

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти

бакалавр

на тему: «Підготовка машинобудівного виробництва стрижня
шатуна головного дизельного двигуна»

КРБ.133ГМбд_31[2].11.00.00.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти
за освітньо-професійною програмою
«Машини та обладнання
сільськогосподарського виробництва»
спеціальності 133 *«Галузеве*
машинобудування»
ступеня вищої освіти *бакалавр*
групи 133ГМбд_31[2]
СОПКО Ігор

Керівник: докт. техн. наук, професор
САЙЧУК Олександр

Полтава – 2025 року

ВСТУП

Сучасне сільськогосподарське виробництво неможливо уявити без широкого застосування механізованих засобів, що забезпечують високу продуктивність та зниження трудовитрат. Одним із найважливіших елементів сільськогосподарської техніки є силові установки, і особливо дизельні двигуни. Завдяки своїй надійності, високій потужності та паливній економічності, дизельні двигуни набули широкого поширення в тракторах, комбайнах, ґрунтообробних та посівних агрегатах, а також у стаціонарних установках, що використовуються на фермах та агропідприємствах.

Головною перевагою дизельних двигунів є їх здатність ефективно працювати при високих навантаженнях та в різних погодних умовах, що особливо актуально для сільського господарства, де техніка експлуатується сезонно, але в інтенсивному режимі. Крім того, дизельне паливо має більшу енергоємність у порівнянні з бензином, що робить використання таких двигунів більш вигідним з економічної точки зору. Довговічність, високий коефіцієнт корисної дії, простота конструкції та стійкість до перевантажень – усі ці якості сприяють пошуків на дизельні двигуни в аграрній сфері.

Отже, розробка, вивчення конструкції, принципів роботи, особливостей технічного обслуговування дизельних двигунів має важливе значення для підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва, зниження витрат та забезпечення безперебійної роботи техніки. Крім того, в умовах зростаючих вимог до екологічності та енергоефективності все більшого значення набуває модернізація дизельних установок та впровадження сучасних систем управління, що також потребує уважного аналізу та оцінки.

Мета роботи полягає у розробленні базових положень для підготовки виробництва із забезпечення потреб ринку. **Об'єктом** розробки є шатун головний дизельного двигуна внутрішнього згорання, а **предметом** – конструкторсько-технологічні аспекти забезпечення процесів виготовлення стрижня.

Для вирішення поставленої мети необхідно розв'язати наступні **задачі**:

- проаналізувати службове призначення вузла, здійснити аналіз точності, охарактеризувати конструкторський матеріал, що застосовуються для виготовлення деталі, а також визначити тип виробництва на підставі річної програми запуску виробу;

- здійснити відпрацювання на технологічність вузла та деталі, запропонувати маршрут обробки поверхонь деталі, а також визначити припуски та операційні розміри;

- сконструювати затискне пристосування для реалізації процесу механічної обробки, а також визначити зусилля затиску, параметри силового приводу, здійснити розрахунок слабкої ланки;

- визначити економічну ефективність методу отримання заготовки деталі, а також запропонувати заходи із точки зору охорони праці та захисту довкілля;

- розробити комплект технічної документації для забезпечення потреб підприємств галузевого машинобудування.

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ

1.1 Службове призначення вузла, характеристика, опис

На розгляд виноситься шатун головний дизельного ДВЗ (рисунок 1.1, таблиця 1.1). Призначення даного вузла полягає у передачі зворотно-поступального руху.

Рисунок 1.1 – Шатун головний: 1 – стрижень; 2, 3 – втулка; 4 – кришка;
5 – болт; 6 – гайка; 7 – шплінт; 8 – штифт

Таблиця 1.1 – Технічна характеристика вузла

Назва параметра	Величина
Призначення	Передача руху від поршня до колінчастого вала
Максимальний крутний момент, що може бути переданий, Н·м	600
Габаритні розміри, мм	852×388×140
Маса, кг	71,6

Стрижень 1 та кришка 4 з'єднані між собою чотирма болтами 5. Таке з'єднання утворює отвір $\varnothing 202H7$, котрим шатун встановлюється на колінчастий вал двигуна. Для запобігання розгвинчування гайок 6, котрими затягнута кришка, передбачено шплінти 7. Палець поршня встановлюється на верхню частину стрижня, тобто в отвір $\varnothing 95H7$ в котрий запресована втулка 2 із антифрикційного металу. Даний шатун має деяку особливість, а саме в отвір $\varnothing 80H7$ встановлюється палець на котрому розміщується додатковий шатун менший за розмірами, котрий забезпечує роботу допоміжного поршня. Таким чином, даний двигун має V-подібну конструкцію розташування циліндрів.

За технічними вимогами вузол має досить жорсткі вимоги до маси $\pm 0,1$ кг, при масі 71,6 кг. Така вимога зумовлена підтриманням балансу колінчастого валу.

Деталлю, що вилоситься на детальний розгляд, є стрижень (рисунок 1.2).

Стрижень виготовлений з матеріалу сталі 40ХН2МА за ДСТУ 7806-2015. Він має сумарну довжину 775 мм, підлягає обов'язковій термообробці нормалізації (температура 860...880°C). Деталь має доволі складну конфігурацію. Найбільші отвори, у тому числі глухі.

Рисунок 1.2 – Стрижень

1.2 Аналіз параметрів точності

Аналіз параметрів точності деталі включає оцінку відхилень форми, розмірів, розташування та шорсткості функціональних поверхонь. Він необхідний для забезпечення відповідності виробу вимогам характеристики та функціональності.

При аналізі враховуються допуски, вимірювальні методи та вплив технологічного процесу. Результати аналізу дозволяють виявити і вияснити причини браку та підрахувати якість виробництва.

При проведенні аналізу параметрів точності деталі заповнюємо таблицю 1.2 (рисунок 1.2) у якій наведені дані про точність виготовлення та якість обробки [3, 9, 11, 13, 18, 21, 25, 29, 40, 47, 48].

Таблиця 1.2 – Аналіз параметрів точності деталі

Тип поверхні	Розмір і допуск	Квалітет	Відхилення		Шорсткість Ra, мкм
			Форми	Положення	
1	2	3	4	5	6
Циліндрична	$\varnothing 202^{+0,046}$	H7	$\sqrt{0,01}$	—	1,6
Циліндрична	$\varnothing 105^{+0,035}$	H7	$\sqrt{0,01}$	$\odot 0,02$	1,6
Циліндрична	$\varnothing 80^{+0,03}$	H7	$\sqrt{0,01}$	$\odot 0,02$	1,6
Циліндрична	$\varnothing 27^{+0,052}$	H9	—	—	1,6
Лінійний	$140_{-0,04}$	h7	—	—	1,6
Лінійний	$90^{+0,14}$	H10	—	—	3,2
Лінійний	$70_{-0,15}^{+0,03}$	D12	—	—	—
Міжвісьова відстань	$254 \pm 0,105$	Js10	—	—	—
Міжвісьова відстань	$77 \pm 0,06$	Js10	—	—	—

Проаналізувавши точність параметрів деталі, можна зробити висновок, що вимоги до точності розмірів і шорсткості не завищені. Максимальний квалітет точності 7-ий, а мінімальна шорсткість $R_a=1,6$ мкм, що без будь-яких ускладнень досягається в умовах машинобудівного підприємства.

1.3 Характеристика матеріалу деталі, замінник

Матеріалом стрижня є сталь 40XH2MA за ДСТУ 7806-2015 [24, 37]. Якість матеріалу має великий вплив на довговічність деталей. Керуючись величиною й характером навантаження, що діють на деталь, та умовами їх, роботи по відношенню до змащування, швидкості руху, температури, корозії та технологічного процесу виготовлення, виконуємо вибір матеріалу.

У результаті багатьох досліджень встановлено, що з підвищенням твердості, зносостійкість деталей, виготовлених з вуглецевих сталей та працюючих в однакових умовах, зростає. В той же час відомо, що твердість сталей підвищується із збільшенням вмісту вуглецю. Введення у сталь спеціальних легуючих елементів забезпечує поєднання високої міцності сталі, прогартовуваності та її корозійної стійкості.

Сталь 40XH2MA призначена для таких деталей, як колінчасті вали, клапани, шатуни, кришки шатунів, відповідальні болти, шестерні та ін. Важконавантажені деталі складної конфігурації, що працюють при динамічних навантаженнях, до яких висуваються вимоги високої міцності при достатній пластичності та в'язкості. Сталь теплостійка до 450°C. Хімічний склад і механічні властивості матеріалу, а також можливі варіанти її заміни наведені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Хімічний склад та механічні властивості матеріалу деталі

Сталь	σ_b , МПа	Твердість НВ·10 ⁻¹ , МПа	Відносне видовження %	Масова частка хімічних елементів, %					
				C	Cr	Mn	Ni	Не більше	
								F	S
40XH2MA	1080	525	10	0,37-	0,6-	0,5-	1,25-	0-	0-0,025
				0,44	0,9	0,8	165	0,025	

40Х2Н2МА	1080	255	10	0,35- 0,42	1,25- 1,65	0,3- 0,6	1,35- 1,75	0- 0,025	0-0,025
----------	------	-----	----	---------------	---------------	-------------	---------------	-------------	---------

Як бачимо, фізичні і хімічні властивості матеріалів схожі між собою, тобто можуть бути взаємозамінними.

1.4 Визначення типу виробництва та програми запуску

Маркетингове дослідження показало попит ринку в деталях валу-шестерні редуктора конічного у кількості 300 штук на рік. Визначимо річну програму запуску виробів за формулою:

$$N_{зан} = (N_{вип} + N_{зч}) \cdot (1 + k_{бр}), \quad (1.1)$$

де $N_{вип}$ – річна програма випуску виробів, шт.;

$N_{зч}$ – кількість виробів, що йдуть на запчастини, приймаємо рівною 3-5% від програми запуску, тис. од.;

$k_{бр}$ – коефіцієнт, що враховує технологічні витрати, які неможливо уникнути.

Приймаємо рівним 2-3% від сумарної кількості виробів, що формують програму випуску та йдуть на запчастини.

$$N_{зан} = (300 + 0,04 \cdot 300) \cdot (1 + 0,025) = 320 \text{ (шт.)}$$

Максимальна маса оброблених заготовок деталей вузла не перевищує 300 кг, тому за [34] визначаємо тип виробництва – середньосерійне.

РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ

2.1 Аналіз технологічності вузла та деталі

Аналіз технологічності напряду залежить від типу виробництва, оскільки кожному типу виробництва призначенні свої способи виготовлення заготовки і методи їх обробки. Якісну оцінку технологічності проводять за матеріалом, геометричною формою, якістю поверхонь за поставленням розмірів і можливим способом отримання заготовки [23].

Аналізуючи технологічність деталі необхідно перевірити:

- можливість спрощення деталі завдяки більш раціональній формі з легко доступними для обробки поверхнями і достатньою жорсткістю з метою зменшення матеріаломісткості та трудомісткості;
- можливість зменшення кількості та протяжності поверхонь деталей що обробляється;
- наявність на деталях зручних базуючи поверхонь або можливість створення зручних технологічних баз;
- можливість технологічно пов'язати розміри, що забезпечують якнайкоротші технологічні розмірні ланцюги;
- можливість раціонального вибору виготовлення заготовки, що забезпечує найбільш високий коефіцієнт використання металу.

Оцінка технологічності складальної одиниці за коефіцієнтами стандартизації та уніфікації проводиться з метою поліпшити технологічні властивості деталі, зменшити кількість не стандартизованих деталей, унікальних трудомістких деталей. Коефіцієнт стандартизації обчислюється за формулою:

$$K_{cm} = \frac{E_{cm}}{E}, \quad (2.1)$$

де E_{cm} – кількість стандартизованих одиниць;

E – загальна кількість.

$$K_{cm} = \frac{5}{17} = 0,29.$$

Обчислення коефіцієнта уніфікації відбувається за формулою:

$$K_{yn} = \frac{E_y}{E}, \quad (2.2)$$

де E_y – кількість уніфікованих одиниць;

E – загальна кількість одиниць.

$$K_{yn} = \frac{12}{17} = 0,71$$

В таблиці 2.1 наводимо аналіз технологічності деталі.

Таблиця 2.1 – Аналіз на технологічність деталі

№ п/п	Видиologi технологічності	Висновки по показникам технологічності	Міри до покращення технологічності
1	2	3	4
1	Наявність зручних баз, що забезпечують необхідну орієнтацію та надійне закріплення заготовки.	Так, технологічно.	—

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4
2	Нежорсткі корпусні деталі повинні мати ребра жорсткості.	Дана деталь є досить жорсткою.	—
3	Конструкція деталі повинна забезпечувати її установку за допомогою простих затискних пристроїв та пристосувань.	Так як деталь має складну конфігурацію використання стандартних затискних пристроїв неможливе.	Для затискання і базування деталі на верстаті потрібно застосовувати спеціальне оснащення.
4	Отвори повинні бути такими, щоб їх можна було обробляти на прохід.	Дана деталь має глухі отвори.	Дане обладнання забезпечує обробку глухих отворів.
5	Для можливості автоматизації обробки в корпусі деталі не бажано застосовувати різбові отвори менше 6 мм.	В корпусі деталі різбові отвори менше 6 мм не застосовуються.	—
6	В конструкції деталі необхідно передбачати можливість захвату її роботом.	Конструкція деталі дозволяє можливість захвату роботом.	—
7	Конструкція деталі не повинна мати отвори неперпендикулярні до площини.	Дана деталь має отвори неперпендикулярні до площини.	Задає конструктором.

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4
8	В конструкції деталі повинно бути якнайменше внутрішніх торців, котрі потрібно обробляти.	Дана деталь не має внутрішній торець.	—
9	Конструкція деталі повинна забезпечувати багатошпindelну і багаторізцеву обробку.	Конструкція деталі дозволить можливість використання багатошпindelної обробки.	—
10	Для можливості автоматизованої збірки необхідно передбачити на установчих поверхнях фаски та лиски.	Дана деталь має фаски та лиски на установчих поверхнях.	—

Отже, деталь є зразком технологічного з точки зору автоматизованого виробництва.

2.2 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення

При аналізі дієчого технологічного процесу було помічено, що він розроблений достатньо грамотно і до нього важко зробити які-небудь особливі зауваження чи доповнення. Але достатньо суттєвий недолік полягає в тому, що даний технологічний процес написаний під обладнання, яке вже було на підприємстві, а це значить, що можливо значно поліпшити його підібравши більш ефективні верстати.

У базовому технологічному процесі використовується багато універсальних верстатів, що потребує більш висококваліфікованих кадрів, більше часу на

налагодження верстата, дає меншу точність обробки. Тому при проектуванні нового технологічного процесу буде доцільним замінити більшу частину універсальних верстатів на верстати із ЧПК. З одного боку верстати із ЧПК дещо дорожчі, але вони потресують менш кваліфікованих кадрів, меншої кількості робітників-верстатників. До того ж один верстат з ЧПК може виконувати функції декількох універсальних.

Таким чином, при використанні верстатів із ЧПК, технологічний процес виготовлення деталі значно спрощується і скорочується. Використовуючи обробні центри, що поєднують у собі операції фрезерних, розточувальних і свердлильних верстатів техпроцес стрижня зводить до мінімуму кількість перевстановлень заготовки. Адже, обробка на таких верстатах може вестися з п'яти сторін за один установ. Використання таких верстатів в середньосерійному виробництві значно скорочує нормо-час виготовлення деталі, а отже і є економічне вигідним.

2.3 Обробка поверхонь

Різні поверхні деталі виконують різні функції, тому вимоги до них найрізноманітніші: за точністю, шорсткістю та іншими критеріями [3, 6, 9, 11, 13, 18, 21]. Кількість ступенів обробки визначається за формулою:

$$\varepsilon = \frac{T_3}{T_D} = \frac{T_3}{T_1} \cdot \frac{T_3}{T_2} \dots \frac{T_{i-1}}{T_i} \dots \frac{T_{n-1}}{T_D} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \dots \varepsilon_n = \prod_i^n \varepsilon_i, \quad (2.3)$$

де ε – загальне значення;

ε_i – окремі ступені уточнення;

n – число ступенів обробки;

T_3, T_D, T_i – відповідно допуски для заготовки, деталі, окремого ступеня обробки.

Розкладаючи загальне значення на співмножники, потрібно враховувати типові рекомендації: для першого ступеня чорнової обробки досяжними є величини

уточнення $\varepsilon < 6$, для проміжних ступенів напівчистої обробки $\varepsilon = 3 \dots 4$; для ступенів чистої обробки $\varepsilon = 1,5 \dots 2$.

Для найбільш спрямованого вибору числа ступенів обробки необхідно застосувати формулу:

$$n_p = \lg(\varepsilon) / 0,46. \quad (2.4)$$

Пропонуємо наступні обробки поверхонь деталі (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 – Методи обробки поверхонь деталі

Позначення поверхні	Квалітет точності	Допуск за кресленком	Шорсткість	Допуск заготовки	Припуск за квалітет	Загальне уточнення	Номер маршруту	Можливі маршрути обробки поверхонь	Квалітет після обр	Досягнений допуск	Коефіцієнт уточнень	Загальне уточнення
1	2	3	4	5	6	7	8	Перехід МОП	10	11	12	13
Ø202H7	7	0,046	1,6	2,9	16	63,04	1	Розточування чорнове	12	0,46	6,3	63,04
								Розточування напівчистове	9	0,115	4	
								Розточування чистове	7	0,046	2,5	
							2	Розточування чорнове	12	0,46	6,3	
								Розточування напівчистове	9	0,115	4	
								Шліфування	7	0,046	2,5	

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Ø165H7	7	0,035	12,5	2,2	16	62,86	1	Розточ. чорн.	12	0,35	6,3	62,86
								Розточування напівчистове	9	0,087	4	
								Розточування чистове	7	0,035	2,5	
							2	Розточування чорнове	12	0,35	6,3	62,86
								Розточування напівчистове	9	0,087	4	
								Хемінгування	7	0,035	2,5	
Ø80H7	7	0,03	1,6	1,9	16	63,3	1	Розточування чорнове	12	0,3	6,3	63,3
								Розточування напівчистове	9	0,074	4,05	
								Розточування чистове	7	0,03	2,47	
							2	Зенкерування чорнове	12	0,3	6,3	63,3
								Зенкерування напівчистове	9	0,074	4,05	
								Розгордання	7	0,03	2,47	
Ø27H9	9	0,052	2,5	1,3	16	25	1	Свердління	12	0,21	6,2	25
								Зенкерування	9	0,052	4,04	
							2	Свердління	12	0,21	6,2	25
								Зенкерування	10	0,084	2,5	
								Розвертання	9	0,052	1,6	

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Ø10H7	7	0,015	1,6	0,9	16	60	1	Свердління	9	0,036	25	60
								Зенкерування	7	0,015	2,4	
							2	Свердління	12	0,15	6	60
								Зенкерування	9	0,036	4,17	
								Розвертання	7	0,015	2,4	
							140H10	10	0,16	2,5	2,5	16
	Фрезерування напівчистове	10	0,16	2,5								
2	Фрезерування чорнове	14	1,0	2,5	15,6							
	Фрезерування напівчистове	12	0,4	2,5								
	Фрезерування чистове	10	0,16	2,5								
	Фрезерування чистове	10	0,16	2,5								
90H10	10	0,14	3,2	2,2	16	15,7	1	Фрезерування чорнове	12	0,35	6,28	15,7
								Фрезерування напівчистове	10	0,14	2,5	
								Фрезерування чорнове	14	0,87	2,53	15,7
								Фрезерування напівчистове	12	0,35	2,43	
								Фрезерування чистове	10	0,14	2,5	
								Фрезерування чистове	10	0,14	2,5	

Приклад, для обробки поверхні Ø105H7. Допуск за креслеником 0,035 мм, допуск заготовки – 2,2 мм. Загальне уточнення складає:

$$\varepsilon = \frac{2,2}{0,035} = 62,9.$$

Орієнтовна кількість ступенів обробки:

$$n_p = \frac{\lg 62,9}{0,46} \approx 3,9.$$

Отже, необхідно передбачити не менше 4 етапів обробки для даної поверхні.

При виборі маршруту обробки поверхонь стрижня керуємося застосуванням прогресивних та найекономічніших методів обробки. Таким чином, для всіх поверхонь обираємо 1 номер маршруту.

2.4 Розробка маршруту виготовлення деталі

Маршрут обробки деталі будемо на підставі обраних маршрутів обробки окремих поверхонь з урахуванням типу виробництва (таблиця 2.3).

Таблиця 2.3 – Маршрут обробки деталі

№ операції	Обладнання	Зміст переходів оброблення
1	2	3
005 Заготівельна	КГШП	1. Штампувати заготовку на КГШП. Поковка Т4-С3-М2
010 Термічна	Піч електронагрівальна СНО-3	Нормалізувати заготовку при температурі 860...880°C, 32...76 НРС.

Продовження таблиці 2.3

1	2	3
015 Фрезерно- розточу- вально- сверд- пильна	Горизонтально обробний центр IC800ПМФ4	1. Фрезерувати пов.1 та пов.2 зняти фаску $12 \times 45^\circ$ на пов.3 та фаску $12 \times 45^\circ$ на пов.4. 2. Фрезерувати пов.5. 3. Центрувати отв.6 і отв. тип А5.
		4. Свердлити отв.6 $\varnothing 40^{+0,3}$ 5. Свердлити отв.6 $\varnothing 90^{+0,3}$ 6. Розточити отв.6 начорно, до $\varnothing 103^{+0,45}$ 7. Розточити отв.6 напівчисто, до $\varnothing 103,7^{+0,1}$. 8. Точити канавку 8. 9. Розточити начисто отв.6. 10. Свердлити отв. 7 $\varnothing 40^{+0,3}$. 11. Свердлити отв. 7 $\varnothing 78^{+0,3}$. 12. Розточити отв. 7 напівчисто, до $\varnothing 78,7^{+0,1}$. 13. Розгорнути отв. 7 начисто. 14. Фрезерувати пов. 9. 15. Розточити пов.10.

Продовження таблиці 2.3

1	2	3
<p>Ø20 Фрезерно- свердлильний</p>	<p>Горизонтально обробний центр IC800LIMF4</p>	<p>1. Фрезерувати пов.1 по контуру. 2. Фрезерувати фаску 12×45° на пов.2 та фаску 12×45° на пов.3.</p>
		<p>4. Фрезерувати пов.4 (за чотири проходи шириною: 1) 30; 2) 60; 3) 75; 4) 90. 5. Фрезерувати пов.5 6. Фрезерувати пов.6 та пов.7. 7. Центрувати отв.8 тип А5. 8. Свердлити отв.8 Ø9,8^{+0,1} 9. Розгернути отв.8. 10. Свердлити отв.9. 11. Центрувати 4 отв.10 та 1 отв.11 тип А5. 12. Свердлити 4 отв.10 Ø26,5^{+0,2} 13. Зенкерувати 4 отв.10. 14. Свердлити отв.11. 15. Фрезерувати зубці на пов. пов.12 та на пов.13. 16. Центрувати отв.14.</p>

Продовження таблиці 2.3

1	2	3
025 Фрезерна	Вертикально- обробний центр HAAS UF-5/50.	1. Фрезерувати пов.1 та пов.2. 2. Фрезерувати пов.3.
030 Свердлиль- на	Радіально-свердильний верстат 2С559	Свердлити отв. 1.
035 Термічна	Піч електронагрі- вальна СНО-3	Загартувати деталь 45.....50 НВС
046 Шліфувальна	Шліфшліфувальний верстат 3Б451	Шліфувати зуюди на пов.1 та на пов.2.

Продовження таблиці 2.3

1	2	3
045 Слесарна	Верстак слюсарний.	Виконати складання стрижня та кришки
050 Фрезерно-розточувальна	Вертикально-обробний центр HAAS VF-5/50.	2. Фрезерувати пов.1 3. Розточити отв.2 напівчисто, до $\varnothing 201,7^{+0,1}$ та зняти фаску $7 \times 45^\circ$ на пов.2 4. Розточити начисто отв.2 5. Розточити отв.3 напівчисто, до $\varnothing 104,7^{+0,1}$ 6. Зняти фаску $2 \times 45^\circ$ на пов.3 7. Зняти фаску $2 \times 45^\circ$ на пов.3 8. Розточити начисто отв.3 9. Розточити отв.4 напівчисто, до $\varnothing 79,7^{+0,1}$ та зняти фаску $2 \times 45^\circ$ в отв.4 10. Розточити начисто отв.4

Продовження таблиці 2.3

1	2	3
055 Розточувальна	Вертикально-обробний центр HAAS VF-5/50.	1. Фрезерувати пов.1 2. Зняти фаску 7×45° на пов.2 3. Зняти фаску 2×45° на пов.3 4. Зняти фаску 2×45° на пов.4 5. Зняти фаску 2×45° на пов.5
060 Слюсарна	Верстак слюсарний 12458-9665	Притупити гострі крайки та зняти заусенці
065 Мийна	Мийна машина ММ-100	Промити деталь
070 Контрольна	Стіл БТК	Контролювати деталь відповідно до кресленика.

2.5 Визначення припусків на обробку та операційних розмірів

Як відомо, застосовуються два методи для визначення припусків на обробку: розрахунково-аналітичний та табличний [29, 40, 48]. Визначення припусків на механічну обробку розрахунково-аналітичним методом проводимо для однієї найбільш точної поверхні. У нашому випадку це розмір $\varnothing 104H7(+0,035)$ мм.

Розрахункова формула для визначення припуску на обробку зовнішньої чи внутрішньої поверхонь обертання

$$2z_{i \min} = 2 \cdot (Rz_{i-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}), \quad (2.5)$$

де Rz_{i-1} – висота мікронерівностей, мкм;

T_{i-1} – глибина дефектного шару на попередньому переході, мкм;

ρ_{i-1} – сумарні відхилення розташування поверхні (відхилення від паралельності, перпендикулярності, співвісності, симетричності, перетину осей, позиційне) і у деяких випадках відхилення форми поверхні (відхилення від площинності, прямолінійності) на попередньому переході;

ϵ_1 – похибка встановлення заготовки на переході, що виконується.

Правильність розрахунку перевіряється за формулою:

$$Z_{0 \max} - Z_{0 \min} = \delta_{\text{заг.}} - \delta_{\text{дет.}} \quad (2.6)$$

де $\delta_{\text{заг.}}$, $\delta_{\text{дет.}}$ – допуск заготовки та деталі відповідно.

Карта розрахунку припусків на обробку та граничні розміри по технологічних переходах наведені у таблиці 2.4.

Проводимо перевірку правильності розрахунку:

$$2 \cdot Z_{\max} - 2 \cdot Z_{\min} = \delta_{\text{заг.}} - \delta_{\text{дет.}} \quad (2.7)$$

$$2 \cdot 7032 - 2 \cdot 4898 = 2200 - 35$$

$$2165 = 2165.$$

Отже, умова виконується.

Таблиця 2.4 – Розрахункова карта припусків і граничних розмірів за технологічними переходами при обробці $\varnothing 104\text{H}7^{(+0,035)}$ мм

Технол. перехід	Елемент припуску				Розр. прип. $2Z_{\min}$, мкм	Розр. розмір d_p , мм	Допуск	Гранич. розмір		Гранич. припуск	
	R_z	T	r	ϵ				d_{\min}	d_{\max}	$2Z_{\max}$	$2Z_{\min}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Заготовка	320	350	819	-	-	99,137	2200	96,937	99,137	-	-
Свердління	125	120	744	1032	3975	103,112	400	102,712	103,112	5775	3975
Розточ. напівчистове	40	40	62	-	639	103,751	100	103,651	103,751	939	639
Розточ. чистове	5	5	49,6	-	284	104,035	35	104	104,035	349	284
										Σ 7063	4898

Для наочності результати розрахунків зручно зобразити графічно (рисунок 2.1).

Рисунок 2.1 Графічна схема розташування припусків на обробку ступені валу $\text{Ø}104\text{H}7^{(+0,035)}$ мм

На решту поверхонь деталі припуски визначаємо табличним способом із використанням довідників. Конкретні значення припусків заносимо до таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 - Припуски на механічно оброблювані поверхні деталі

№ поб.	Найменування поверхні	Найменування переходу	Прип. Z_{min} , мм	Квал.	Технол. допуск, мкм
1	Отвір $\varnothing 10H7$	Свердління	4,9	12	100
		Розгортання	0,1	7	10
2	Отвір $\varnothing 7H7$ (технологічна база)	Свердління	19	12	200
		Розточування напівчист.	0,35	9	50
		Розточування чистове	0,15	7	20
3	Отвір $\varnothing 80H7$	Розточування напівчист.	0,35	9	50
		Розточування чистове	0,15	7	20
4	Отвір $\varnothing 105H7$	Розточування напівчист.	0,35	9	60
		Розточування чистове	0,15	7	25
5	Отвір $\varnothing 202H7$ За 2 операції	Розточування чорнове	3	12	400
		Розточування напівчист.	0,35	9	100
		Розточування чистове	0,15	7	40
6	Площина 140d10 За 4 операції	Фрезерування чорнове	3,2	12	500
		Фрезерування чорнове	3,2	12	500
		Фрезерування чистове	0,3	10	300
		Фрезерування чистове	0,3	10	300
7	Паз	Фрезерування чорнове	30	14	500
		Фрезерування чорнове	30	14	500
		Фрезерування напівчистове	15	12	300
		Фрезерування чистове	15	10	100
8	Зубці 8js8	Фрезерування	4,8	11	100
		Шліфування	0,05	8	15

На інших поверхнях припуск знімається за один прохід.

РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ

3.1 Розробка конструкції затискного пристосування

Для операції механічної обробки деталі (020 фрезерно-свердлильна) розробляємо конструкцію затискного пристосування, керуючись рекомендаціями [12, 36, 38, 39]. Складальний креслений пристосування представлено у графічній частині роботи, а також на рисунку 3.1.

Рисунок 3.1. Пристосування затискне

Пристосування складається із наступних елементів: 1 – корпус; 2 – втулка напрямна; 3 – штифт напрямний; 4 – циліндр; 5 – поршень; 6, 7 – шток; 8 – втулка; 9 – пружина; 10 – прокладка; 11 – штуцер; 12 – притискач; 13 – гайка; 14 – фланець; 15 – плита; 16 – штифт; 17 – гайка; 18-21 – гвинт; 22 – шпонка; 23-25 – кільце ущільнювальне; 26 – штифт; 27 – шайба; 28, 29 – штифт; 30 – пайба.

Конструкція затискного пристосування являє собою корпус 1, на якому встановлено плиту 15. На іншому кінці корпусу встановлено втулку напрямну 2. Два пневмоциліндри розташовані в нижній частині корпусу.

Принцип роботи даного пристосування полягає у наступному: заготовка встановлюється соробленими поверхнями на плиту 15 та на торець втулки напрямної 2. Точне базування заготовки відбувається за допомогою штифта 3 та втулки напрямної 2, котрі входять в попередньо оброблені отвори заготовки $\varnothing 79H7$ та $\varnothing 104H7$. Затискання заготовки відбувається за допомогою пневмоциліндрів. Стиснуте повітря подається в порожнину під поршнем і змушує рухатись поршень поступально, приводячи в рух штоки 6 та 7 з притискачем 12. Притискач може обернутися навколо осі штока, така конструкція дозволяє вільне встановлення

заготовки на пристосування. Розтиск заготовки відбувається за рахунок пружини 9. Вона відтискає поршень у зворотньому напрямі.

3.2 Розрахунок зусилля затиску

Враховуючи те, що в затискному пристосуванні застосовується пневматичний затиск заготовки, необхідно визначити необхідну силу затиску заготовки, а також її відповідність при тиску повітря у повітряній системі цеху. Дана деталь – стрижень буде встановлюватися підготовленою вже на О15 операції площиною на площину пристосування. Для точного базування деталі на площині пристосування передбачені штифти, на які встановлюється деталь своїми підготовленими отворами. Прижим деталі відбуватиметься до плити пристосування.

Аналізуючи дане закріплення помічаємо, що, найвірогіднішим буде її поворот відносно точки А, при дії сили різання в вертикальному напрямі із найбільшим плечем. Така сила буде виникати при фрезеруванні поверхні (операція О20 перехід б) циліндричної фрезою. Складаємо розрахункову схему з зображенням заготовки у кількості проекції достатній для зображення векторів усіх діючих на заготовку сил, до яких відносяться: сили різання, сили затискання заготовки та моменти від цих сил (рисунок 3.2) [7, 28, 12, 36, 38, 39].

Рисунок 3.2 – Розрахункова схема

Для розрахунку потрібної сили затискання потрібно визначити силу різання, котра діє на заготовку при фрезеруванні поверхні заготовки циліндричною фрезою. Виберемо інструмент. Це буде фреза з твердосплавними пластинами Т5К10. Глибина різання в даному випадку буде $t = 12$ мм, подача $S = 0,1$ мм/зуб, $n = 450$ об/хв., кількість зубів $z = 5$, діаметр фрези $D = 50$ мм.

Сила різання визначається за формулою:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot B^u \cdot z}{D^q \cdot n^w} \cdot K_{mp}, \quad (3.1)$$

де $C_p = 101$, $x = 0,88$, $y = 0,75$, $u = 1$, $q = 0,87$, $w = 0$, $K_{mp} = 1$;

$t = 1,0$ – глибина фрезерування, мм;

$S_z = 0,022$ – поділ на один зуб, мм/зуб;

$B = 47$ – ширина фрезерування, мм;

$z = 5$ – число зубців фрези;

$D = 50$ – діаметр фрези, мм;

$n = 450$ – частота обертання фрези, об/хв;

$K_{mp} = 1$ – поправочний коефіцієнт на якість оброблюваного матеріалу.

Підставивши значення, отримаємо:

$$P_z = \frac{10 \cdot 101 \cdot 1,0^{0,88} \cdot 0,1^{0,75} \cdot 47^1 \cdot 5}{50^{0,87} \cdot 450^0} \cdot 1 = 1403,7 \text{ (Н)}.$$

З плану дії сил бачимо, що сила різання P_v буде піднімати заготовку вгору. Таким чином, потрібно розрахувати необхідну силу затиску, котра б врівноважила діючу силу різання. Сила різання P_z відноситься до сили різання P_v у співвідношенні $P_v : P_z = 0,7$ отже

$$P_v = 0,7 \cdot P_z; \quad (3.2)$$

$$P_v = 0,7 \cdot 1403,7 = 982,6 \text{ (Н)}.$$

Використовуючи схему дії сил складаємо рівняння для знаходження необхідної сили затиску деталі Q :

$$M_A = 0; \quad P_v \cdot l_1 - Q \cdot l_2 = 0. \quad (3.3)$$

Звідки:

$$Q = \frac{P_v \times l_1}{l_2}; \quad (3.4)$$

де l_1 і l_2 – плечі дії сил, $l_1 = 176$ мм; $l_2 = 102$ мм.

Підставивши значення отримаємо:

$$Q = \frac{982,6 \times 176}{102} = 1695,5 \text{ (Н)}.$$

Отже, зусилля притискання заготовки становить $Q = 1695,5$ Н.

3.3 Розрахунок параметрів силового приводу

Розрахунок діаметрів циліндрів проводимо виходячи з формули:

$$Q_{\text{пр}} = P_d \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} \cdot \eta - F_{\text{пр}}; \quad (3.5)$$

де P_d – тиск повітря; $P_d = 0,8$ МПа;

D – діаметр поршня;

d – діаметр штока; $d = 40$ мм;

η – КПД пневмоциліндру; $\eta = 0,95$;

$F_{\text{пр}}$ – сила опору стисненої пружини.

$$F_{\text{пр}} = P_0 + jS_0; \quad (3.6)$$

де P_0 – сила попереднього напруження пружини; $P_0 = 150$ Н;

j – жорсткість пружини Н/мм; $j = 100$ Н/мм;

S_0 – хід поршня; $S_0 = 35$ мм;

Отримаємо:

$$D = \sqrt{\frac{(Q + P_0 + jS_0) \cdot 4}{\pi \cdot P_d \cdot \eta} + d^2}. \quad (3.7)$$

Підставивши значення одержимо:

$$D = \sqrt{\frac{(1695,5 + 150 + 100 \times 35) \times 4}{3,14 \times 0,8 \times 0,25} + 40^2} = 102,7 \text{ (мм)}.$$

Для остаточного прийняття діаметру пневмоциліндрів необхідно урахувати коефіцієнт запасу K , котрий являє собою добуток ряду коефіцієнтів:

$$K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5; \quad (3.8)$$

де $K_1 = 1,1$ – коефіцієнт гарантованого запасу;

$K_2 = 1,05$ – коефіцієнт, який враховує затуплення P_1 ;

$K_3 = 1,0$ – коефіцієнт, який враховує збільшення сил різання при перетовному різанні;

$K_4 = 1,0$ – коефіцієнт, який враховує постійність сил затискання;

$K_5 = 1,0$ – коефіцієнт, який враховує ергономіку затискних пристосувань.

Отже,

$$K = 1,1 \cdot 1,05 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,16$$

Тоді розрахунковий діаметр циліндра дорівнює:

$$D_P = 102,8 \cdot 1,16 = 119,2 \text{ (мм)}.$$

Остаточно приймаємо діаметр циліндра $D_0 = 120$ мм.

3.4 Розрахунок слабкої ланки на міцність

Найслабшою ланкою затискного пристосування буде різьба M24×1,5 за допомогою якої прижим фіксується на штоці.

Виконуємо перевірку на умову можливого зрізу:

$$\tau_{зр} = \frac{F}{\pi \cdot d \cdot K \cdot H} \leq [\tau_{зр}] \quad (3.9)$$

де $Q = 1695,5 \text{ Н}$ – сила затискання.

$d = 22,5 \text{ мм}$ – мінімальний діаметр різьби;

$K = 0,8$ – коефіцієнт, який враховує глиб різьби;

$H = 42 \text{ мм}$ – довжина нарізаної частини,

$[\tau_{зр}] = 0,2 \cdot \sigma_t$ – допустиме напруження на зріз.

$$[\tau_{зр}] = 0,2 \cdot 700 = 140 \text{ (МПа)}$$

Проведемо розрахунок:

$$\tau_{зр} = \frac{1695,5}{3,14 \cdot 22,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,8 \cdot 42 \cdot 10^{-3}} = 0,7 \cdot 10^6 \text{ (МПа)},$$

$$\tau \leq [\tau_{зр}] = 0,7 < 140 \text{ МПа.}$$

Проведені розрахунки дають можливість зробити висновок про достатній запас міцності.

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІКА, ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Техніко-економічне обґрунтування виробництва заготовки деталі

Для стрижня, що виготовляється зі сталі 40ХН2МА (ДСТУ 7806:2015), способи отримання заготовок для порівняння наступні: виготовлення куванням та штампування на ГКМ [1, 4, 5, 30, 34, 49].

Ціну кованки визначаємо:

$$C_{гк} = 0,001 \cdot (C_{бк} \cdot G_{гк} \cdot K_{гк} \cdot K_{ск} \cdot K_{МК} \cdot K_{ПК} \cdot K_{ВК} + (C_{гк} \cdot G_{г}) \cdot C_{ВХ}) \quad (4.1)$$

де $C_{бк}$ – базова ціна однієї тони матеріалу, грн.;

$G_{г}$ – маса деталі, кг, $G_{г} = 43,7$ кг.;

$G_{гк}$ – маса кованки, кг,

$$G_{гк(кув-я)} = \frac{43,7}{0,6} = 72,8 \text{ (кг)};$$

$$G_{гк(штам-я)} = \frac{43,7}{0,8} = 54,6 \text{ (кг)}.$$

$K_{гк}$, $K_{ск}$, $K_{МК}$, $K_{ПК}$, $K_{ВК}$ – коефіцієнти відповідно точності розмірів, конструктивної та технологічної складності, марки матеріалу, програми річного замовлення та виду кувального обладнання;

$C_{ВХ}$ – ціна відходу матеріалу, грн.

Основними ознаками класифікації штампованих кованок є: точність виготовлення, група сталі, конфігурація поверхні рознімання штампа, що використовується, ступінь складності.

Знаходимо для заготовки деталі:

- ступінь складності С3;

- група сталі М2;
- клас точності Т4;
- група серійності 2.

Знаходимо значення коефіцієнтів:

$$K_{TK}=1,0; K_{CK}=1,24; K_{BK}=1,0; K_{PK}=1,27; K_{MK}=1,14;$$

$$K_{TK}=1,0; K_{CK}=1,43; K_{BK}=1,04; K_{PK}=1,27; K_{MK}=1,14.$$

Визначимо оптову ціну однієї тони сталі 40ХН2МА – 80000 грн. за тону, оптову ціну відходів – 10000 грн.

Порівняймо ціни кованок для двох методів отримання заготовок: для вільного кування та штампування на молотах:

$$C_{B.KUV} = 0,001(80000 \cdot 72,8 \cdot 1,0 \cdot 1,14 \cdot 1,0 \cdot 1,27 \cdot 1,14 - (72,8 - 43,7) \cdot 10000) = 10426,6 \text{ грн.};$$

$$C_{ШТ} = 0,001(80000 \cdot 54,6 \cdot 1,0 \cdot 1,43 \cdot 1,04 \cdot 1,27 \cdot 1,14 - (54,6 - 43,7) \cdot 10000) = 9394,1 \text{ грн.}$$

Визначимо економічний ефект з урахуванням річної програми випуску:

$$E = (10426,6 - 9394,1) \cdot 300 = 309750 \text{ (грн.)}.$$

Висновок: як видно із розрахунків ціна заготовок, отриманих штампуванням, нижча за ціну кованок.

4.2 Розрахунок заземлення електроприводу верстату

Розрахуємо штучне заземлення для електроустановки напругою до 1000 В методом коефіцієнта використання електродів. Схема розташування електродів – рядова. Випадковий питомий опір ґрунту $\rho_{\text{вим}}=250 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, вертикальні електроди – сталеві труби діаметром $d_{\text{в}} = 50\text{мм}$, довжиною $l_{\text{в}}=1,5\text{м}$, горизонтальний електрод із штабової сталі шириною $b=40\text{мм}$, відстань між вертикальними електродами $l_{\text{г}}=2,6\text{м}$, траншея глибиною $G=0,8\text{м}$, вертикальний електрод здійснюється над дном траншеї на $S=0,2\text{м}$, ґрунт підвищеної вологості, кліматична зона – II. Розрахунки виконуємо із застосуванням загальновідомих літературних джерел [2, 8, 10, 14-17, 19, 20, 22, 26, 27, 31, 33, 41, 46, 50].

1) розрахунковий питомий опір ґрунту:

$$\rho_{\text{в}} = \rho_{\text{вим}} \cdot \psi \quad (4.2)$$

$$\rho_{\text{в}} = 250 \cdot 1,7 = 425 \text{ Ом}\cdot\text{м}$$

де ψ – розрахунковий коефіцієнт сезонності для вертикальних електродів $\psi=1,7$;

2) глибина залягання середини вертикального електрода:

$$t_{\text{в}} = G - S + \frac{l_{\text{в}}}{2} \quad (4.3)$$

$$t_{\text{в}} = 0,8 - 0,2 + \frac{1,5}{2} = 1,35 \text{ м};$$

3) опір розтіканню струму одиночного вертикального електроду:

$$R_{\text{в}} = \frac{\rho_{\text{в}}}{2 \cdot \pi \cdot l_{\text{в}}} \cdot \left(\text{Ln} \frac{2 \cdot l_{\text{в}}}{d_{\text{в}}} + 0,5 \cdot \text{Ln} \frac{4 \cdot t_{\text{в}} + l_{\text{в}}}{4 \cdot t_{\text{в}} - l_{\text{в}}} \right); \quad (4.4)$$

Підставивши значення отримаємо:

$$R_B = \frac{425}{2 \cdot 3,14 \cdot 1,5} \cdot \left(\operatorname{Ln} \frac{2 \cdot 1,5}{0,05} + 0,5 \cdot \operatorname{Ln} \frac{4 \cdot 1,35 + 1,5}{4 \cdot 1,35 - 1,5} \right) = 207,53 \text{ Ом};$$

4) потрібна кількість вертикальних електродів:

$$n = \frac{R_B}{R_3 \cdot \eta_B}; \quad (4.5)$$

де η_B – коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів;

R_3 – нормативний опір заземлення.

Підставивши значення отримаємо:

$$n = \frac{207,53}{10 \cdot 1,0} = 20,7 \approx 21 \text{ (шт.)};$$

5) довжина горизонтального електрода при контурному заземленні:

$$l = l_r \cdot n \quad (4.6)$$

$$l = 2,6 \cdot 21 = 54,6 \text{ м};$$

6) глибина залягання середини горизонтального електрода:

$$t_r = G - S \quad (4.7)$$

$$t_r = 0,8 - 0,2 = 0,6;$$

7) розрахунковий питомий опір ґрунту для горизонтального електрода:

$$\rho_{\Gamma} = \rho_{\text{вим}} \cdot \Psi_{\Gamma} \quad (4.8)$$

$$\rho_{\Gamma} = 250 \cdot 5,9 = 1475 \text{ Ом} \cdot \text{м};$$

де Ψ_{Γ} – розрахунковий коефіцієнт сезонності для горизонтальних електродів $\Psi_{\Gamma} = 5,9$.

8) опір розтіканню струму для горизонтальних електродів:

$$R_{\Gamma} = \frac{\rho_{\Gamma}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot L \cdot \ln \frac{l^2}{b \cdot t_{\Gamma}}; \quad (4.9)$$

$$R_{\Gamma} = \frac{1475}{2 \cdot 3,14 \cdot 54,6} \cdot \ln \frac{54,6^2}{0,05 \cdot 0,6} = 49,45 \text{ Ом};$$

9) загальний опір захисного пристрою:

$$R_o = \frac{R_{\text{в}} \cdot R_{\Gamma}}{R_{\text{в}} \cdot \eta_{\Gamma} + R_{\Gamma} \cdot \eta_{\text{в}} \cdot \eta}; \quad (4.10)$$

де η та $\eta_{\text{в}}$ – відповідно коефіцієнти використання горизонтальних та вертикальних електродів: $\eta_{\Gamma} = 0,89$; $\eta_{\text{в}} = 0,83$.

$$R_o = \frac{207,53 \cdot 49,45}{207,53 \cdot 0,89 + 49,45 \cdot 0,83 \cdot 21} = 9,8 \text{ Ом}.$$

R_o не перевищує припустимого опору захисного заземлення, що становить 10 Ом.

4.3 Вплив дизельних двигунів на довкілля

Дизельні двигуни, незважаючи на свою ефективність та економічність, мають значний вплив на довкілля. Розглянемо кілька ключових аспектів їхнього впливу.

1. Викиди вуглекислого газу (CO_2). Дизельні двигуни спалюють паливо з високим вмістом вуглецю, що призводить до викиду вуглекислого газу. Хоча вони можуть бути паливно-ефективнішими, ніж бензинові, їх викиди CO_2 в атмосферу залишаються однією з причин глобального потепління та зміни клімату.

2. Викиди оксидів азоту (NO_x). Дизельні двигуни виділяють значну кількість оксидів азоту (NO_x), що сприяють утворенню озону на рівні землі та формуванню смогу. Це погіршує якість повітря і негативно впливає на здоров'я людини, викликаючи респіраторні захворювання та інші проблеми з дихальною системою.

3. Частинки твердих речовин. Викиди дизельних двигунів включають тверді частинки (сажа), які можуть бути дуже дрібними. Ці частки здатні проникати в легені та кровоносну систему, що може викликати рак, серцево-судинні захворювання та інші хронічні захворювання.

4. Забруднення повітря. Дизельні двигуни є одним із основних джерел забруднення повітря у містах. Поряд із вуглекислим газом та оксидами азоту, в атмосферу викидаються вуглеводні, чадний газ та інші шкідливі речовини, що погіршують якість повітря та сприяють створенню токсичних хмар.

5. Шумові забруднення. Дизельні двигуни також роблять значний шум, що особливо помітне у містах та на живих дорогах. Шум може негативно впливати на здоров'я людей, викликати стрес та погіршувати якість життя.

6. Токсичність дизельних викидів. Дизельні викиди містять безліч токсичних речовин, включаючи бензопирен (який є канцерогенним), а також інші органічні сполуки, що можуть погіршувати здоров'я людей та тварин.

7. Використання альтернативних технологій. Сучасні технології, такі як фільтри твердих частинок, каталітичні нейтралізатори та системи рециркуляції вихлопних газів, допомагають знизити викиди та зменшити шкідливий вплив

дизельних двигунів. Однак повне усунення забруднення залишається проблемою, особливо у старих моделях автомобілів та в країнах з недостатніми стандартами екологічної безпеки.

Отже, незважаючи на економічну ефективність дизельних двигунів, їх вплив на довкілля та здоров'я людини залишається значним, що призводить до необхідності розробки більш екологічно чистих альтернатив, таких як електромобілі, водневі технології та покращені системи фільтрації для дизельних двигунів.

ВИСНОВКИ

Відповідно до отриманого завдання на кваліфікаційну роботу здобувача вищої освіти та за результатами її виконання зроблено наступні висновки.

1. Визначено службове призначення шатуна головного дизельного двигуна внутрішнього згоряння. Проведено аналіз деталі, що є складовою частиною, а саме стрижня. Охарактеризовано конструкційний матеріал цієї деталі, надано рекомендації стосовно замітника-аналогу. Здійснено визначення типу виробництва на підставі маркетингового дослідження – середньосерійний.

2. Відпрацьовано на технологічність вузол та його деталь. Проаналізовано діючий технологічний процес виготовлення. Розроблено маршрут обробки поверхонь стрижня. Здійснено визначення припусків на обробку та операційних розмірів поверхні $\varnothing 10 \text{ H}7^{(+0,035)}$ мм розрахунково-аналітичним методом, на решту поверхонь було використано табличний спосіб визначення припусків.

3. Запропоновано конструкцію затискного пристосування, що може бути використано під час обробки деталі на операції 020. Визначено зусилля затиску, параметри силового приводу. Проведено розрахунок слабкої ланки на міцність.

4. Здійснено техніко-економічне обґрунтування виробництва заготовки. Річний економічний ефект під час порівняння між двома заготівельними технологіями для програми випуску 300 шт. склав 309750 грн. Окрім того, запропоновано розрахунок заземлення виробничого обладнання цеху. Приділено увагу впливу дизельних двигунів внутрішнього згоряння на довкілля.

5. У графічній частині роботи наведено складальний кресленик шатуна головного, кресленик стрижня, кресленик заготовки стрижня, складальний кресленик затискного пристосування для реалізації процесу механічної обробки.