серійного виробництва.

Основний технологічний час згідно діючого технологічного процесу перехідника

1. Токарна операція:

$$\sum T_o = 15 \text{ хв.}$$

2. Свердлильна операція:

$$\sum T_o = 8,25 \text{ хв.}$$

3. Фрезерна операція:

$$\sum T_o = 8,8 \text{ хв.}$$

Тоді

$$T_{шт.к\text{фр}} = 8,8 \cdot 1,51 = 13,3 \text{ хв.},$$

де $\varphi_k = 1,51$.

$$T_{um_{\Gamma_{OK}}} = 15 \cdot 1,36 = 20,4 \text{ хв.}$$

де $\varphi_k = 1,36$.

$$T_{um_{св}} = 8,25 \cdot 1,41 = 11,63 \text{ хв.}$$

де $\varphi_k = 1,41$.

Визначаємо кількість верстатів

$$m_p = \frac{N \cdot T_{um-k}}{60 \cdot F_g \cdot \eta_n} \quad (2.3)$$

де N – річна програма випуску, шт.;

F_g – дійсний фонд часу, год.;

η_n – нормативний коефіцієнт завантаження обладнання.

Річний випуск деталей $N = 6\,000$ шт.

Річний дійсний фонд роботи обладнання прийнятий $F_g = 4015$ год.

Нормативний коефіцієнт завантаження обладнання для серійного виробництва приймаємо $\eta_{zn} = 0,75$ [1].

Визначаємо кількість верстатів по кожній операції:

$$1. m_{p1} = \frac{6000 \cdot 20,4}{60 \cdot 4015 \cdot 0,75} = 0,67.$$

Свердлильна (2 операції) приймаємо:

$P = 1$ верстат.

$$2. m_p = \frac{6000 \cdot 11,63}{60 \cdot 4015 \cdot 0,75} = 0,38.$$

Свердлильна (4 операції) приймаємо:

$P = 1$ верстат.

$$3. m_p = \frac{6000 \cdot 13,3}{60 \cdot 4015 \cdot 0,75} = 0,44.$$

Фрезерна (2 операції) приймаємо:

$P = 1$ верстат.

Для кожної операції визначається фактичний коефіцієнт завантаження робочого місця.

Розрахунок проводимо за формулою:

$$\eta_{\phi} = m_p / p. \quad (2.4)$$

$$\eta_{\phi 1} = 0,67; \quad \eta_{\phi 2} = 0,38; \quad \eta_{\phi 3} = 0,44.$$

Вказуємо кількість операцій, що виконуються на даному робочому місці:

$$Q = \eta_n / \eta_{\phi}. \quad (2.5)$$

$$Q_1 = \frac{0,75}{0,67} = 1,2; \quad Q_2 = \frac{0,75}{0,38} = 1,9; \quad Q_3 = \frac{0,75}{0,44} = 1,7.$$

$$\text{Отже, } K_{zo} = \frac{1+1+1}{1+1+1} = 1 - \text{виробництво багатосерійне.}$$

2.2 Відпрацювання деталі на технологічність

Для визначення технологічності конструкції проводимо аналіз, в який входить якісна і кількісна оцінки технологічності деталі.

На шести отворах Н12-7Н вказано фаску $1 \times 45^\circ$, обробка якої зв'язана з великими труднощами внаслідок неможливого підводу інструменту і тому фаску $1 \times 45^\circ$ потрібно виконувати з іншої сторони.

В технічних вимогах відсутній пункт-розміри забезпечуються інструментом, та пункт про допуски на розміри, відхилення на які не вказано на кресленні.

Конструкція деталей дає можливість проводити обробку точних поверхонь діаметром 230 мм, діаметром 350 мм по торцю деталі за одну установку, тому радіальне і торцеве биття поверхні діаметром 350 мм до поверхні діаметром 230 мм буде мінімальне і залежатиме від точності верстату.

Кількісну оцінку технологічності конструкції деталі проводять за наступними показниками:

1. Працездатність виготовлення:

$$K_{n.g} = \frac{P_{np}}{P_o}, \quad (2.6)$$

де Π_{np} – працеемність проектного варіанту;

Π_{δ} – працеемність базового варіанту.

$$K_{n.e} = \frac{374294}{445917} = 0,83.$$

2. Технологічна собівартість:

$$K_{m.c} = \frac{C_{cp}}{C_{\delta}}, \quad (2.7)$$

де C_{np} – собівартість проектного варіанту;

C_{δ} – собівартість базового варіанту.

$$K_{m.c} = \frac{725663}{732002} = 0,99.$$

3. Коефіцієнт уніфікації:

$$K_{yn.en} = \frac{Q_{yn.en}}{Q_{zag.en}}, \quad (2.8)$$

де $Q_{yn.en}$ – кількість уніфікованих елементів деталі;

$Q_{zag.en}$ – загальна кількість елементів деталі.

$$K_{yn.en} = \frac{63}{63} = 1.$$

Коефіцієнт уніфікації розрахунковий повинен бути більший за коефіцієнт уніфікації нормативний, який рівний 0,6.

В даному випадку умова виконується.

4. Коефіцієнт точності обробки:

$$K_{mr} = \left(1 - \frac{1}{A_{cep}} \right), \quad (2.9)$$

де $A_{cep} = \frac{n_1 + 2n_2 + \dots + 19n_{19}}{\sum_{i=1}^{19} n_i}$ – середня точність обробки.

$$A_{cep} = \frac{11 \cdot 7 + 18 \cdot 8 + 9 \cdot 9}{51} = 7,8; \quad K_{mr} = \left(1 - \frac{1}{7,8} \right) = 0,9.$$

Коефіцієнт точності обробки розрахунковий повинен бути більший за коефіцієнт точності обробки нормативний, який рівний 0,8.

В даному випадку умова виконується.

5. Коефіцієнт якості обробки:

$$K_{\text{ш}} = \frac{1}{B_{\text{сер}}}; \quad (2.10)$$

$$B_{\text{сер}} = \frac{0,01n_1 + \dots + 80n_{14}}{\sum_{i=1}^{14} n_i} - \text{середня шорсткість по ряду } R_a, \text{ мкм.}$$

$$B_{\text{сер}} = \frac{1,5 \cdot 20 + 6,3 \cdot 18 + 2,5 \cdot 19}{63} = 6,5;$$

$$K_{\text{ш}} = \frac{1}{6,5} = 0,15.$$

Коефіцієнт якості обробки розрахунковий повинен бути менший за коефіцієнт якості обробки нормативний, який рівний 0,32.

В даному випадку умова виконується.

6. Коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_{\text{в.м}} = \frac{m_g}{m_{\text{заг}}}, \quad (2.11)$$

де m_g – маса деталі;

$m_{\text{заг}}$ – маса заготовки.

$$K_{\text{в.м}} = \frac{11}{11,8} = 0,93.$$

В результаті якісної і кількісної оцінок деталі на технологічність із врахуванням зауважень робимо висновок, що в цілому деталь технологічна.

2.3 Вибір способу отримання заготовки

Заготовку отримуємо із сплаву АЛ9 методом литва. Найбільш розповсюджені такі методи лиття: під тиском, в земляні форми, в кокіль. Вибір способу отримання виливка залежить від її маси, серійності, складності.

При виборі литої заготовки в першу чергу визначаємо клас точності, який залежить від масштабу виробництва.

Економічне обґрунтування виробу заготовки проводимо за формулою:

$$S_{\text{заг}} = (C_i/100 \times Q_i \cdot k_T \cdot k_c \cdot k_b \cdot k_m \cdot k_n) - (Q_i - q) \cdot S_{\text{від}}/1000, \quad (2.12)$$

де C_i – базова ціна 1 т заготовок (грн.) [1];

k_m, k_c, k_b, k_m, k_n – коефіцієнти, які залежать від класу точності; групи складності, маси, марки матеріалу, об'єму виробництва [1];

Q_i – маса заготовки, кг;

q – маса деталі, кг;

$S_{\text{відх}}$ – ціна 1 т відходів, грн [1].

Для литва в земляні форми [1]:

$C_i=39000$ грн.; $Q=12,8$ кг; $q=11$ кг; $K_T=1,03$; $K_c=0,89$; $K_b=0,94$; $K_m=3,1$;

$K_n=0,9$; $S_{\text{відх}}=4200$ грн/т;

$$S_{\text{заг}} = \left(\frac{39000}{1000} \cdot 12,8 \cdot 1,3 \cdot 0,89 \cdot 0,94 \cdot 3,1 \cdot 0,9 \right) - (12,8 - 11) \cdot 42,0 = 952,4 \text{ грн.}$$

Для литва в кокіль [1]:

$C_i=35000$ грн., $Q=11,8$ кг; $q=11$ кг; $K_T=1,03$; $K_c=0,89$; $K_b=0,94$; $K_m=3,1$;

$K_n=0,9$; $S_{\text{відх}}=42,0$ грн/кг.

$$S_{\text{заг}} = \left(\frac{35000}{1000} \cdot 11,8 \cdot 1,3 \cdot 0,89 \cdot 0,94 \cdot 3,1 \cdot 0,9 \right) - (12,8 - 11) \cdot 42,0 = 919,0 \text{ грн.}$$

Економічний ефект рівний:

$$E_3 = (S_1 - S_2) \times N = (952,4 - 919,0) \times 6000 \text{ грн.}$$

2.4 Вибір та розрахункове обґрунтування баз

Від вибору технологічних баз залежить конструктивність обробки, трудомісткість та собівартість виготовлення.

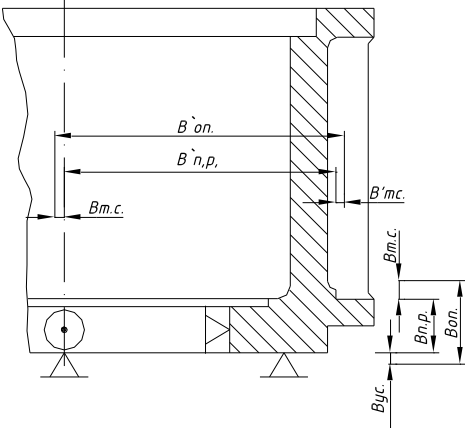
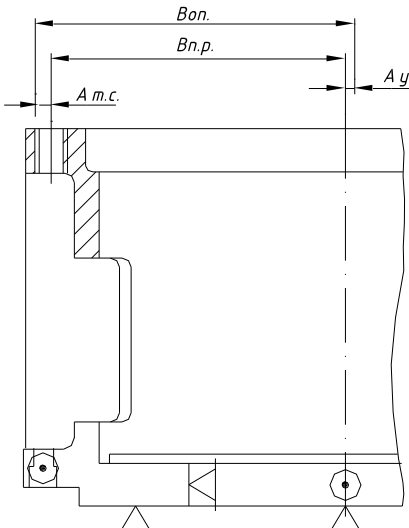
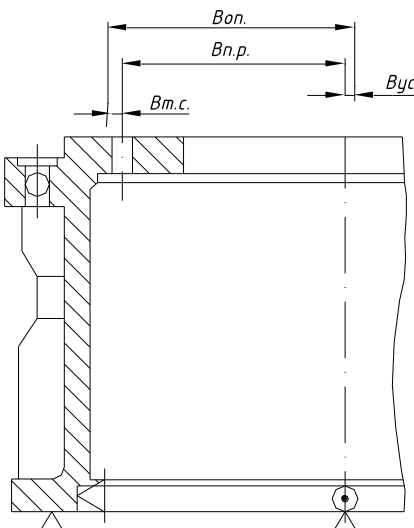
В якості чорнової технологічної бази вибираємо поверхню, відносно якої при першій операції можуть бути оброблені поверхні.

Ці поверхні використовуються як технологічні операції на наступних операціях.

Розрахунки оформляємо у вигляді таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Вибір баз

№оп.	Ескіз операції	Розрахунок похибок обробки
1	2	3
005		$\omega_{A_{он}} = \omega_{н.р.} + \omega_{м.с.} + \omega_{уст}$ $\omega_c = \omega_{н.р.} + \omega_{м.с.} = 0,02 \text{ мм}$ дод. [1] $\omega_{уст} = 0,08 \text{ мм}$ [1] ст.. 75 $\omega_{A_{он}} = 0,28 \text{ мм}$ $T_{A_{он}} = 0,38 \text{ мм}$ (Н11) $\omega_{B_{он}} = \omega'_{н.р.} + \omega'_{м.с.} + \omega_{уст}$ $\omega_c = \omega_{н.р.} + \omega_{м.с.} = 0,17 \text{ мм}$ [3] дод.6 $\omega_{уст} = 0,08 \text{ мм}$ $\omega_{B_{он}} = 0,25 \text{ мм}$ (Н9) $T_B = 0,25 \text{ мм}$
010		$\omega_{A_{он}} = \omega_{н.р.} + \omega_{м.с.} + \omega_{уст}$ $\omega_c = \omega_{н.р.} + \omega_{м.с.} = 0,17 \text{ мм}$ [3] дод.6 $\omega_{уст} = 0 \text{ мм}$ (в якості чистової бази використовується оброблена поверхня) $\omega'_{A_{он}} = 0,17 \text{ мм}$ $T_A = 0,15$ $\omega'_{A_{он}} = \omega'_{н.р.} + \omega'_{м.с.} + \omega'_{уст} = \omega'_{н.р.} + \omega'_{м.с.}$ $\omega'_c = \omega'_{н.р.} + \omega'_{м.с.} = 0,17 \text{ мм}$ [3] дод.6 $\omega_{B_{он}} = \omega_{н.р.} + \omega_{м.с.} + \omega_{уст}$ $\omega_{уст} = 0,1 \text{ мм}$ [1] стор.81 $\omega_c = \omega_{н.р.} + \omega_{м.с.} = 0,08 \text{ мм}$ [3] дод.6 $\omega_{B_{он}} = 0,18 \text{ мм}$ $T_B = 0,046$ (Н7)
015		$\omega_{A_{он}} = \omega_{н.р.} + \omega_{м.с.} + \omega_{уст}$ $\omega_{уст} = 0$ $\omega_c = \omega_{н.р.} + \omega_{м.с.} = 0,15 \text{ мм}$ [3] дод.6 $\omega_{A_{он}} = 0,15 \text{ мм}$ $T_A = 0,14 \text{ мм}$ (Н10)

1	2	3
020		$\omega_{B_{on}} = \omega_{n.p.} + \omega_{m.c.} + \omega_{ycm}$ $\omega_c = \omega_{n.p.} + \omega_{m.c.} = 0,12 \text{ мм}$ [3]дод.6 $\omega_{ycm} = 0$ $\omega_{B_{on}} = 0,12 \text{ мм} \quad T_B = 0,12 \text{ мм} \quad (\text{H10})$ $\omega'_{B_{on}} = \omega'_{n.p.} + \omega'_{m.c.} + \omega_{m.c.} = 1,2 \dots 1,5 \omega_c$ $\omega_c = \omega'_{n.p.} + \omega'_{m.c.} = 0,08 \text{ мм}$ $\omega'_{B_{on}} = 1,5 \cdot 0,08 = 0,12 \text{ мм}$ $T'_B = 0,12 \text{ мм} \quad (\text{H10})$
025		$\omega_{B_{on}} = \omega_{n.p.} + \omega_{m.c.} + \omega_{ycm}$ $\omega_{ycm} = 0$ $\omega_c = \omega_{n.p.} + \omega_{m.c.} = 0,15 \text{ мм}$ $\omega_{B_{on}} = 0,15 \text{ мм} \quad T_B = 0,14 \text{ мм} \quad (\text{H10})$
030		$\omega_{B_{on}} = \omega_{n.p.} + \omega_{m.c.} + \omega_{ycm}$ $\omega_{ycm} = 0$ $\omega_c = \omega_{n.p.} + \omega_{m.c.} = 0,15 \text{ мм}$ [3]дод.6 $\omega_{B_{on}} = 0,15 \text{ мм} \quad T_B = 0,14 \text{ мм} \quad (\text{H10})$

1	2	3
035		$\omega_{B_{on}} = \omega_{н.р.} + \omega_{m.c.} + \omega_{ycm}$ $\omega_{ycm} = 0$ $\omega_c = \omega_{н.р.} + \omega_{m.c.} = 0,15\text{мм}$ $\omega_{B_{on}} = 0,15\text{мм} \quad T_B = 0,14\text{мм} \quad (\text{H10})$
040		$\omega_{B_{on}} = \omega_{н.р.} + \omega_{m.c.} + \omega'_{m.c.} = 1,2...1,5\omega_c$ $\omega_c = \omega_{н.р.} + \omega_{m.c.} = 0,12\text{мм}$ $\omega_{B_{on}} = 1,5 \cdot 0,12 = 0,18\text{мм}$ $T_B = 0,18\text{мм} \quad (\text{H10})$ $\omega_{A_{on}} = \omega_{н.р.} + \omega_{m.c.} + \omega_{ycm}$ $\omega_{ycm} = 0$ $\omega_c = \omega_{н.р.} + \omega_{m.c.} = 0,12\text{мм}$ $T_A = 0,08\text{мм} \quad (\text{H10})$
045		$\omega_{B_{on}} = \omega_{н.р.} + \omega_{m.c.} + \omega_{ycm}$ $\omega_{ycm} = 0$ $\omega_{B_{on}} = \omega_c = \omega_{н.р.} + \omega_{m.c.} = 0,15\text{мм}$ $T_B = 0,14\text{мм} \quad (\text{H10})$
050		$\omega_{B_{on}} = \omega_{н.р.} + \omega_{m.c.} + \omega_{ycm}$ $\omega_c = \omega_{н.р.} + \omega_{m.c.} = 0,12\text{мм}$ $\omega_{ycm} = 0$ $\omega_{B_{on}} = 0,12\text{мм} \quad T_B = 0,12\text{мм} \quad (\text{H10})$ $\omega'_{B_{on}} = \omega'_{н.р.} + \omega'_{m.c.} + \omega_{m.c.} = 1,2...1,5\omega_c$ $\omega_c = \omega'_{н.р.} + \omega'_{m.c.} = 0,08\text{мм}$ $\omega'_{B_{on}} = 1,5 \cdot 0,08 = 0,12\text{мм}$ $T'_B = 0,12\text{мм} \quad (\text{H10})$

2.5 Визначення допусків, припусків та операційних розмірів

Величину між операційних припусків на механічну обробку заготовки, необхідний розмір заготовки вибирають в залежності від економічної точності прийнятого способу обробки, конфігурації і виду заготовки.

Розрахунок міжопераційних припусків на механічну обробку заготовки і визначення її розмірів може проводитися статичним (табличним) і аналітичним (розрахунковим) методом.

Найменший припуск на обробку, достатній при мінімальному граничному розмірі заготовки для зовнішньої поверхні і при максимальному граничному розмірі заготовки внутрішніх поверхонь виражений в загальному за формулою такого вигляду

$$Z_i \min = (R_{zi-1} + T_{(i-1)}) + (\rho_{i-1} + E_y), \quad (2.13)$$

де $Z_i \max$ – мінімальний припуск на сторону;

$R_{z(i-1)}$ – середня висота мікронерівностей отриманих на попередньому переході;

$T_{(i-1)}$ – глибина дефектного шару поверхні, отриманого на попередньому переході;

ρ_{i-1} – векторна сума просторових відхилень взаємозв'язаних поверхонь отриманих на попередньому переході;

E_y – векторна сума похибок установки і базування деталі на даному переході.

При обробці поверхонь обертання припуск на діаметральний розмір подвоюється:

$$2Z_i \min = (R_{z(i-1)} + T_{i-1}) + (\rho_{i-1} + E_y). \quad (2.14)$$

Аналітичний розрахунок проводимо на прикладі переходу токарної операції 005.

Підрізати торець в розмір 15^{+1} мм начисто.

$P_z = 20$ мкм; $T = 20$ мкм;

$$\rho = \Delta KL = 0,7 \cdot 410 = 287 \text{ мкм};$$

$\Delta K = 0,7$ мкм/мм – питоме короблення;

$L = 410$ – максимальний розмір заготовки в мм;

$$E_3 = \sqrt{E_{\delta}^2 + E_3^2}, \quad (2.15)$$

де $E_{\delta} = 3880$ мкм – похибка базування;

$$E_3 = \sqrt{E_p^2 + E_o^2}, \quad (2.16)$$

де E_3 – похибка затиску;

E_p – радіальна складова, $E_p = 500$ мкм;

E_o – осьова складова, $E_o = 150$ мкм;

$$E_3 = \sqrt{500^2 + 150^2} = 522 \text{ мкм};$$

$$E_3 = \sqrt{3880^2 + 522^2} = 3915 \text{ мкм};$$

$$Z_{min} = 20 + 20 + 287 + 3915 = 4242 \text{ мкм}.$$

Допуск заготовки $\delta_i = 1000$ мкм.

Граничні розміри заготовки:

$$a_{min} = a_{розр} + z_{min} = 15 + 4,242 = 19,3 \text{ мм};$$

$$a_{max} = a_{min} + \delta_i = 19,3 + 1 = 20,3 \text{ мм}.$$

Граничні розміри деталі (15^{+1} мм)

$$a_{g \min} = 15 \text{ мм};$$

$$a_{g \max} = a_{g \min} + \delta = 15 + 1 = 16 \text{ мм}.$$

Граничні значення припусків

$$Z_{max} = a_{max} + a_{g \min} = 20,3 - 15 = 5,3 \text{ мм};$$

$$Z_{min} = a_{min} + a_{g \max} = 19,3 - 16 = 3,3 \text{ мм}.$$

Розрахунок інших операцій і переходів проводимо по аналогії.

Розраховані величини встановлених припусків та міжопераційних розмірів заносимо в таблицю 2.2.

Таблиця 2.3 – Припуски та міжопераційні розміри заготовки

Техноло- гічні переходи	Елементи в мм				Розроб. припуск $Z_{e\ min}$ (мкм)	Розроб. розмірів (мм)	Допуск δ_a (мкм)	Граничні розміри (мм)		Граничні знач. прип.	
	K_z	T_i	ρ_i	E_y				найбільш e	найменше	Z_{max} (мкм)	Z_{min} (мкм)
005 Токарна 1. Підрізка торця в р-р 15^{+1} мм заготовка	20 0	10 0	-	-	-	19,3	100 0	20,3	19,3	-	-
однократне точіння	20	20	287	591 5	4242	15	100 0	16	15	5300	3300
2. Розточуван ня $\varnothing$ діаметра 330 мм заготовка	20 0	10 0	-	-	-	19,3	100 0	20,3	19,3	-	-
чорнове	50	50	120 0	522	2 x 1822	319,9	570	329,9 1	329,3 7	4470	3640
чистове	20	20	27	31	2x98	330,1 4	140	330,1 4	330	630	200
3. Підрізка торця в р-р 245^{+1} мм заготовка	20 0	10 0	-	-	-	241,7	180 0	241,8	240	-	-
точіння однократне	20	20	287	391 5	4242	246	200 0	246	244	6000	2200
010 Токарна 1. Підрізка торця в р-р 260^{+1} мм заготовка	20 0	10 0	-	-	-	261,2	200 0	26,32	261,2	-	-
точіння однократне	20	20	17	210 5	2162	250	200 0	261	159	4200	200

2. Розточуван ня діам. $230^{+0,046}$ мм заготовка	20 0	10 0	-	-	-	226,5	140 0	226,2	224,8	4540	3600
чорнове	50	50	120 0	522	2x18 2	229,7	460	229,8	229,3 9	4540	3600
чистове	20	20	27	31	2x98	229,9	115	229,9	229,3 9	535	190
тонке	-	-	27	-	2x27	230,0 4	46	230,0 4	230	125	56
3. Точіння діам. $350^{-0,036}$ мм заготовка	20 0	10 0	-	-	-	355,0 5	200 0	357	355	-	-
чорнове	50	50	180 0	522	2x24 2	390,2 4	570	350,4	350,2 1	6220	4790
чистове	20	20	27	31	2x99	350,0 1	140	350,1 6	350,0 2	620	190
тонке	-	-	27	-	2x27	349,9	37	350	349,9 6	16	56
4 Підрізка торця $15^{+0,5}$ мм заготовка	20 0	10 0	-	-	-	13,33 8	900	13,4	12,5	-	-
однократне точіння	20	20	17	210 5	2165	15,5	100 0	15,5	14,5	3000	1100
015 Фрезерна 1. Фрезеруват и витр. р-р $25^{+0,5}$ мм заготовка	20 0	10 0	-	-	-	27,55	110 0	28,7	27,6	-	-
фрезеруван ня однократне	25	25	17	299 0	3657	24,5	100 0	25,5	24,5	3200	3100
040 Фрезерна заготовка	20 0	10 0	-	-	-	22,05	100 0	23,1	22,1	-	-
фрезеруван ня	25	25	17	299 0	3057	19	200 0	21	19	3100	2100

однократне											
------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Складаємо схему графічного розміщення припусків і допусків на обробку, яку покажемо на рис. 2.1.

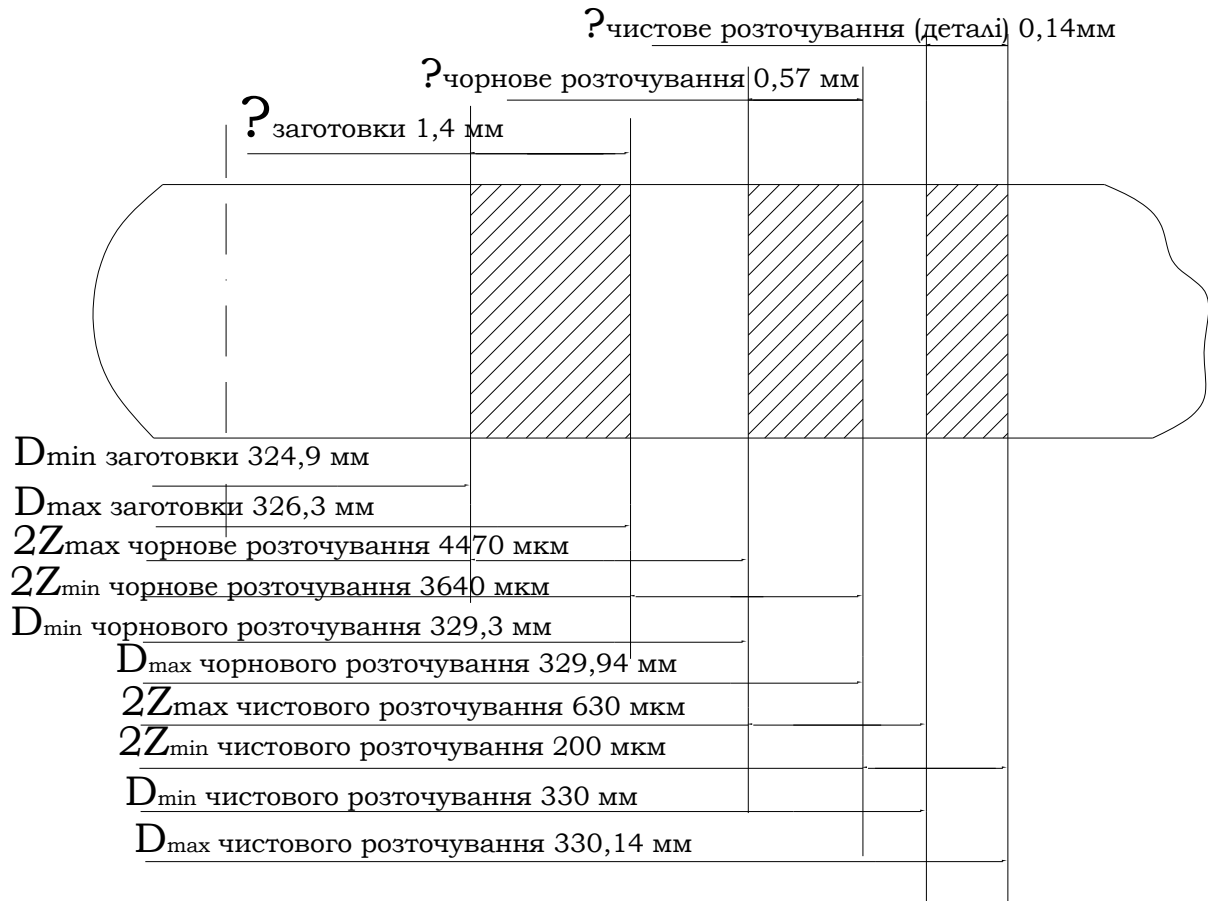


Рисунок 2.1 – Графічне зображення припусків

2.6 Розрахунок режимів різання, вибір обладнання та оснащення

Проводимо розрахунок необхідного технологічного обладнання та його завантаження:

$$C_p = \frac{N \cdot T_{шт} \cdot K}{60 \cdot F_g \cdot \eta}, \quad (2.17)$$

де $N = 6000$ шт. – річна програма випуску;

$F_g = 4015$ год. – річний фонд часу роботи обладнання;

$\eta = 0,8$ – коефіцієнт завантаження обладнання.

Операція 005.

$$1. Cp = \frac{6000 \cdot 8,3}{60 \cdot 4015 \cdot 0,8} = 0,032 \cdot 8,3 = 0,27; 2. Cp = 0,032 \cdot 2,08 = 0,65.$$

Операція 010.

$$1. Cp = 0,032 \cdot 7,8 = 0,25; 2. Cp = 0,032 \cdot 20,2 = 0,65.$$

Операція 015.

$$1. Cp = 0,032 \cdot 1,9 = 0,1; 2. Cp = 0,032 \cdot 1,9 = 0,1.$$

Операція 020.

$$1. Cp = 0,032 \cdot 0,6 = 0,027; 2. Cp = 0,032 \cdot 0,56 = 0,026.$$

Операція 025.

$$1. Cp = 0,032 \cdot 1,95 = 0,092; 2. Cp = 0,032 \cdot 2,05 = 0,099;$$

$$3. Cp = 0,032 \cdot 0,33 = 0,02.$$

Операція 030.

$$1. Cp = 0,032 \cdot 0,81 = 0,03; 2. Cp = 0,032 \cdot 0,1 = 0,003.$$

Радіально-свердлильна з ЧПУ:

$$Cp = 0,032 \cdot 3,53 = 0,12.$$

Операція 035.

$$1. Cp = 0,032 \cdot 2,01 = 0,07; 2. Cp = 0,032 \cdot 2,2 = 0,08; 3. Cp = 0,032 \cdot 0,46 = 0,002.$$

Операція 040.

$$1. Cp = 0,032 \cdot 0,5 = 0,016; 2. Cp = 0,032 \cdot 0,41 = 0,016; 3. Cp = 0,032 \cdot 0,21 = 0,01.$$

Операція 045.

$$1. Cp = 0,032 \cdot 0,41 = 0,015; 2. Cp = 0,032 \cdot 0,37 = 0,014; 3. Cp = 0,032 \cdot 0,31 = 0,013.$$

Операція 050.

$$1. Cp = 0,032 \cdot 3,2 = 0,11; 2. Cp = 0,032 \cdot 1,6 = 0,55.$$

Визначаємо потужність різання за найактивнішими умовами роботи [1]:

Операція 005:

$$t = 3,5 \text{ мм.}$$

$$N_{\text{різ}} = \frac{P_z \cdot r}{6120}, \quad V = V_{\text{табл}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 = 145 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,05 = 152,25 \text{ м/хв.};$$

$$S = 0,3 \text{ мм/об; } V_{\text{табл}} = 145 \text{ м/хв.}; K_1 = 1,0; K_2 = 1,0; K_3 = 1,05;$$

$$P_z = P_{z \text{ табл}} \cdot K_1 \cdot K_2 = 280 \cdot 0,3 \cdot 0,9 = 75,6 \text{ Н};$$

$$P_{z \text{ табл}} = 280 \text{ Н}; K_1 = 0,3; K_2 = 0,9;$$

$$N_{\text{пиз}} = \frac{75,6 \cdot 145}{6120} = 1,8 \text{ кВт}.$$

005 Вертикально-розточувальна.

$$N_{\text{пиз}} = 1,8 \text{ кВт};$$

010 Токарна.

$$N_{\text{пиз}} = 1,8 \text{ кВт};$$

010 Вертикально-розточувальна.

$$N_{\text{пиз}} = 1,8 \text{ кВт};$$

015 Горизонтально-свердлильна:

$$t = 3 \text{ мм}; S_3 = 0,12 \text{ мм/з}; d_p = 50 \text{ мм}, Z_\phi = 4;$$

$$N_{\text{пиз}} = \frac{E^v \epsilon \max \cdot Z_\phi}{1000}, \quad (2.18)$$

$$E = 0,18; V = 300 \text{ м/хв.}; K_1 = 0,4; K_2 = 1,0;$$

$$N_{\text{пиз}} = \frac{E^v \epsilon \max \cdot Z_\phi}{1000},$$

$$N_{\text{пиз}} = 0,18 \frac{300 \cdot 28,4}{1000} \cdot 0,4 \cdot 1,0 = 2,4 \text{ кВт};$$

015 Вертикально-фрезерна.

$$N_{\text{пиз}} = 2,4 \text{ кВт};$$

020 Радіально-свердлильна.

Для діаметру 17,5 мм:

$$S_o = 06 \text{ мм/об}; T_m = 40 \text{ хв};$$

$$V = V_{\text{табл}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 = 45 \cdot 1,0 \cdot 1,25 \cdot 1,0 = 56,25 \text{ м/хв.};$$

$$V_{\text{табл}} = 45 \text{ м/хв.}; K_1 = 1,0; K_2 = 1,25; K_3 = 1,0;$$

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 56,25}{3,14 \cdot 17,5} = 1024 \text{ об/хв};$$

$$N_{\text{пиз}} = N_{\text{табл}} \cdot K_N \frac{n}{1000}; N_{\text{табл}} = 1,6 \text{ кВт}; K_N = 0,75;$$

$$N_{piz} = 1,6 \cdot 0,75 \frac{10,24}{1000} = 1,24 \text{ кВт};$$

020 Вертикально-свердлильна.

Аналогічно радіально-свердлильній.

$$N_{piz} = 1,24 \text{ кВт};$$

025 Радіально-свердлильна.

Свердлити отвір діаметром 10,2 мм:

$$\rho = 0,5 \text{ мм/об}; T_M = 20 \text{ хв};$$

$$V = V_{табл} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 = 37 \cdot 1,0 \cdot 1,3 \cdot 1,0 = 48,1 \text{ м/хв.};$$

$$V_{табл} = 37 \text{ м/хв.}; K_1 = 1,0; K_2 = 1,3; K_3 = 1,0;$$

$$N_{piz} = N_{табл} \cdot K_N \frac{n}{1000}; \quad (2.19)$$

$$N_{табл} = 0,78 \text{ кВт}; K_N = 0,75;$$

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 48,1}{3,14 \cdot 10,2} = 1502 \text{ об/хв}; N_{piz} = 0,78 \cdot 0,75 \frac{1502}{1000} = 0,9 \text{ кВт};$$

025 Радіально-свердлильна.

Свердлити отвір діаметром 10,2 мм і зенкерувати отвір діаметром 16 мм одночасно.

$$N_{piz} = N_{piz \text{ св.}} + N_{piz \text{ зен.}} \quad (2.20)$$

$$N_{piz \text{ св.}} = 0,9 \text{ кВт.}$$

Зенкерування:

$$S_o = 0,5 \text{ мм/об}; V = V_{табл} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 = 57 \cdot 1,0 \cdot 1,4 \cdot 1,0 = 79,8 \text{ м/хв.};$$

$$V_{табл} = 57 \text{ м/хв.}; K_1 = 1,0; K_2 = 1,4; K_3 = 1,0;$$

$$N_{piz} = N_{табл} \cdot K_N \frac{n}{100} = 0,72 \cdot 0,75 \frac{79,8}{100} = 0,4 \text{ кВт};$$

$$N_{табл} = 0,72 \text{ кВт}; K_N = 0,75;$$

$$N_{piz} = 0,9 + 0,4 = 1,3 \text{ кВт};$$

025 Вертикально-свердлильна.

Одночасна обробка 6 отворів калібровочним інструментом:

$$N_{piz} = 1,3 \cdot 6 = 7,8 \text{ кВт};$$

030 Радіально-свердлильна.

Свердлити отвір діаметром 9 мм:

$$S_o = 0,4 \text{ мм/об}; V = V_{\text{табл}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 = 42 \cdot 1,0 \cdot 1,3 \cdot 1,0 = 54,6 \text{ м/хв.};$$

$$K_1 = 1,0; K_2 = 1,3; K_3 = 1,0; V_{\text{табл}} = 42 \text{ м/хв.};$$

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 54,6}{3,14 \cdot 9} = 1932 \text{ об/хв};$$

$$N_{\text{різ}} = N_{\text{табл}} \cdot K_N \frac{n}{1000} = 0,55 \cdot 0,75 \frac{1932}{100} = 0,81 \text{ кВт};$$

$$N_{\text{табл}} = 0,55 \text{ кВт}; K_N = 0,75.$$

030 Вертикально-свердлильна з ЧПУ.

Аналогічно 020 операцій.

$$N_{\text{різ}} = 1,24 \text{ кВт}.$$

035 Вертикально-свердлильна.

$$N_{\text{різ}} = 1,24 \cdot 6 = 7,44 \text{ кВт}.$$

040 Вертикально-фрезерна.

Фрезерування бобишки діаметром 30 мм:

$$t = 3 \text{ мм}; S_z = 0,12 \text{ мм/з}; d_\phi = 30 \text{ мм}, Z_\phi = 4;$$

$$N_{\text{різ}} = \frac{E \cdot V_{\text{с max}} \cdot Z_\phi}{1000} \cdot K_1 \cdot K_2; \quad (2.21)$$

$$E = 0,3; V = 300 \text{ м/хв.}; K_1 = 0,4; K_2 = 1,0;$$

$$N_{\text{різ}} = \frac{300 \cdot 30 \cdot 4}{1000} \cdot 0,4 \cdot 0,1 = 3,5 \text{ кВт}.$$

040 Горизонтально-фрезерна.

Фрезерувати бобишку діаметром 30 мм:

$$N_{\text{різ}} = 3,5 \text{ кВт};$$

040 Горизонтально-фрезерна.

Фрезерувати бобишку і два скоси.

Дискова трьохстороння фреза.

$$S = 0,6 \text{ мм/з}; d_\phi = 125 \text{ мм}; Z_\phi = 10; t = 3 \text{ мм};$$

$$N_{piz} = E \frac{V_{\text{max}} \cdot Z_{\phi}}{1000} \cdot K_1 \cdot K_2 = 0,04 \frac{300 \cdot 90 \cdot 10}{1000} 0,4 = 5,18 \text{ кВт};$$

$$E = 0,04; V = 300 \text{ м/хв.}; \theta_{\text{max}} = 90; K_1 = 0,4; K_2 = 1,0.$$

045 Радіально-свердлильна.

Свердлити отвір діаметром 8,4 мм:

$$S_o = 0,4 \text{ мм/об}; T_m = 20 \text{ хв};$$

$$V = V_{\text{табл}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 = 42 \cdot 1,0 \cdot 1,3 \cdot 1,0 = 54,6 \text{ м/хв.};$$

$$V_{\text{табл}} = 42 \text{ м/хв.}; K_1 = 1,0; K_2 = 1,3; K_3 = 1,0;$$

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 54,6}{3,14 \cdot 8,4} = 2070 \text{ об / хв};$$

$$N_{piz} = N_{\text{табл}} \cdot K_N \frac{n}{1000}; \quad (2.22)$$

$$N_{\text{табл}} = 0,55 \text{ кВт}; K_N = 0,75;$$

$$N_{piz} = 0,55 \cdot 0,75 \cdot \frac{2070}{1000} = 0,86 \text{ кВт};$$

045 Радіально-свердлильна.

Свердлити отвір діаметром 8,4 мм:

$$N_{piz} = 0,86 \text{ кВт.}$$

045 Вертикально-свердлильна.

Свердлити та зенкерувати отвір діаметром 15 мм:

$$N_{piz} = N_{piz \text{ св}} + N_{piz \text{ зенк}}; \quad (2.23)$$

$$N_{piz \text{ св.}} = 0,86 \text{ кВт}; S_o = 0,4 \text{ мм/об}; V = V_{\text{табл}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 = 54,6 \text{ м/хв.};$$

$$N_{piz} = 0,75 \cdot 0,75 \frac{54,6}{100} = 0,4 \text{ кВт};$$

$$N_{\text{табл}} = 0,72 \text{ кВт}; K_N = 0,75;$$

$$N_{piz} = 0,86 + 0,4 = 1,26 \text{ кВт.}$$

050 Вертикально-фрезерна.

Фрезерувати скос:

$$t = 3 \text{ мм}; S = 0,06 \text{ мм/об}; T_m = 150 \text{ хв}; D_{\phi} = 100 \text{ мм}; Z_{\phi} = 12;$$

$$N_{piз} = E \frac{V_{\text{max}} \cdot Z_{\phi}}{1000} \cdot K_1 \cdot K_2; \quad (2.23)$$

$$E = 0,11; K_1 = 0,4; K_2 = 1,0;$$

$$N_{piз} = 0,11 \frac{300 \cdot 15 \cdot 12}{1000} = 0,4 \cdot 0,1 = 2,4 \text{ кВт};$$

050 Горизонтально-фрезерна.

Фрезерувати одночасно два стоси:

$$N_{piз} = 2 \cdot 2,4 = 4,8 \text{ кВт};$$

За розрахунковою потужністю, вибираємо моделі верстатів, виходячи із співвідношення $N_{piз}$ менше, або рівне $N_{\text{в}} \cdot \eta$, де $N_{\text{в}}$ – потужність верстату; $\eta = 0,8$ – ККД верстата.

005 Токарна:

$$N_{piз} = 1,8 \text{ кВт}; N_{\text{в}} = 10,0 \text{ кВт},$$

тоді 1,8 менше, або рівне $10 \cdot 0,8 = 8$.

Вибираємо токарно-гвинторізний верстат моделі 1К625.

005 Вертикально-розточувальна:

$$N_{piз} = 1,8 \text{ кВт}; N_{\text{в}} = 5 \text{ кВт},$$

тоді 1,8 менше, або рівне $5 \cdot 0,8 = 4$.

Координатно-розточувальний верстат моделі 2444.

010 Токарна.

Токарно-гвинторізний верстат моделі 1К625.

010 Вертикально-розточувальна.

Координатно розточувальний верстат моделі 2444.

015 Вертикально-фрезерна:

$$N_{piз} = 2,44 \text{ кВт}; N_{\text{в}} = 13 \text{ кВт},$$

тоді 2,44 менше, або рівне $13 \cdot 0,8 = 10,8$.

По габаритам деталі верстати моделі 654.

015 Поздовжньо-фрезерна:

$$N_{piз} = 2,4 \text{ кВт}; N_{\text{в}} = 7,5 \text{ кВт},$$

тоді 2,4 менше, рівне $7,5 \cdot 0,8 = 5,9$.

Поздовжньо-свердлильний верстат моделі 6305.

020 Радіально-свердлильна:

$$N_{piz} = 1,24 \text{ кВт}; N_{\theta} = 7,5 \text{ кВт},$$

тоді 1,24 менше, або рівне $7,5 \cdot 0,8 = 5,9$.

По габаритам деталі вибираємо радіально-свердлильний верстат моделі 2Н53.

020 Вертикально-свердлильна:

$$N_{piz} = 1,24 \text{ кВт}; N_{\theta} = 4 \text{ кВт},$$

тоді 1,24 менше, або рівне $4 \cdot 0,8 = 3,2$.

Вертикально-свердлильний верстат моделі 2Н135.

025 Радіально свердлильна:

$$N_{piz} = 1,3 \text{ кВт}; N_{\theta} = 7,5 \text{ кВт},$$

тоді 1,3 менше, або рівне $7,5 \cdot 0,8 = 6$.

Радіально-свердлильний верстат моделі 2Н53.

025 Радіально-свердлильна.

Радіально-свердлильна модель верстата 2Н53:

$$N_{piz} = 7,8 \text{ кВт}; N_{\theta} = 10 \text{ кВт},$$

тоді 7,8 менше, або рівне $10 \cdot 0,8 = 8$.

Вибираємо вертикально-свердлильний верстат моделі 26170.

030 Радіально-свердлильна:

$$N_{piz} = 0,81 \text{ кВт}; N_{\theta} = 7,5 \text{ кВт}.$$

По габаритам деталі – радіально-свердлильний верстат моделі 2Н53.

030 Вертикально-свердлильна:

$$N_{piz} = 6,48 \text{ кВт}; N_{\theta} = 10 \text{ кВт},$$

тоді 6,48 менше, або рівне $10 \cdot 0,8 = 8$.

Вибираємо верстат моделі 2Л170.

Радіально-свердлильна з ЧПУ:

$$N_{piz} = 1,23 \text{ кВт}; N_{\theta} = 4,0 \text{ кВт},$$

тоді 1,23 менше, або рівне $4 \cdot 0,84 = 3,2$.

Вибираємо вертикально-свердлильний верстат з ЧПУ моделі 2Н558L.

035 Радіально-свердлильна:

$$N_{piz} = 1,23 \text{ кВт}; N_g = 3 \text{ кВт},$$

тоді 1,23 менше, або рівне $0,8 \cdot 3 = 2,4$.

Радіально-свердлильний верстат моделі 2Н53.

035 Радіально-свердлильна.

Радіально-свердлильні верстати моделі 2Н53.

035 Вертикально-свердлильна:

$$N_{piz} = 7,38 \text{ кВт}; N_g = 10 \text{ кВт},$$

тоді 7,38 менше, або рівне $0,8 \cdot 10 = 8$.

Вертикально-свердлильний верстат моделі 2С170.

040 Вертикально-фрезерна:

$$N_{piz} = 3,5 \text{ кВт}; N_g = 13 \text{ кВт},$$

тоді 3,5 менше, рівне $0,8 \cdot 13 = 10,4$.

Вертикально-фрезерний верстат моделі 654.

040 Горизонтально-фрезерна:

$$N_{piz} = 3,5 \text{ кВт}; N_g = 7,5 \text{ кВт},$$

тоді 3,5 менше, рівне $0,8 \cdot 7,5 = 6$.

Вибираємо координатно-фрезерний верстат моделі 6305.

040 Горизонтально-фрезерна:

$$N_{piz} = 5,18 \text{ кВт}; N_g = 7,5 \text{ кВт},$$

тоді 5,18 менше, або рівне $0,8 \cdot 7,5 = 6$.

Поздовжньо-фрезерний верстат моделі 6305.

045 Радіально-свердлильна:

$$N_{piz} = 0,86 \text{ кВт}; N_g = 3 \text{ кВт},$$

тоді 0,86 менше, або рівне $0,8 \cdot 3 = 2,4$.

Радіально-свердлильні верстати моделі 2Н53.

045 Радіально-свердлильна.

Модель верстата 3Н53.

045 Вертикально-свердлильна:

$$N_{piz} = 1,26 \text{ кВт}; N_g = 4 \text{ кВт},$$

тоді 1,26 менше, або рівне $0,8 \cdot 4 = 2,2$.

Вертикально-свердильний верстат моделі 2Н135.

050 Вертикально-фрезерна:

$$N_{\text{різ}} = 2,4 \text{ кВт}; N_{\text{в}} = 13 \text{ кВт},$$

тоді 2,4 менше, рівне $13 \cdot 0,8 = 10,4$.

За габаритами деталі вибираємо вертикально-фрезерний верстат моделі 654.

050 Вертикально-фрезерна:

$$N_{\text{різ}} = 4,8 \text{ кВт}; N_{\text{в}} = 7,5 \text{ кВт},$$

тоді 4,8 менше, рівне $0,8 \cdot 7,8 = 6$.

Поздовжньо-фрезерний верстат моделі 6305.

На більшість операцій вибрані верстати з потужністю, яка набагато перевищує потужність різання.

Це обумовлено тим, що дана деталь виготовлена з алюмінію і має досить великі габарити – зовнішній діаметр 410 мм і тому у виборі обладнання потрібно звертати увагу на габаритні розміри робочих столів верстатів.

Дотепер ми визначали параметри різання, моделі верстатів, для двох варіантів технологічного процесу, щоб показати різницю між базовим і проектним варіантами

005 Токарно-гвинторізна.

1. Підрізка торця в розмір 15 ± 1 мм. Матеріал – алюміній АЛ9.

Приймаємо токарний підрізний торцевий різець з пластиною типу 43 із швидкорізальної сталі Р6М3.

1) Глибина різання: $t = 5,3$ мм;

2) Подача: $S = 0,4$ мм/об;

3) Швидкість різання:

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^{x_v} \cdot S^{y_v}} \cdot K_v, \frac{\text{м}}{\text{хв}},$$

де $C_v = 328$; $x_v = 0,12$; $y_v = 0,5$; $m = 0,23$; $T = 50 \text{ хв}$; $K_v = K_m \cdot K_n \cdot K_\phi \cdot K_2 \cdot K_g \cdot K_o \cdot K_u$, де K_m – визначає якість оброблюваного матеріалу; K_n – стан поверхні заготовки; K_u –

матеріали різальної частини; K_ϕ , K_2 , K_g – параметри різання; K_o – вид обробки;

$$K_m = 1,0; K_n = 0,9; K_u = 1,0; K_\phi = 1,4; K_2 = 0,94; K_g = 0,93; K_o = 1,18;$$

$$K_v = 1,0 + 0,9 + 1,0 + 1,4 + 0,94 + 0,93 + 1,18 = 1,3;$$

$$V = \frac{328}{50^{0,23} \cdot 5,3^{0,12} \cdot 0,4^{0,5}} \cdot 1,3 = 225,5, \text{ м/хв};$$

4) Частота обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000V}{\pi D}, \quad (2.25)$$

де V – швидкість різання;

D – діаметр обробки;

$$n = \frac{1000 \cdot 225,5}{3,14 \cdot 410} = 175,2, \text{ хв}^{-1}$$

5) Сила різання:

$$P_z = C_p \cdot t^{x_p} \cdot S^{y_p} \cdot V^{n_p} \cdot K_p, \quad (2.26)$$

де $C_p = 40$; $x_p = 1,0$; $n_p = 0$; $y_p = 0,75$; $K_p = K_m \cdot K_\phi \cdot K_j \cdot K_x \cdot K_z$, де K_m – враховує механічні властивості матеріалу; K_ϕ , K_j , K_x , K_z – враховує геометричні параметри різання;

$$K_m = 1,0; K_\phi = 1,08; K_j = 1,0; K_x = 1,0; K_z = 1,0;$$

$$K_p = 40 \cdot 5,3^{1,0} \cdot 0,4^{0,75} \cdot 225,5^0 \cdot 1,08 = 114,5.$$

6) Потужність різання:

$$N = \frac{P_z \cdot V}{102 \cdot 60},$$

де P_z – сила різання;

V – швидкість різання;

$$N = \frac{114,5 \cdot 225,5}{120 \cdot 60} = 4,22 \text{ кВт}.$$

По визначеній потужності вибираємо верстати моделі 1К625 з врахуванням габаритів деталі.

$$N_\epsilon = 10 \text{ кВт}; N_{\text{риз}} = N_\epsilon \cdot \eta = 10 \cdot 0,8 = 8 \text{ кВт};$$

де $\eta = 0,8$ – коефіцієнт корисної дії верстата,

тоді 4,22 менше, або рівне 8.

Режим різання коректуємо по паспорту верстата: $n_b = 200 \text{ об/хв}$; $S_b = 0,39$

мм/об.

Дійсна швидкість різання:

$$V_g = \frac{\pi D n}{1000},$$

$$V_g = \frac{3,14 \cdot 410 \cdot 200}{1000} = \frac{257,5 \text{ м}}{\text{хв}}$$

020 Поздовжньо-фрезерувальна.

1 Фрезерувати послідовно 6 бобишок, витримавши розмір 28 ± 1 мм; $25 \pm 0,5$ мм. Матеріал – алюміній АЛ9. Ширина фрезерування $B = 28$ мм.

Приймаємо кінцеву фрезу з діаметром $D = 28$ мм з швидкорізальної сталі Р9.

1) Глибина різання: $t = 5,2$ мм;

2) Подача: $S_z = 0,14$ мм/зуб;

3) Швидкість різання

$$V = \frac{C_v \cdot D^{g_v}}{T^m \cdot t^{x_v} \cdot S_z^{y_v} \cdot B^{u_v} \cdot Z^{p_v}} \cdot K_v,$$

де $C_v = 185,5$; $x_v = 0,3$; $g_v = 0,45$; $y_v = 0,2$; $u_v = 0,1$; $P_v = 0,1$; $m = 0,3$; $K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv}$, де K_{mv} – коефіцієнт, що враховує якість оброблюємого матеріалу, $K_{mv} = 1,2$; K_{nv} – коефіцієнт, що враховує стан поверхні заготовки, $K_{nv} = 0,9$; K_{uv} – коефіцієнт, що враховує матеріал інструменту, $K_{uv} = 1,0$;

$$V = \frac{185,5 \cdot 28^{0,45}}{120^{0,33} \cdot 5,2^{0,3} \cdot 0,14^{0,2} \cdot 28^{0,1} \cdot 4^{0,1}} \cdot 1,2 \cdot 0,9 \cdot 1,0 = 107 \text{ м/хв};$$

4) Частота обертання шпинделя

$$n = \frac{1000V}{3,14 \cdot D} = \frac{1000 \cdot 107}{3,14 \cdot 28} = 852 \text{ хв}^{-1},$$

5) Хвилинна подача:

$$S_{xв} = S_z \cdot Z \cdot n, \quad (2.29)$$

де S_z – подача на зуб;

Z – кількість зубців;

$$S_{xв} = 0,14 \cdot 4 \cdot 852 = 477 \text{ мм/хв.};$$

б) Сила різання:

$$P_z = \frac{C_p \cdot t^{x_p} \cdot S^{y_p} \cdot B^{u_p} \cdot Z}{D^{g_p} \cdot n^{\omega_p}} \cdot K_p,$$

де $C_p = 68,2$; $x_p = 0,86$; $y_p = 0,72$; $u_p = 1,0$; $\omega_p = 0$; $g_p = 0,86$; $K_p = K_{mp} - \text{коефіцієнт, який враховує якість алюмінієвих сплавів, } K_{mp}=1,0$.

$$P_z = \frac{68,2 \cdot 5 \cdot 2^{0,86} \cdot 0,14^{0,72} \cdot 28^{1,0} \cdot 4}{40^{0,86} \cdot 852^0} \cdot 1,0 = 78,7 \text{ кг}$$

Потужність різання:

$$N = \frac{P_z \cdot V}{60 \cdot 102} = \frac{78,7 \cdot 107}{60 \cdot 102} = 1,44 \text{ кВт}$$

$$N_B = \frac{1,44}{0,8} = 1,8 \text{ кВт}$$

По визначені потужності вибираємо поздовжньо-фрезерні верстати моделі 6305 з врахуванням габаритів.

Режими різання коректуємо за даними паспорту верстату: $n_s = 800 \text{ хв}^{-1}$; $S_{хв} = 400 \text{ мм/хв}$;

Дійсна швидкість різання

$$V_g = \frac{\pi D n}{1000} = \frac{1,14 \cdot 40 \cdot 800}{1000} = 100,5 \text{ м/хв.}$$

Значення режимів різання на решту операцій розраховується аналогічно і занесені в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 – Розрахунок режимів різання

№-операції	Назва операції, тип верстату	№-переходу	Глиб. різ. t, мм	Подача		Швид. різання мм/об	Частота оберт. п, хв ⁻¹	Макс. потуж. різання N, кВт
				S _o , мм/об	S _z , мм/об			
005	Токарно-гвинторізна Підрізка торцю 15 ⁺¹ мм	1	5,3	0,4	1 -	225,5	175,2	10
	Чорн. розт. діам. 330 мм	2	2,9	0,8	-	125,5	146	10
	Чист. розт. діам.330 мм	3	0,41	0,2	-	377,8	364	10
	Розточ. фаски 1x45 ⁰	4	1	0,2	-	349,9	331,9	10
	Підріз. торцю 245 ⁺¹ мм	5	6	0,4	-	222,8	225	10

№-операції	Назва операції, тип верстату	№-переходу	Глиб. різ. t, мм	Подача		Швид. різання мм/об	Частота оберт. n, хв ⁻¹	Макс. потуж. різання N, кВт
				S _o , мм/об	S _z , мм/об			
010	Токарно-гвинторізна Підрізка торцю 260 ⁺¹ мм	1	4,2	0,4	-	229,3	335,5	10
	Чорн. розт. діам.230 мм	2	2,73	0,8	-	155,1	214,7	10
	Чист. розт. діам.230 мм	3	0,44	0,2	-	379,4	525	
	Тонке. розт. діам.230 мм	4	0,11	0,12	-	480,5	665	
	Розточ. фаски 1x45 ⁰	5	1	0,2	-	343,9	476	
	Чорн. точ. діам.350 мм	6	3,68	0,8	-	165,2	150	
	Чист. точ. діам.350 мм	7	0,45	0,2	-	423,3	385,2	
	Тонке точ. діам.350 мм	8	0,12	0,12	-	564,2	513,3	
	Точ. фаски 2x45 ⁰	9	2	0,2	-	354	322	
015	Вертикально-свердлильна Свердлити та зенкер. отвір діам.17,5 мм	1	8,8	0,6	-	57,4	104,4	4
	Розсвердлити отвір діам.19 мм	2	0,1	0,8	-	57,6	101,9	4
020	Поздовжньо-фрезерна Фрезерувати бобишку в р-р15±5 мм	1	5,2	0,14	0,125	10,7	825	7,5
025	Вертикально-свердлильна Свердлити отвір 6 по діам.17,5 мм	1	8,8	0,6	-			10
	Нарізати різь М20 в 6 отворах	2	1,25	2	-			10
030	Вертикально-свердлильна Свердлити 8 отвір на р-р діам.9 мм	1	4,5	0,4	-			10
035	Вертикально-свердлильна Свердлити отвір 6 по діам.10,2 мм	1	5,1	0,5	-			10
	Нарізати різь М12 в 6 отворах	2	0,9	1,5	-			10
040	Поздовжньо-фрезерна Фрезерувати бобишку, два скоси, витримавши р-р 20±1 мм	1	5,1	0,15	0,14			7,5
045	Вертикально-свердлильна Свердлити отвір діам.8,4 мм	1	4,2	0,4	-			4
	Нарізати різь М40	2	0,8	1,5	-			4

№-операції	Назва операції, тип верстату	№-переходу	Глиб. різ. t , мм	Подача		Швид. різання мм/об	Частота оберт. п, хв^{-1}	Макс. потуж. різання N , кВт
				S_o , мм/об	S_z , мм/об			
	Свердлити отвір діам.4 мм	3	2	0,3	-			4
050	Поздовжньо-фрезерна Фрезер. два скоси, витр. $r\text{-}r15^{+1}$ мм, $3^{+0,5}$ мм	1	3,0	0,12	0,14			7,5

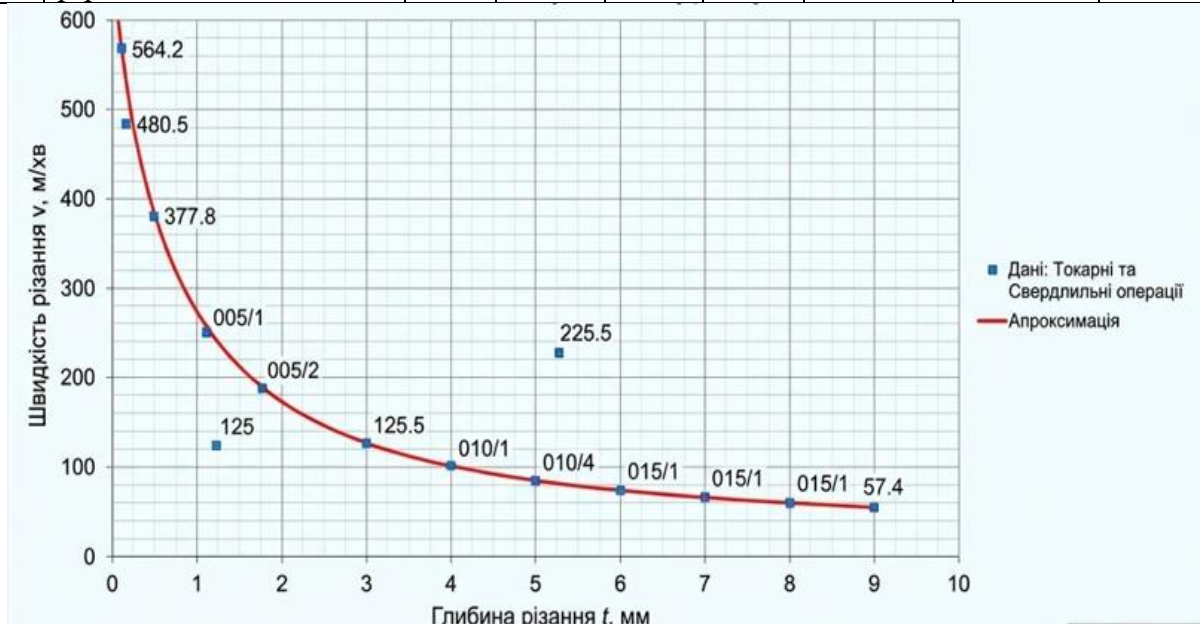


Рисунок 2.2 – Залежність швидкості різання від глибини різання

У токарних операціях на графіку можна виділити дві групи точок:

1. Точки з відносно високою швидкістю різання (вище 300 м/хв) та відносно невеликою глибиною різання (менше 2 мм). Ці точки, швидше за все, відповідають чистовим токарним операціям. У чистових операціях намагаються отримати якомога вищу якість поверхні, тому використовують високу швидкість різання та невелику глибину різання.

2. Точки з відносно невеликою швидкістю різання (нижче 200 м/хв) та відносно великою глибиною різання (більше 3 мм). Ці точки, швидше за все, відповідають чорновим токарним операціям. У чорнових операціях намагаються зняти якомога більше матеріалу за короткий час, тому використовують велику глибину різання, але для зменшення зносу інструменту та запобігання вібрацій швидкість різання знижують.

У свердильних операціях:

1. Усі точки, що відповідають свердильним операціям, мають невелику глибину різання (менше 3 мм) та невисоку швидкість різання (менше 200 м/хв).
2. Можна помітити, що точки, що відповідають свердильним операціям, розташовані нижче та лівіше, ніж точки, що відповідають токарним операціям. Це означає, що при свердлінні використовують меншу швидкість різання та меншу глибину різання, ніж при точінні.

Загальний висновок, який можна зробити на основі графіку:

1. Швидкість різання та глибина різання є двома важливими параметрами, які впливають на процес різання.
2. При виборі режимів різання необхідно враховувати тип операції (точіння, свердління), тип обробки (чорнова, чистова), а також вимоги до якості обробленої поверхні та стійкості інструменту.

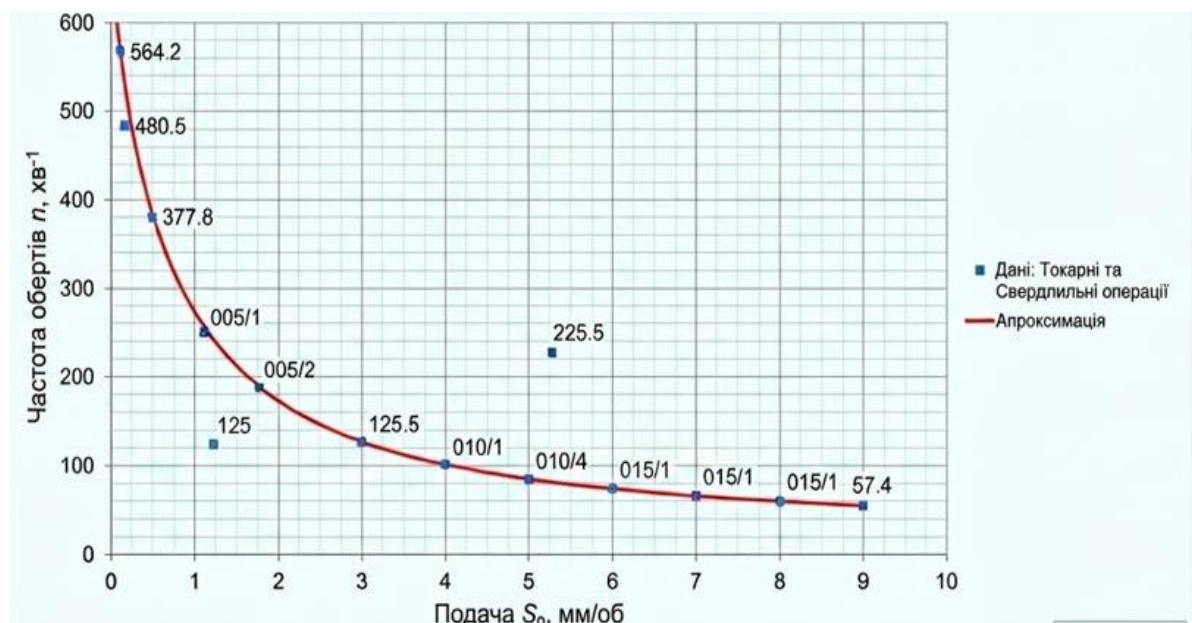


Рисунок 2.3 – Залежність частоти обертів від подачі

Цей графік демонструє зворотну залежність.

1. Форма лінії: Гіперболічна (червона пунктирна лінія).
2. Загальний висновок.

Зі збільшенням подачі S_0 допустима частота обертів n має зменшуватися.

- Навантаження на інструмент.

Коли ми збільшуємо подачу (S_0), інструмент зрізає товщу стружку за один

оберт. Це значно підвищує навантаження на ріжучу кромку, силу різання та температуру в зоні різання.

- Стійкість інструменту. Швидкість різання v (яка на пряму залежить від n) є найсильнішим чинником, що впливає на знос інструменту. Щоб компенсувати підвищене навантаження від великої подачі та зберегти допустимий час роботи інструменту, технологічно необхідно зменшити швидкість (тобто n).

Характерні зони на графіку (позначені синіми точками):

- Ліва частина (Чистові режими).

Високі значення n і низькі значення S_0 (наприклад, $S_0 < 0.15$ мм/об). Використовуються для отримання високої якості поверхні та точності розмірів.

Глибина різання тут також зазвичай невелика.

- Права частина (Чорнові режими).

Низькі значення n і високі значення S_0 (наприклад, $S_0 > 0.35$ мм/об).

Використовуються для швидкого зняття великого об'єму матеріалу.

Цей графік використовується для вибору раціонального компромісу між продуктивністю (яка зростає зі збільшенням S_0) та стійкістю інструменту (яка вимагає зниження n).

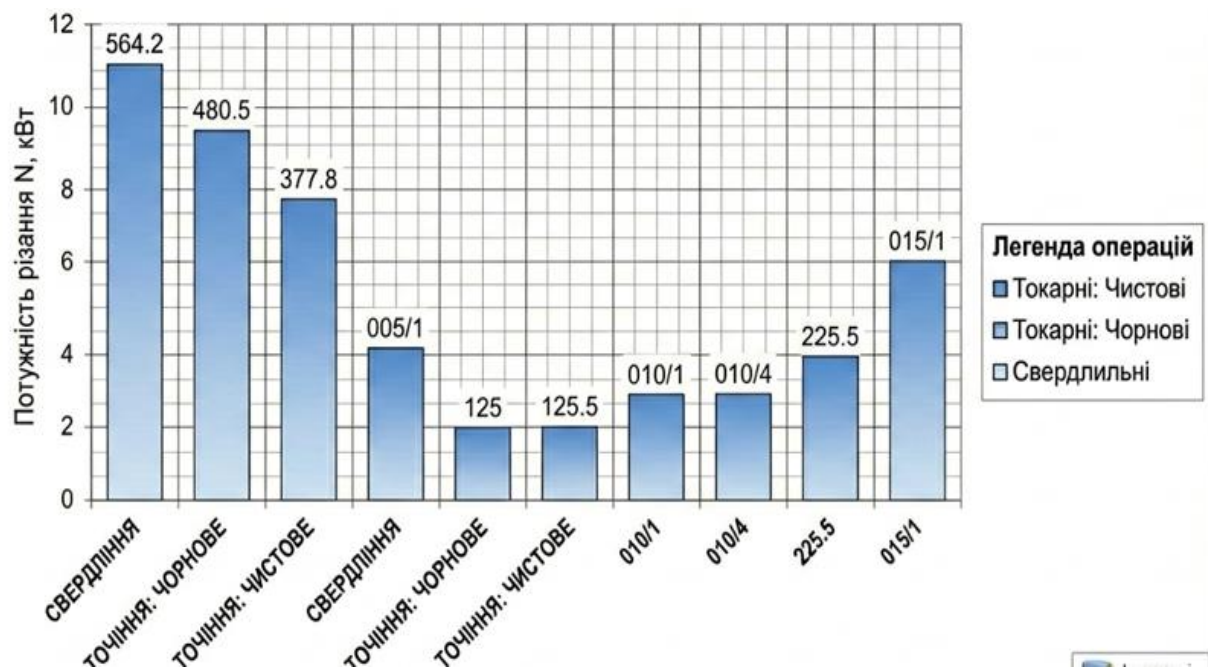


Рисунок 2.4 – Гістограма потужності різання для різних операцій

Гістограма демонструє розподіл потужності різання для 10 різних інженерних операцій.

Загалом, перші три операції характеризуються значно вищою потужністю різання (понад 7 кВт) порівняно з іншими.

Найнижча потужність близько 2 кВт.

Графік є наочним інструментом для порівняння енергомисткості різних етапів виробничого процесу.

2.7 Нормування технологічного процесу, уточнення типу виробництва

Виконуємо розрахунок норм часу для операції 005 Токарно-гвинторізна.

1. Підрізати торець, витримуючи р-р $15^{+1,0}$ мм.

Основний час визначаємо за формулою:

$$T_{01} = \frac{L \cdot i}{n \cdot S}, \quad (2.31)$$

де L – довжина проходу різця;

$$L = \frac{D - d}{2} + y + \Delta = \frac{410 - 325}{2} + 5,3 + 2 = 49,8 \text{ мм};$$

Величина різання $y = t \cdot \operatorname{ctg} \varphi = 5,3 \cdot \operatorname{ctg} 45^\circ = 5,3$ мм Перебіг різання $\Delta = 2$ мм.
 $i = 1$ – кількість проходів. $n = 200$ об/хв; $S = 0,39$ об/хв.

Підставивши, отримуємо основний час для першого переходу:

$$T_{01} = \frac{49,8 \cdot 1}{200 \cdot 0,39} = 0,638 \text{ хв};$$

2. Розточити отвір начорно, витримавши р-р $329,3^{+0,57}$ мм, $14 \pm 0,5$ мм.

$$T_{02} = \frac{L \cdot i}{n \cdot S} = \frac{15,68 \cdot 1}{160 \cdot 0,18} = 0,544 \text{ хв};$$

$$L = \ell + y + \Delta = 14 + 1,68 = 15,68 \text{ мм};$$

$$y = t \cdot \operatorname{ctg} \varphi = 2,9 \operatorname{ctg} 60^\circ = 1,68 \text{ мм};$$

$$\Delta = 0; n = 160 \text{ об/хв}; S = 0,18 \text{ мм/об}.$$

3. Розточити отвір начисто, витримуючи розмір діам. $330^{+0,14}$ мм, $14 \pm 0,5$

мм.

$$T_{03} = \frac{L \cdot i}{n \cdot S} = \frac{15,68 \cdot 1}{400 \cdot 0,18} = 0,187 \text{ хв};$$

$$L = 15,68 \text{ мм}; n = 400 \text{ об/хв}; S = 0,21 \text{ мм/об}; i = 1.$$

4. Зняти фаску $1 \times 45^\circ$:

$$T_{04} = \frac{L \cdot i}{n \cdot S} = \frac{15,68 \cdot 1}{400 \cdot 0,21} = 0,187 \text{ хв};$$

$$L = \ell + y = 1 + 1 \text{ мм} = 2 \text{ мм}; y = t \cdot \text{ctg } \varphi = 1 \text{ ctg } 45^\circ = 1 \text{ мм}.$$

5. Підрізати торець, витримавши розмір $245^{+1,0}$, діам. 315 мм:

$$T_{05} = \frac{L \cdot i}{n \cdot S} = \frac{15,68 \cdot 1}{200 \cdot 0,39} = 0,622 \text{ хв};$$

$$L = \frac{D - d}{2} + y + \Delta = \frac{315 - 230}{2} + 6 = 48,5 \text{ мм};$$

$$y = t \cdot \text{ctg } \varphi = 6 \cdot \text{ctg } 45^\circ = 6 \text{ мм}; \Delta = 0; n = 200 \text{ об/хв}; S = 0,39 \text{ мм/об}.$$

Загальний основний час на операцію:

$$T_0 = T_{01} + T_{02} + \dots + T_{05} = 0,638 + 0,544 + 0,187 + 0,03 + 0,622 = 2,021 \text{ хв}.$$

Визначаємо штучно-калькуляційний час:

$$T_{шт.к} = \frac{T_n \cdot 3}{n} + T_{шт}, \quad (2.32)$$

де T_{n-3} – підготовчо-заклучний час;

n – кількість деталей в партії;

$T_{шт}$ – норма штучного часу;

$$T_{n-3} = T_{n-31} + T_{n-32} + T_{n-33} = 12 + 5 + 7 = 24 \text{ хв};$$

де $T_{n-31} = 12 \text{ хв}$. – встановлення пристосування;

$T_{n-32} = 5 \text{ хв}$. – встановлення інструменту;

$T_{n-33} = 7 \text{ хв}$. – отримання і задача інструменту.

Штучний час на операцію визначається по формулі:

$$T_{шт} = T_0 + T_\partial + T_{об} + T_{відн}, \quad (2.33)$$

де $T_0 = 2,021 \text{ хв}$. – основний час на операцію;

T_o – допоміжний час;

$T_{об}$ – час на обслуговування робочого місця;

$T_{відп}$ – час на відпочинок;

Допоміжний час визначаємо по формулі:

$$T_o = k (T_{вз} + T_{зв} + T_{ун} + T_{ум}) = 1,5 (0,26 + 0,02 + 0,15 + 0) = 0,645 \text{ хв},$$

де $k = 1,5$ – коефіцієнт для крупно серійного виробництва;

$T_{вз} = 0,26$ хв. – час на встановлення та зняття деталі;

$T_{зв} = 0,02$ хв. – час на закріплення і відкріплення деталі;

$T_{ун} = 0,15$ хв. – час на управління верстатом;

$T_{ум} = 0$ – час на вимірювання деталі.

Час на обслуговування робочого місця визначається як 1,4% від оперативного часу.

$$T_{он} = T_o + T_g = 2,021 + 0,645 = 2,666 \text{ хв};$$

$$T_{об} = T_{он} \cdot 0,014 = 2,666 \cdot 0,014 = 0,037 \text{ хв};$$

Час на перерви та відпочинок і особисті потреби становить 6% від оперативного часу.

$$T_{відп} = 0,06 \cdot T_{он} = 0,06 \cdot 2,666 = 0,159 \text{ хв};$$

Підставивши отримані значення в формулу отримуємо:

$$T_{ум} = 2,021 + 0,645 + 0,037 + 0,159 = 2,862 \text{ хв};$$

$$\text{Тоді, } T_{ум.к} = \frac{24}{10} + 2,862 \text{ хв};$$

На інші поверхні розрахунок норм часу проводимо аналогічно і дані заносимо в таблицю 2.4.

Таблиця 2.4 – Норми часу

№ оп	Номер і найменування операції	T_o	$T_{доп}$			$T_{он}$	$T_{об}$	$T_{відп}$	$T_{шт}$	$T_{штк}$	$T_{нз}$
			$T_{вз}$	$T_{зв}$	$T_{ун}$						
005	Токарно-гвинторізна	1,58	0,26	0,02	0,15	2,66	0,037	0,159	16,2	6,102	24
010	Токарно-гвинторізна	1,34	0,38	0,09	0,18	1,622	0,023	0,097	20,75	10,982	24
015	Вертикально-свердлильна	0,47	0,24	0,024	0,08	0,725	0,01	0,044	4,48	2,98	21

020	Поздовжньо-свердлильна	0,78	0,23	0,064	0,32	1,554	0,022	0,093	7,21	3,89	19
025	Вертикально-свердлильна	0,08	0,25	0,05	0,02	1,587	0,022	0,095	6,09	4,24	22
030	Вертикально-свердлильна	0,05	0,25	0,05	0,025	0,383	0,005	0,022	4,06	2,68	27
035	Вертикально-свердлильна	0,09	0,25	0,05	0,05	0,512	0,007	0,031	6,1	4,82	27
040	Поздовжньо-фрезерувальна	0,16	0,31	0,064	0,14	0,612	0,009	0,658	6,69	3,9	34
045	Вертикально-свердлильна	0,13	0,42	0,024	0,04	1,643	0,023	0,099	6,01	4,72	18
050	Поздовжньо-фрезерувальна	0,23	0,57	0,064	0,16	1,029	0,014	0,062	6,66	4,39	25



Рисунок 2.5 – Структура загальних витрат часу

Ця діаграма демонструє, які операції є найбільш трудомісткими. Можна чітко побачити, що токарні операції (005 та 010) займають найбільшу частку загального часу.

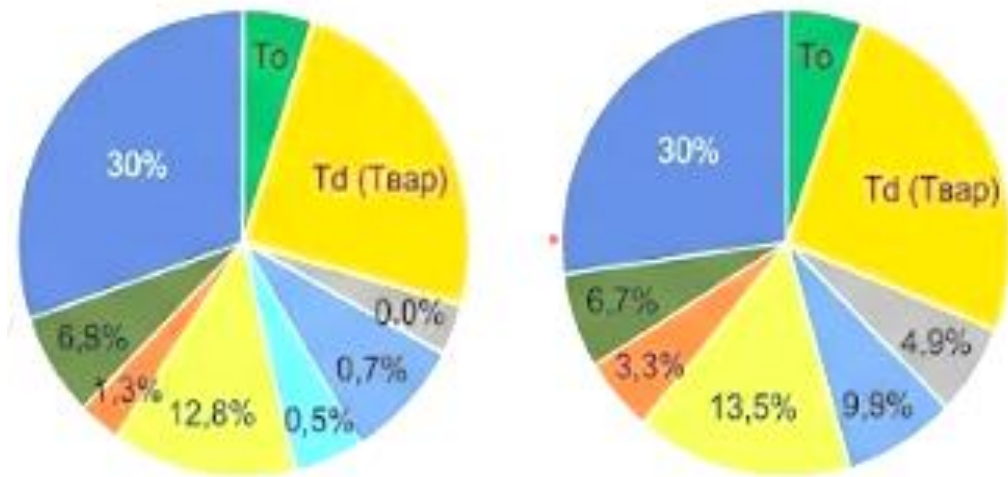


Рисунок 2.6 – Співвідношення основного та допоміжного часу (для операції 005)

Ця діаграма показує детальний розподіл штучного часу для найбільш трудомісткої токарної операції 005. Вона дозволяє побачити, які складові (наприклад, допоміжний та підготовчий час) займають найбільшу частку та є потенційними об'єктами для оптимізації.

Визначаємо кількість верстатів:

$$m_p = \frac{N \cdot T_{шт-к}}{60 \cdot F_g \cdot \eta_n}, \quad (2.34)$$

де N – річна програма випуску, шт.;

F_g – дійсний фонд часу, год.;

η_n – нормативний коефіцієнт завантаження обладнання.

Річний випуск деталей $N = 6000$ шт.

Річний дійсний фонд роботи обладнання прийнятий $F_g = 4015$ год.

Нормативний коефіцієнт завантаження обладнання для серійного виробництва приймаємо $\eta_{zn} = 0,75$ [1].

Визначаємо кількість верстатів по кожній операції:

$$1. m_{p1} = \frac{6000 \cdot 17,084}{60 \cdot 4015 \cdot 0,75} = 0,57.$$

Токарні (2 операції) приймаємо: $P = 1$ верстат.

$$2. m_p = \frac{6000 \cdot 19,44}{60 \cdot 4015 \cdot 0,75} = 0,65.$$

Свердлильні (4 операції) приймаємо: $P = 1$ верстат.

$$3. m_p = \frac{6000 \cdot 12,18}{60 \cdot 4015 \cdot 0,75} = 0,41.$$

Фрезерні (2 операції) приймаємо: $P = 1$ верстат.

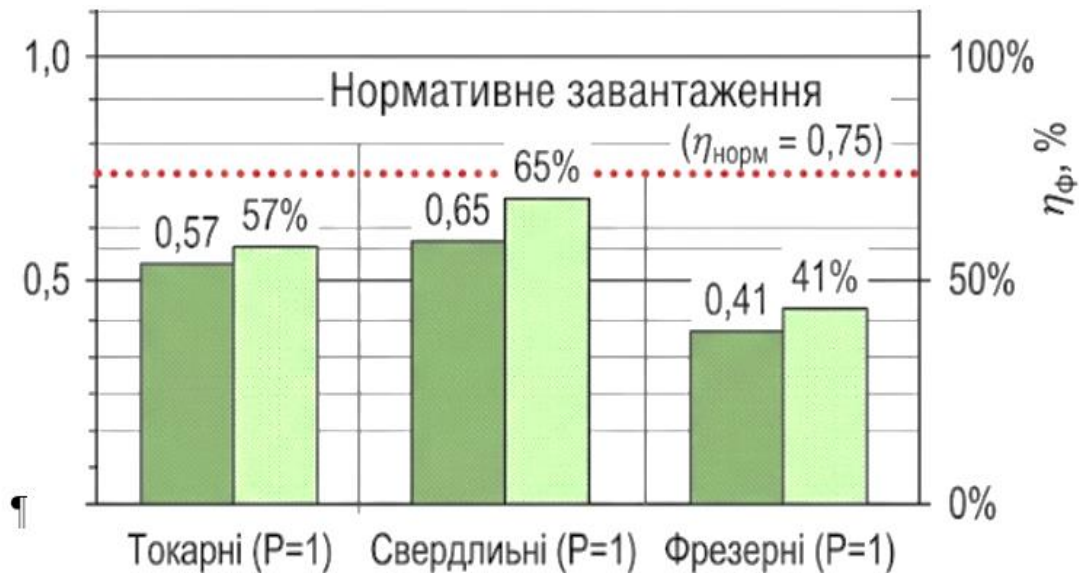


Рисунок 2.7 – Гістограма розрахункової кількості верстатів та завантаження робочих місць

З графіка чітко видно, що свердлильні операції найбільше наближені до нормативного значення.

Токарні та фрезерні операції мають дещо менше, але стабільне завантаження.

Це є добрим результатом для багатосерійного виробництва.

Для кожної операції визначається фактичний коефіцієнт завантаження робочого місця.

Розрахунок проводимо за формулою:

$$\eta_\phi = m_p / p. \quad (2.35)$$

$$\eta_{\phi 1} = 0,57; \quad \eta_{\phi 2} = 0,65; \quad \eta_{\phi 3} = 0,41;$$

Вказуємо кількість операцій, що виконуються на даному робочому місці:

$$Q = \eta_n / \eta_\phi. \quad (2.36)$$

$$Q_1 = \frac{0,75}{0,57} = 1,32; \quad Q_2 = \frac{0,75}{0,65} = 1,15; \quad Q_3 = \frac{0,75}{0,41} = 1,83;$$

Отже,

$$K_{30} = \frac{1,32 + 1,15 + 1,83}{1 + 1 + 1} = 1,43. \quad \text{– виробництво багатосерійне.}$$



Рисунок 2.8 – Гістограма кількості операцій

Гістограма показує розрахункову кількість операцій, які виконуються на одному робочому місці (або верстаті) для трьох груп операцій: токарних, свердлильних та фрезерних.

- Фрезерні: Мають найбільше значення Q . Це означає, що на одному фрезерному верстаті виконується в середньому 1,83 різних операцій.
- Токарні: Мають проміжне значення. На токарному верстаті закріплено 1,32 операції.

- Свердлильні: Мають найменше значення серед представлених груп, що свідчить про вищий рівень спеціалізації на цих верстатах.



Рисунок 2.9 – Аналіз типу виробництва

Зображення ілюструє, що отримане розрахункове значення $K_{зб} = 1,43$ однозначно потрапляє в зону багатосерійного виробництва.

Зображення наочно демонструють процес визначення типу виробництва на основі розрахунку коефіцієнта закріплення операцій.

Гістограма показує деталізовані дані по групах операцій, а кругова діаграма дозволяє класифікувати отриманий середній результат як такий, що відповідає багатосерійному типу виробництва.

З КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Проектування технологічного оснащення

В крупносерійному виробництві установку заготовки здійснюють довівши її до контакту із установчими елементами (опорами) спеціальних пристосувань.

В залежності від умов обробки здійснюємо повну орієнтацію заготовки в просторі відносно різального інструменту.

Для повної орієнтації кількість і розміщення опор має бути таким, щоб при збережені умов невідривності бази від опор (тобто збереження щільного контакту між ними) заготовка не могла мати переміщення або повороту відносно трьох координатних осей.

Наведено приклади можливих схем установки та затиску заготовки на рисунках 3.1, 3.2.

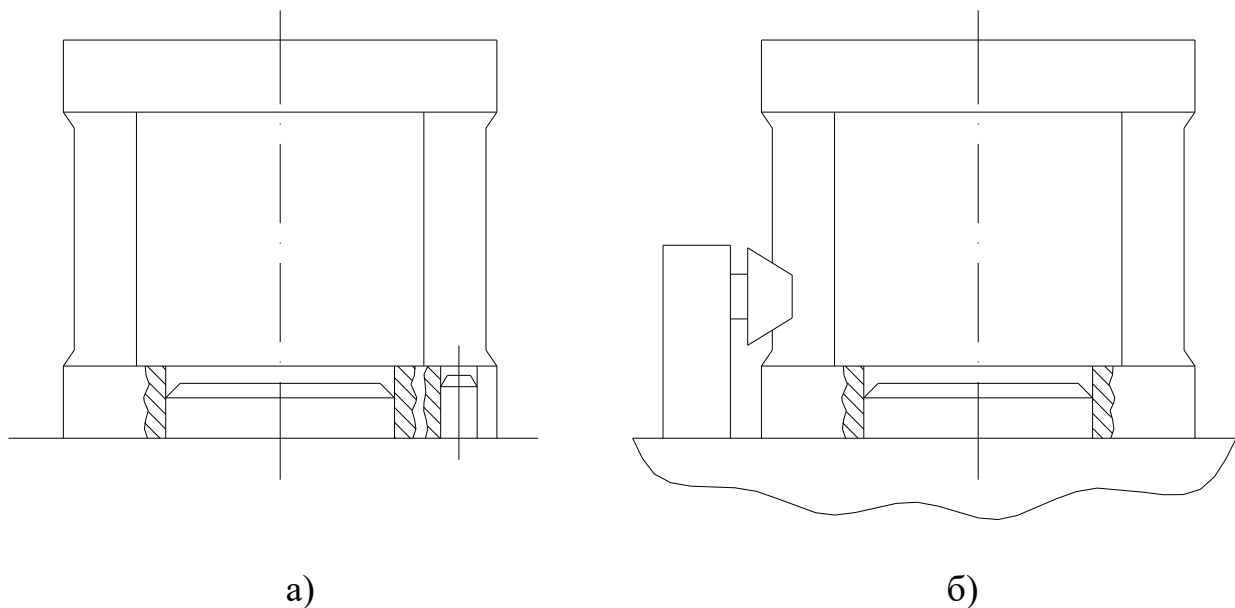


Рисунок 3.1 – Схеми установки

При установці заготовки на два циліндричні пальці з паралельними осями і на перпендикулярну їм площину ми маємо переваги з іншим способами установки, простота конструкції, витримувати принцип постійності баз, простота фіксації заготовки.

При затиску заготовка закріплюється прикладанням сили затиску n до її

базової площини.

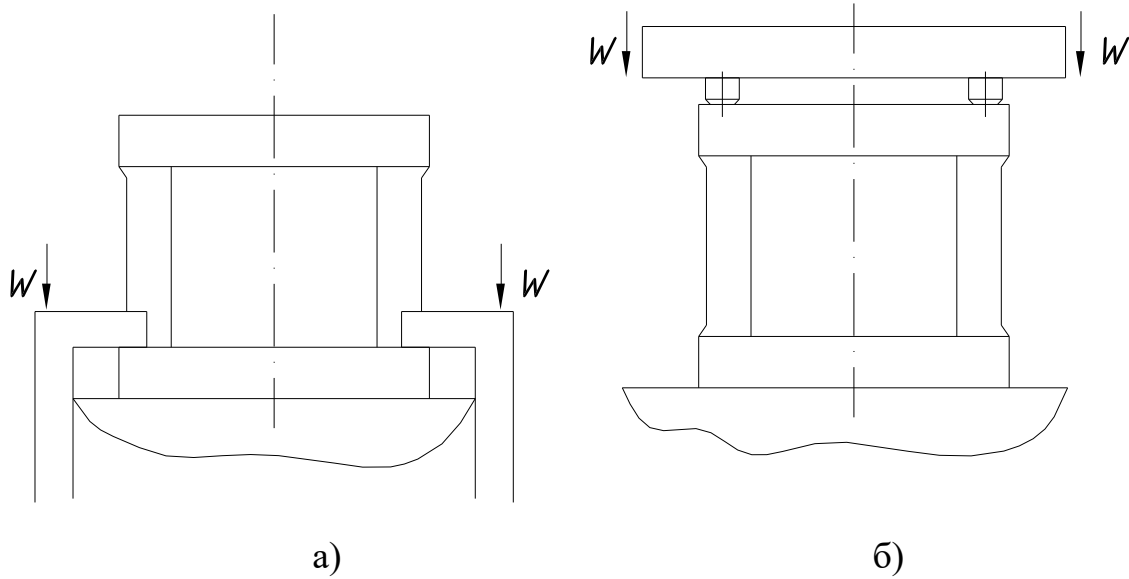


Рисунок 3.2 – Схеми затиску

Приведення в дію затискаючих елементів може бути механічним, гідропневматичним, електричним.

В даному випадку використовуємо механічне затискання заготовки кондукторною плитою в процесі обробки.

Схеми установки і затиску для токарного патрону показано на рисунках 3.3, 3.4.

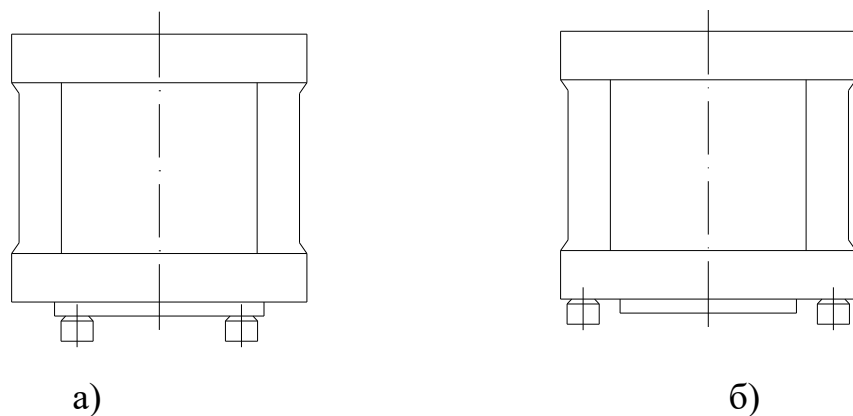


Рисунок 3.3 – Схеми установки для токарного патрону

При установці заготовки на площину приймаємо варіанти а, так як варіанти б пропонує складніші установочні елементи, крім цього при першому варіанті установки пристрій може використовуватись і на інші деталі.

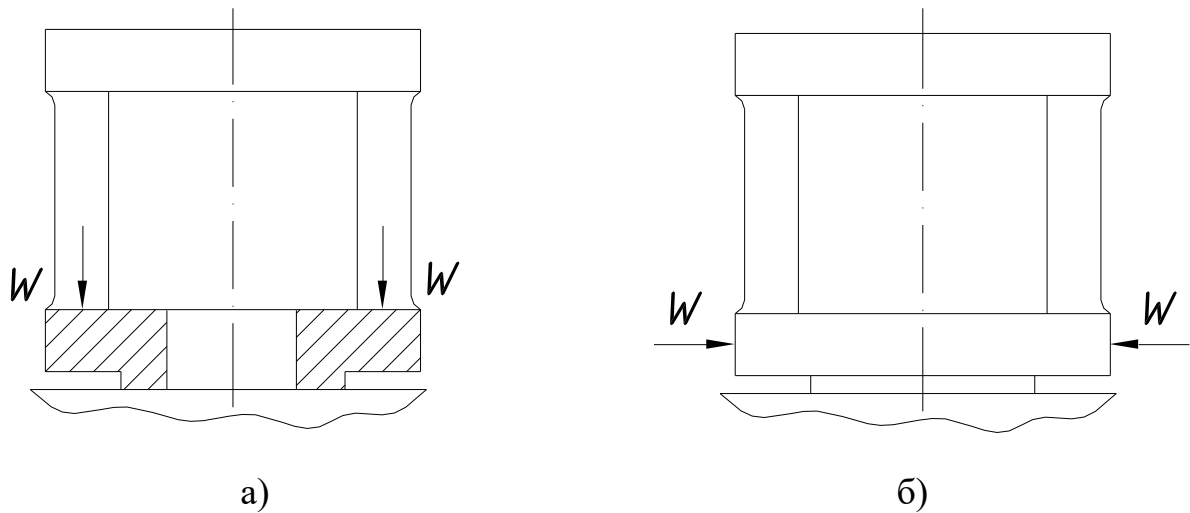


Рисунок 3.4 – Схеми затиску для токарного патрону

При схемі затиску – варіант а потрібно проектувати складні елементи приводу затиснення заготовки. Варіанти б пропонує затиснення деталі за допомогою кулачків, які в даному випадку приводяться в дію за допомогою пневмоциліндра, який зв'язаний штоком.

Вибір оптимальної схеми пристрою здійснюється за допомогою сумарного коефіцієнта ваг.

Таблиця 3.1 – Таблиця коефіцієнтів ваг

Коефіцієнт підсилення	Наявні властивості самогальмування	Кількість передав.механізмів	Проста конструкція	Наявність проміжних ланки	K_{Σ}
2	0	4	0	1	37
3	1	2	1	0	65
3	1	2	0	0	60
10	20	5	5	-3	-

Найбільш сумарний коефіцієнт ваг має схема б, рис. 3.5, а тому її і приймаємо для використання в токарному патроні (рис. 3.6). Оптимальну структурну схему вибираємо виходячи із найбільшого коефіцієнта ваг:

$$K_{\Sigma} = K_1\Pi_1 + K_2\Pi_2 + \dots + K_n\Pi_n, \quad (3.1)$$

де K_i – коефіцієнти, які залежать від характеру пристрою (кількість передавальних механізмів і т. д.).

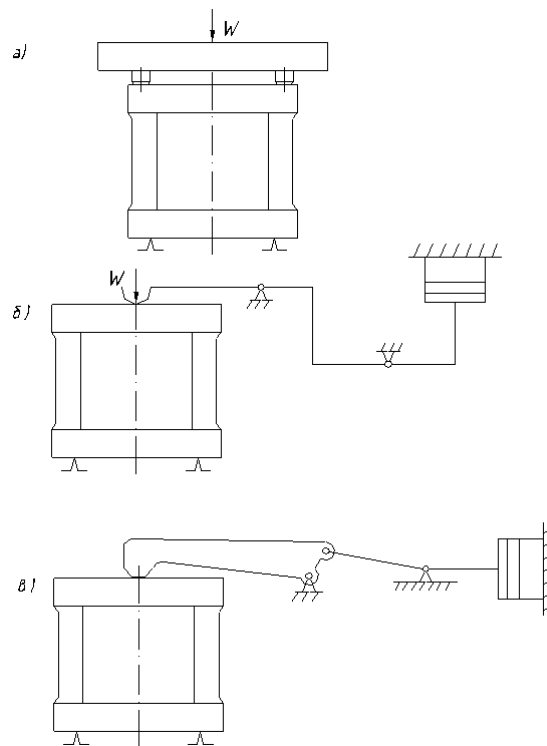


Рисунок 3.5 – Структурні схеми

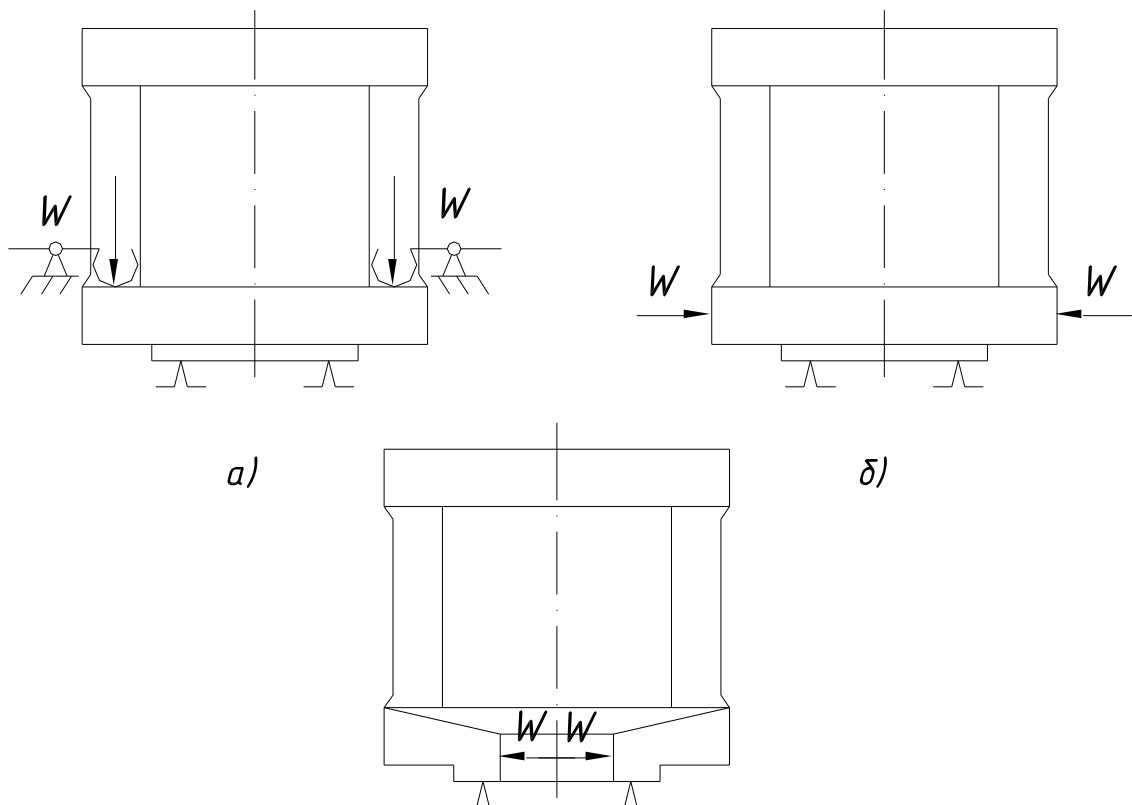


Рисунок 3.6 – Структурні схеми для токарного патрону

Структурна схема (рис.4.6, а):

$$K_{\Sigma 1} = 1 \cdot 10 + 1 \cdot 20 + 1 \cdot 5 + 1 \cdot 8 + (-5) \cdot 1 = 48.$$

Структурна схема (рис.4.6, б):

$$K_{\Sigma 2} = 4 \cdot 10 + 2 \cdot 5 + (-5) \cdot 1 = 45.$$

Структурна схема (рис.4.6, в):

$$K_{\Sigma 3} = 2 \cdot 10 + 0 \cdot 20 + 1 \cdot 5 + 1 \cdot 8 + (-5) \cdot 0 = 32.$$

Таблиця 3.2 – Таблиця коефіцієнтів ваг

Коефіцієнт підсилення	Наявні властивості самогальмування	Кількість передав.механізмів	Проста конструкція	Наявність проміжних ланки	K_{Σ}
2	1	1	1	1	48
4	0	2	0	1	45
2	0	1	1	0	32
10	20	5	8	-5	-

Найбільш сумарний коефіцієнт ваг має схема а, а тому її і приймаємо для використання в багатошпindelній свердлильній головці.

3.2 Розрахунок на точність

Визначаємо розміри, які необхідно отримати на вертикально-свердлильній операції: діам.17,5 мм; діам.370 мм.

Робота пристрою, найбільш впливає на розмір діам. 370 мм. Розрахунок на точність проводимо, виходячи із нерівності [15]:

$$\sum E < (15 - 20\%)TA, \quad (3.2)$$

де $\sum E$ – сумарна похибка пристрою;

TA – допуск на отримуваний розмір.

Сумарна похибка:

$$\sum E = K \sqrt{E_{\epsilon}^2 + E_{pn}^2 + E_{py}^2 + E_{\delta}^2 + E_z^2 + E_{pne}^2 + E_{pi}^2 + E_n^2 + E_{zn}^2 + E_t^2}, \quad (3.3)$$

де E_6 – похибка верстату;

E_{pn} – похибка розташування пристрою;

E_{py} – похибка розташування установчих елементів;

E_6 – похибка базування;

E_3 – похибка затиску;

E_{rne} – похибка розташування напрямлених елементів пристрою рівна:

$$E_{rne} = E_1 + E_2 + E_3 + E_{np}, \quad (3.4)$$

де E_1 – похибка виготовлення кондукторної втулки;

E_2 – найбільший зазор між зовнішнім діаметром втулки і внутрішнім проміжної втулки;

E_3 – допуск неспіввідності зовнішнього та внутрішнього діаметра кондукторної втулки;

E_{np} – похибка перекосу інструменту;

E_{pi} – похибка розташування інструменту;

E_n – похибка налагодження;

E_{zn} – похибка зношування елементів пристрою;

E_t – температурна похибка;

Неперпендикулярність шпинделя до дзеркала стола – 0,05 мм;
ненаправленість ходу пінолі по відношенню до напрямлених, верстату 0,04 мм
на довжині 15 мм: $200:15 = 14$ мм; $0,04:14 = 0,001$ мм;

$$E_6 = \sqrt{0,05^2 + 0,001^2} = 0,05 \text{ мм.}$$

Так як свердлимо за допомогою кондукторної плити, то $E_{pn} = 0$, а $E_{py} = 0,03$ мм.

Наступні похибки:

$$E_6 = S_{\max} \left(230 \frac{\text{H7}}{\text{g6}} \right) = 0,09 \text{ мм.}$$

$$E_3 = 0,32\text{мм}; E_{pne} = 0,06 + 0 + 0,006 + 0,0025 = 0,0685 \text{ мм};$$

$$E_1 = TA = 0,06; E_2 = 0; E_3 = 0,006 \text{ мм};$$

$$E_{np} = \frac{S \max}{L} = \frac{0,09}{35} 0,025\text{мм}.$$

Розточування інструменту залежить від точності виготовлення самої головки і $E_{pc} = 0$, $E_n = 0,1$ мм – рівна найбільшому зазору між зовнішнім діаметром інструменту і внутрішнім діаметром кондукторної втулки.

$$E_n = 0; E_{zn} = 0; E_t = 0;$$

$$\sum E = 1,2 \sqrt{0,05^2 + 0,03^2 + 0,09^2 + 0,32^2 + 0,0685^2 + 0,12} = 1,2 \cdot 0,355 = 0,42\text{мм}.$$

Необхідно, щоб виконувалась умова: ET більше $\sum E$.

Отже, 14 більше 0,42.

Точність виготовлення деталі на такому пристрої дозволяє отримати розмір із необхідною точністю.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ

4.1 Основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори за умови впровадження об'єкта проектування у виробництво

Для більшості металорізальних верстатів при їх експлуатації основними активними небезпечними та шкідливими виробничими факторами є:

- вібрація, причиною виникнення якої є невідновлені силові дії, виникаючі при роботі вузлів та механізмів;
- механічна небезпека, тобто рухові частини обладнання;
- рухомий ріжучий інструмент або рухомі об'єкти обробки;
- стружка матеріалу, що обробляється;
- нагріті поверхні заготовок під час обробки і відразу після неї;
- втома працівників;
- електричний струм;
- висока швидкість обертання шпинделів;
- наявність прямого і відображеного блиску;
- достатньо високий рівень шуму;
- підвищена запиленість робочої зони оператора;
- електромагнітне поле, джерелом якого є струмоведучі частини електроустановок та ін.

Окрім активних факторів, які впливають на працівників та рахунок заключених в них енергетичних ресурсів, при обробці деталей різанням обов'язково виникатимуть небезпечні виробничі фактори пасивно-активної групи, дія яких на обслуговуючий персонаж носить також негативний характер, викликаючи різного типу захворювання.

Що ж до факторів пасивної групи, то можуть виникати небезпечні явища, пов'язані з можливою недостатньою міцністю конструкції верстата; підвищеними навантаженнями на вузли та механізми; впливом змащувальних рідин на здоров'я операторів та налагоджувачів.

Встановивши, які фактори активної, пасивно-активної та пасивної груп можуть виникати при експлуатації металорізального обладнання, є можливість продумати комплекс заходів технічного та організаційного характерів до приведенню перерахованих факторів до нормативних вимог або до повної їх ліквідації.

4.2 Джерела виникнення травматизму та професійних захворювань

Успішна профілактика виробничого травматизму та професійно! захворюваності можлива лише за умови ретельного вивчення причин їх виникнення.

Для полегшення цього завдання прийнято поділяти причини виробничого травматизму і професійної захворюваності на наступні основні групи: організаційні, технічні, санітарно-гігієнічні, психофізіологічні.

Організаційні причини: відсутність або неякісне проведення навчання з питань охорони праці; відсутність контролю; порушення вимог інструкцій, правил, норм, стандартів; невиконання заходів щодо охорони праці; порушення технологічних регламентів, правил експлуатації устаткування, транспортних засобів, інструменту; порушення норм і правил планово-попереджувального ремонту устаткування; недостатній технічний нагляд за небезпечними роботами; використання устаткування, механізмів та інструменту не за призначенням.

Технічні причини: несправність виробничого устаткування, механізмів, інструменту; недосконалість технологічних процесів; конструктивні недоліки устаткування, недосконалість або відсутність захисних загороджень, запобіжних пристроїв, засобів сигналізації та блокування.

Санітарно-гігієнічні причини: підвищений вміст в повітрі робочих зон шкідливих речовин; недостатнє чи нераціональне освітлення; підвищені рівні шуму, вібрації; незадовільні мікрокліматичні умови; наявність різноманітних випромінювань вище допустимих значень; порушення правил особистої гігієни.

Психофізіологічні причини: помилкові дії внаслідок втоми працівника

через надмірну важкість і напруженість роботи; монотонність праці; хворобливий стан працівника; необережність; невідповідність психофізіологічних чи антропометричних даних працівника використовуваній техніці чи виконуваній роботі.

Основні заходи щодо попередження та усунення причин виробничого травматизму і професійної захворюваності поділяються на технічні та організаційні.

До технічних заходів належать заходи з виробничої санітарії та техніки безпеки.

Заходи з виробничої санітарії передбачають організаційні, гігієнічні та санітарно-технічні заходи та засоби, що запобігають дії на працюючих шкідливих виробничих факторів.

Це створення комфортного мікроклімату шляхом влаштування відповідних систем опалення, вентиляції, кондиціонування повітря; теплоізоляція конструкцій будівлі та технологічного устаткування; заміна шкідливих речовин та матеріалів нешкідливими; герметизація шкідливих процесів; зниження рівнів шуму та вібрації; установлення раціонального освітлення; забезпечення необхідного режиму праці та відпочинку, санітарного та побутового обслуговування.

Заходи з техніки безпеки передбачають систему організаційних та технічних заходів та засобів, що запобігають дії на працюючих небезпечних виробничих факторів.

До них належать: розроблення та впровадження безпечного устаткування; механізація та автоматизація технологічних процесів; використання запобіжних пристосувань, автоматичних блокуючих засобів; правильне та зручне розташування органів керування устаткуванням; розроблення та впровадження систем автоматичного регулювання, контролю та керування технологічними процесами, принципово нових нешкідливих та безпечних технологічних процесів.

До організаційних заходів належать: правильна організація роботи,

навчання, контролю та нагляду з охорони праці; дотримання трудового законодавства, міжгалузевих та галузевих нормативних актів про охорону праці; впровадження безпечних методів та наукової організації праці; проведення оглядів, лекційної та наочної агітації і пропаганди з питань охорони праці; організація планово-попереджувального ремонту устаткування, технічних оглядів та випробувань транспортних та вантажопідіймальних засобів, посудин, що працюють під тиском.

Експлуатація металорізальних верстатів пов'язана з травматизмом, який найбільш часто виникає при ремонті і обслуговуванні. При цьому безпосередніми причинами появи нещасних випадків є: недосконалість засобів захисту, відмова системи управління, неефективність системи видалення стружки, електронебезпека, небезпека травм від рухомих частин обладнання. До факторів, що можуть привести до погіршення здоров'я робітника відносяться: наявність домішок в повітрі, шум, погане освітлення.

Джерелом небезпеки при недосконалості засобів захисту може бути неспрацювання кінцевих вимикачів, світлодавачів, відсутність огороження робочої зони. Відмова системи управління може привести до неконтрольованого вмикання і вимикання різних систем верстата. Неефективність системи видалення стружки приводить до травм при її видаленні робітниками. Джерелом електронебезпеки верстата є напруга в мережі 380 В.

Травмування можливе при попаданні в зону руху автооператора, інших рухомих частин верстата.

Джерелом наявності шкідливих домішок в повітрі є мастильно-охолоджувальні рідини. Шум виникає при роботі двигуна, при переміщенні автооператора, роботі ланцюгових передач і значно підсилюється при незбалансованості рухомих вузлів верстата. Погане освітлення особливо небезпечне при проведенні налагодочних робіт, які потребують високої точності встановлення вузлів, а отже, напруження зору.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У даному дипломному проєкті на основі базового був розроблений ефективніший і економічно вигідніший технологічний процес обробки перехідника.

Для цього ми провели аналіз технологічності конструкції деталі, вибрали та обґрунтували найоптимальніший спосіб одержання заготовки, визначили припуски та міжопераційні розміри, провели вибір ріжучого інструменту й розрахунок режимів різання за операціями, здійснили нормування розробленого технологічного процесу, а також визначили кількість необхідного обладнання.

Розроблені конструкції спеціальних верстатних пристроїв дали змогу підвищити якість виготовлення деталі і зменшити підготовчо-заклучний час на операціях.

В окремому розділі подано розробку плану розміщення обладнання й робочих місць, вибрано тип й основні будівельні параметри споруди. Проведено розрахунок потреб ділянки в енергетичних ресурсах.

Розрахунки, проведені в економічній частині підтвердили правильність прийнятих проєктних рішень і показали, що завдяки впровадженню нового технологічного процесу знизилася собівартість деталі, покращилося завантаження деталі, зменшився обсяг капіталовкладень, а також покращився цілий ряд інших техніко-економічних показників.

Також для забезпечення безпечних умов роботи персоналу і суттєвого їх покращення розглянуто ряд питань охорони праці, охорони навколишнього середовища та безпеки життєдіяльності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Боженко Л. І. Технологія виробництва заготовок у машинобудуванні. Київ : НМК ВО, 1990. 264 с.
2. Паливода Ю. Є., Дячун А.Є., Лещук Р.Я. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки : навч.-метод. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2019. 240 с.
3. Паливода Ю. Є., Ткаченко І. Г., Капаціла Ю. Б., Гевко Ів. Б. Технологія оброблення корпусних деталей : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2016. 156 с.
4. Виговський Г. М. Підвищення працездатності торцевих фрез для чистової обробки плоских поверхонь : автореф. дис. ... канд. техн наук : Київ : НТУУ КПІ, 2000. 16 с.
5. Мельничук П. П. Наукові основи чистового торцевого фрезерування плоских поверхонь : дис. ... докт. техн. наук : 05.03.01. Київ : НТУУ КПІ, 2002.
6. Дячун А. Є., Капаціла Ю. Б., Паливода Ю. Є., Ткаченко І. Г. Методичний посібник з виконання курсового проекту з дисципліни «Технологія обробки типових деталей та складання машин». Тернопіль : ТНТУ, 2016. 75 с.
7. Пилипець М. І. Правила заповнення основних форм технологічних документів : навч.-метод. посіб. / Уклад. Пилипець М. І., Ткаченко І. Г., Левкович М. Г., Васильків В. В., Радик Д. Л. Тернопіль : ТДТУ, 2009. 108 с.
8. Капаціла Ю. Б., Комар Р. В. Проектування машинобудівних виробництв : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2017. 40 с.
9. Дичковський М. Г. Спеціальна технологічна оснастка. Тернопіль : ТНТУ, 2014. 243 с.
10. Барановський В.М., Підгурський М.І., Мариненко С.Ю. Конспект лекцій з дисципліни «Безпека життєдіяльності для студентів всіх спеціальностей і форм навчання. Вид. Тернопільського національного технічного університету. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2015. 141 с./67 с.
11. Барановський В.М., Сенчишин В.С. Методичні вказівки для самостійної роботи студентів з курсу «Безпека життєдіяльності». Вид.

Тернопільського національного технічного університету. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2015. 62 с.

12. Безпека життєдіяльності: Навчальний посібник / Під ред. Я.Г. Бедрія. Львів, 1997. 275с.

13. Жидецький В. Ц., Джигирей В. С., Мельников О. В. Основи охорони праці : підручник (видавн. 5-те, доповнене). Л.: Афіша, 2000. 350 с.

ДОДАТКИ