

Центральноукраїнський національний технічний університет

Механіко-технологічний факультет

Кафедра машинобудування, мехатроніки і робототехніки

«Допущено до захисту»

Завідувач кафедри ММіР

к.т.н., доцент

_____ Андрій ГРЕЧКА

«_____» _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти

на тему:

«Вдосконалення технологічного процесу механічної обробки деталі картер УЯИШ.731158.001»

Виконав здобувач вищої освіти 3мб курсу
групи ПМ-23мб-3

ОПП «Комп'ютерний інжиніринг технологій,
робототехніка і 3D-друк»

спеціальності 131 «Прикладна механіка»

_____ Ростислав МІНАКОВ

Керівник роботи: к.т.н., ст. викладач

_____ Антон АПАРАКІН

Рецензент: к.т.н., доц.

_____ Любов ОЛІЙНІЧЕНКО

Кропивницький 2026

Центральноукраїнський національний технічний університет	
Факультет	Механіко-технологічний
Кафедра	Машинобудування, мехатроніки і робототехніки
Рівень вищої освіти	перший (бакалаврський)
Галузь знань	13 Механічна інженерія
Спеціальність	131 Прикладна механіка
Освітньо-професійна програма	Комп'ютерний інжиніринг технологій, робототехніка і 3D-друк

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ММР
_____ Андрій ГРЕЧКА

« ____ » _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА

Мінакова Ростислава Валерійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Вдосконалення технологічного процесу механічної обробки деталі картер УЯИШ.731158.001

2. Керівник роботи: _____ к.т.н., ст. викл., Антон АПАРАКІН

3. Строк подання роботи до захисту _____ « ____ » червень 2026 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи:

Метою роботи є вдосконалення технологічного процесу механічної обробки деталі картер УЯИШ.731158.001 задля підвищення ефективності виробництва, зниження собівартості продукції, при забезпеченні вимог точності та якості.

Завдання:

- проаналізувати базовий технологічний процес обробки деталі картер УЯИШ.731158.001, запропонувати раціоналізаторські заходи по підвищенню ефективності технологічного процесу;
- виконати підбір металорізального обладнання, різального інструменту, верстатних пристосувань, розрахувати припуски, режими різання та виконати нормування операцій технологічного процесу;
- розробити конструкцію та вимоги до верстатного та контрольно-вимірювального пристосування, із розробкою конструкторської документації.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
РОЗДІЛ 1	Антон АПАРАКІН		
РОЗДІЛ 2	Антон АПАРАКІН		
РОЗДІЛ 3	Антон АПАРАКІН		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	При-мітка
1	ВСТУП	Травень 2026	вик.
2	РОЗДІЛ 1	Травень 2026	вик.
3	РОЗДІЛ 2	Травень 2026	вик.
4	РОЗДІЛ 3	Червень 2026	вик.
5	ВИСНОВКИ	Червень 2026	вик.
6	Графічна частина та оформлення	Червень 2026	вик.

Дата видачі завдання « ____ » _____ 2026 р.

Керівник роботи _____ Антон АПАРАКІН
(підпис)

Завдання прийнято до виконання « ____ » _____ 2026 р.

Здобувач _____ Ростислав МІНАКОВ
(підпис)

АНОТАЦІЯ

Мінаков Р. В. Вдосконалення технологічного процесу механічної обробки деталі картер УЯИШ.731158.001 : кваліфікаційна бакалаврська робота : спец. 131 Прикладна механіка / наук. кер. А. Р. Апаракін ; Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. - Кропивницький : ЦНТУ, 2026. 41 с.

Кресленників – разом 3 аркуші формату А1.

Метою роботи є розробка технологічного процесу механічної обробки деталі картер УЯИШ.731158.001 який підвищить ефективність виробництва, знизить собівартість продукції, забезпечить при цьому вимоги до точності та якості.

Актуальність роботи зумовлена важливою роллю гідропідсилювача керма у забезпеченні безпеки, надійності та комфортності керування транспортним засобом. Якість і точність механічної обробки картера безпосередньо впливають на працездатність та довговічність вузла, що обумовлює важливість удосконалення технології його виготовлення.

В роботі проведено аналіз конструкції деталі, обрано тип заготовки, виконано аналіз заводського технологічного процесу та визначено шляхи підвищення ефективності. Виконано підбір металорізальних верстатів, різальних інструментів, розраховано припуски, режими різання, технічне нормування операцій. Розроблено конструкцію верстатного пристосування та контрольного пристрою.

технологічний процес, картер, гідропідсилювач, механічна обробка, верстатне пристосування

ANNOTATION

Minakov R. V. Improvement of the technological process of machining the crankcase part UYAISH.731158.001 : qualifying bachelor's thesis : spec. 131 Applied mechanics / scientific director A. R. Aparakin; Central Ukrainian National Technical University - Kropyvnytskyi: CUNTU, 2026. 41 p.

Drawings - a total of 3 sheets of A1 format.

The purpose of the work is to develop a technological process of mechanical processing of the crankcase part UYAISH.731158.001, which will increase production efficiency, reduce the cost of production, and at the same time meet the requirements for accuracy and quality.

The relevance of the work is due to the important role of the power steering in ensuring safety, reliability and comfort of driving a vehicle. The quality and accuracy of the crankcase machining directly affect the performance and durability of the unit, which determines the importance of improving the technological process of its manufacture.

The work analyzes the design of the part, selects the type of workpiece, analyzes the factory technological process and identifies ways to improve efficiency. The selection of metal-cutting machines, cutting tools is carried out, allowances, cutting modes, technical standardization of operations are calculated. The design of the machine tool fixture and control device is developed.

technological process, crankcase, hydraulic power steering, machining, machine tool

Центральноукраїнський національний технічний університет

Механіко-технологічний факультет

Кафедра машинобудування, мехатроніки і робототехніки

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи на тему:

**«Вдосконалення технологічного процесу механічної обробки деталі
картер УЯИШ.731158.001»**

КРБ.ПМ.26.08.23.00.00

Виконав здобувач вищої освіти 3мб курсу
групи ПМ-23мб-3

ОПП «Комп'ютерний інжиніринг
технологій, робототехніка і 3D-друк»
спеціальності 131 «Прикладна механіка»

_____ Ростислав МІНАКОВ

Керівник роботи к.т.н., ст. викл.

_____ Антон АПАРАКІН

ЗМІСТ

Вступ	7
1 Вихідні та розрахункові данні	8
1.1 Обґрунтування типу виробництва	8
1.2 Опис об'єкта виробництва	9
1.3 Опис конструкції та технологічний аналіз заданої деталі	13
1.4 Вибір заготовки	15
2 Технологічна частина	17
2.1 Вибір методів завершальної обробки	17
2.2 Аналіз вихідного, розробка і обґрунтування нового технологічного процесу	18
2.3 Вибір технологічних баз	22
2.4 Технічна характеристика вибраного обладнання	22
2.5 Розрахунок припусків	23
2.6 Вибір різального інструмента	27
2.7 Розрахунок режимів різання та основного часу	29
2.8 Визначення норм часу	31
3 Конструкторська частина	33
3.1 Розрахунок та розробка затискного верстатного пристосування	33
3.2 Опис контрольного пристрою	38
Висновки	40
Перелік використаних джерел	41

ВСТУП

Машинобудування поставляє техніку всім галузям національного господарства, визначає технічний прогрес країни та суттєво впливає на стан матеріально-технічної бази суспільства. У процесі виготовлення машини діють певні закономірності.

Науку, що вивчає закономірності перебігу технологічних процесів виготовлення машин з метою виявлення чинників, впливаючи на які можна інтенсифікувати виробництво з урахуванням споживчого попиту і тенденцій його зміни, називають технологією машинобудування.

Технологія – одна з найдинамічніших категорій виробництва, зміни в якій відбуваються як через зміни конструкції виробів, так і через вдосконалення методів їх виготовлення.

Сучасний фахівець повинен бути не лише професіоналом, але й діловим, підприємливим, ініціативним, творчо розв'язувати виробничі проблеми.

Широке коло задач, які розв'язують при розробці і здійсненні технологічних процесів на основі різноманітних технічних знань, привели до виникнення поняття «системна технологія». Воно включає в себе систему технологічних знань, яка використовується при побудові технологічного та виробничого процесів виготовлення машин та їх реалізації.

Метою кваліфікаційної роботи є вдосконалення заводського технологічного процесу механічної обробки деталі картер УЯИШ.731158.001.

Робота присвячена розробці раціоналізованого технологічного процесу обробки деталі, зі скороченням кількості операцій, задіяних робітників, часу на виробництво тощо. Мета раціоналізації – підвищення ефективності виробництва, зниження собівартості продукції, яка виробляється, із забезпеченням вимог до точності та якості.

1 Вихідні та розрахункові дані

1.1 Обґрунтування типу виробництва

Загальна специфіка, побудова та наповнення технологічного процесу безпосередньо пов'язані з обраними організаційними формами діяльності майбутнього цеху. Вони, у свою чергу, визначаються загальними масштабами випуску продукції, а також безпосереднім характером операцій, що здійснюються на кожному окремому робочому місці, тобто типом виробництва [1, 2, 3].

Вихідна характеристика виробничої програми приведена в табл. 1.1.

Таблиця 1.1.

Назва виробу	Маса одного виробу, кг	Річна програма випуску	
		штук	тон
Картер УЯИШ.731158.001	11,0	7500	82500

Проводимо розрахунок типу виробництва деталі картер УЯИШ.731138.001 за допомогою прикладної програми [2]:

Вихідні дані

Програма випуску 7500

Номер операції	Дійсний річний фонд часу роботи обладнання	Штучний час
5	3890	10.3000
10	3890	12.1000
15	3890	4.8000
20	3890	15.5000
25	3890	16.8000
30	3890	1.5000
35	3890	1.3000
40	3890	1.1000
45	3890	1.0000
50	3890	8.0000
55	3890	2.0000
60	3890	4.7000
65	3890	3.5000
70	3890	5.3000

Результати розрахунку

Но- мер опера- ції	Розрахунко- ва кількість верстатів	Прийнята кількість верстатів	Кількість операцій на даному верстаті
5	0.4137	1	1.93
10	0.4860	1	1.65
15	0.1928	1	4.15
20	0.6226	1	1.28
25	0.6748	1	1.19
30	0.0603	1	13.28
35	0.0522	1	15.32
40	0.0442	1	18.11
45	0.0402	1	19.92
50	0.3213	1	2.49
55	0.0803	1	9.96
60	0.1888	1	4.24
65	0.1406	1	5.69
70	0.2129	1	3.76

Коефіцієнт закріплення операцій: 7,353928

Тип виробництва – середньосерійний.

1.2 Опис об'єкта виробництва

Кулько-гвинтовий гідропідсилювач (скорочено КГГП) застосовуються в системах рульового керування транспортними засобами, які розраховані на швидкість руху в межах 60 км/год. Процес керування забезпечується за допомогою механічних передач, робота яких підсилюється гідравлічною системою [4, 5]. Конструктивні особливості та специфіка функціонування КГГП детально демонструються на прикладі наведеної гідрокінематичної схеми (рис. 1.1).

Конструкція КГГП передбачає розміщення кількох ключових вузлів у спільному картері 1. До складу пристрою входить гідравлічний розподільник, сформований зовнішнім 11 і внутрішнім 12 золотниками, а також пружні елементи 10 і муфта 9 для передачі крутного моменту. Гідравлічна частина представлена напірною 5 і зливною 7 магістралями разом із запобіжним 6 і зворотним 8 клапанами. Механічну взаємодію забезпечує рейкова передача, яка складається з рейки-поршня 2 та вала-сектора 3, а також кулько-гвинтова передача, утворена гвинтом 4 і відповідним гвинтовим отвором у рейці-

1 – картер; 2 – рейка-поршень; 3 – вал-сектор; 4 – кульково-гвинтова передача;
 5 – магістраль зливу; 6 – запобіжний клапан; 7 – магістраль напору; 8 – зворотний клапан;
 9 – муфта; 10 – пружний елемент; 11 – зовнішній золотник; 12 – внутрішній золотник;
 13, 14 – протилежні порожнини; 15 – гайка кульково-гвинтової передачі.

КГГП є механізмом подвійної дії, оскільки рух вихідного вала-сектора 3 забезпечується паралельно механічним шляхом (через кульково-гвинтову та рейкову передачі) і гідравлічним (шляхом зміщення рейки-поршня 2 під тиском у порожнинах 13 і 14). У штатному режимі основне навантаження долається гідравлікою, а механіка виконує лише відслідковувальну функцію.

10

утворює єдину ланку із зовнішнім золотником 11. Рух триває до зупинки золотника 12, після чого під дією пружних елементів 10 золотник 11 повертається в нейтральне положення, вирівнюючи тиск у порожнинах до рівня холостого ходу. Для захисту системи від перевантажень на валу-секторі передбачено запобіжний клапан 6.

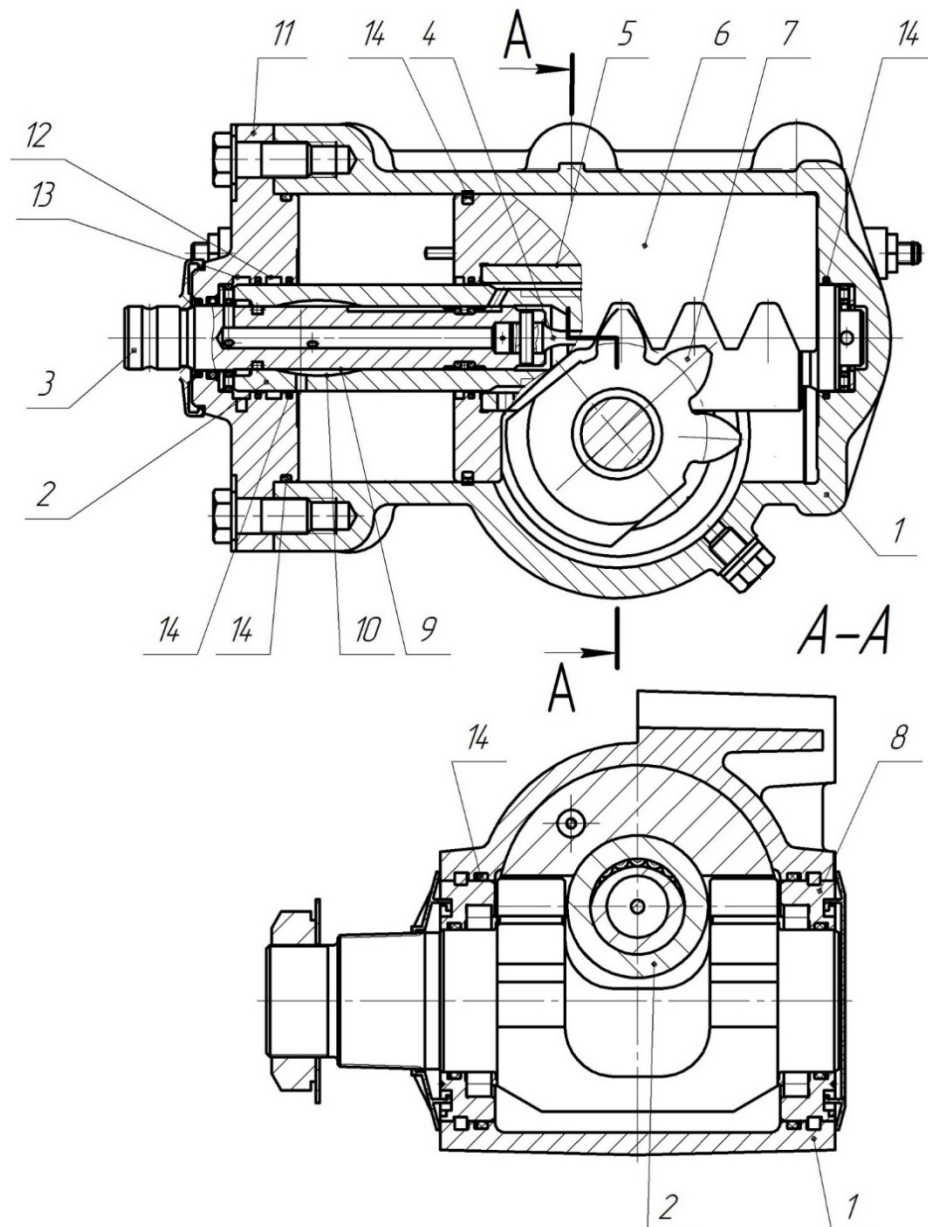
Точність керування КГГП визначається часом між рухом вхідного золотника 12 і реакцією вихідного вала-сектора 3. Цей інтервал залежить від швидкості повернення золотників у вихідний стан, на яку впливають величина вільного ходу в муфті 9 та жорсткість пружного елемента 10. Якщо цей етап роботи тривалий, то точність знижується, тому для її підвищення слід збільшувати жорсткість пружного елемента та зменшувати кут муфти.

У випадку відмови гідравліки КГГП переходить у нештатний режим, де навантаження повністю долається механічними передачами. При цьому поворот золотника 12 через муфту 9 обертає гвинт 4, змушуючи рейку-поршень переміщувати вал-сектор. Для запобігання розрідженню в порожнині, що розширюється, спрацьовує зворотний клапан 8, який забезпечує перетікання рідини з протилежної порожнини і робить можливим роботу пристрою без гідравлічного підсилення.

Конструктивні особливості КГГП детально зображено на рис. 1.2. Усі складальні одиниці пристрою скомпоновані всередині картера 1, внутрішня геометрія якого утворена двома циліндричними порожнинами, що перетинаються під прямим кутом. До складу конструкції входить гвинт 2 разом із ротором 3 та поршнем 4, який у поєднанні з гайкою 5 формує кулько-гвинтову передачу.

Механічна взаємодія також забезпечується рейковою передачею, де рейка-поршень 6 у зборі з гайкою зачеплена з валом-сектором 7, який встановлено на спеціальних роликових підшипниках 8. Функцію вхідної ланки КГГП виконує ротор 3. На його зовнішній циліндричній поверхні передбачено поздовжні пази 9, що взаємодіють із відповідними поздовжніми пазами 10 на внутрішній циліндричній поверхні гвинта 2. Завдяки такому рішенню

внутрішня циліндрична поверхня гвинта 2 виконує роль зовнішнього золотника, а зовнішня поверхня ротора 3 слугує внутрішнім золотником. Безпосередньо до картера 1 кріпиться корпус розподільника 11, у якому виконано напірні 12 та зливні 13 канали, а також спеціальні порожнини під запобіжний і зворотний клапани. Належний рівень внутрішньої та зовнішньої герметичності вузлів КГГП забезпечується завдяки системі ущільнювальних елементів 14.



- 1 - картер; 2 - гвинт; 3 - ротор; 4 - поршень; 5 - гайка; 6 - рейка-поршень; 7 - вал-сектор;
 8 - роликові підшипники; 9 - поздовжні пази ротора; 10 - поздовжні пази гвинта;
 11 - корпус розподільника; 12 - напірний канал; 13 - зливний канал;
 14 - ущільнювальні елементи.

Рисунок 1.2 - Конструктивне виконання КГГП.

1.3 Опис конструкції та технологічний аналіз заданої деталі

Деталь «Картер УЯИШ.731158.001» за своєю класифікацією належить до категорії корпусних елементів. Головним призначенням картера є розміщення всередині нього різноманітних деталей та складальних одиниць, що забезпечують перенаправлення крутного моменту від рульового колеса безпосередньо до коліс транспортного засобу.

Картер має доволі складну конструкцію, зокрема завдяки двом функційним циліндричним поверхням, вісі яких не перетинаються у просторі. Також картер має: місця для встановлення підшипників, ущільнювальних елементів, дві групи кріпильних отворів. Аналіз точності поверхонь деталі приведено у табл. 1.2.

Таблиця 1.2 - Аналіз точності і технологічності конструкції деталі

№ пов	Найменування поверхні	Розмір з відхиленням	Точність		Шорсткість поверхні
			відносних	форми	
1	Отвір	$\varnothing 114^{+0,071}_{+0,036}$	 0,04 Ж		0,4
2	Торець	$217^{+0,25}$		 0,06 Ж	3,2
3	Отвір	$\varnothing 42,3H9^{(+0,062)}$	 0,05 Ж		2,5
4	Фаска	$1 \times 45^\circ$			6,3
5	Отвір	$\varnothing 25^{+0,5}$			6,3
6	Отвір	$\varnothing 47,8H9^{(+0,062)}$	 0,06		2,5
7	Бічна поверхня	$\varnothing 22_{-0,5}$			3,2
8	Різьбовий отвір	M12x1,5-6H		 0,05	3,2
9	Різьбовий отвір	M14x1,5-6H	 $\varnothing 0,3M$		3,2
10	Торець	$246^{+1,5}$	 0,06 Ж		3,2
11	Отвір	$\varnothing 97H6^{(+0,02)}$			2,5
12	Фаска	$1,5 \times 30^\circ$			6,3
13	Канавка	$\varnothing 103H9^{(+0,087)} \times 5,4^{+0,18}$			6,3
14	Торець	$160_{\pm 0,1}$			6,3
15	Різьбовий отвір	M20x1,5-6H	 $\varnothing 0,3M$		3,2
16	Отвір	$\varnothing 10^{+0,043}$		 0,25/100 Ж	3,2
17	Фаска	$1 \times 45^\circ$			6,3
18	Різьбовий отвір	M8-6H			3,2
19	Торець	$237 \pm 0,5$			6,3
20	Торець	$232^{+0,06}$		 0,025 ЖП	2,5
21	Циліндрична пов.	$\varnothing 140^{+4,0}$			12,5
22	Циліндрична пов.	$\varnothing 130^{+4,0}$			12,5
23	Циліндрична пов.	$\varnothing 169^{+4,0}$			12,5
24	Сферична пов.	$246,6^{+1,5}$			12,5

Проводимо аналіз конструкції деталі на технологічність [1, 2]. Для початку, проведемо розрахунки по показникам **кількісного** методу оцінки на технологічність.

Коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів деталі:

$$K_{ue} = \frac{Q_{ye}}{Q_e},$$

де, $Q_{ye} = 21$ шт. – уніфіковані елементи деталі, кількість;

$Q_e = 24$ шт. – загальна кількість конструктивних елементів деталі.

Підставивши визначені величини в формулу, отримаємо:

$$K_{ue} = \frac{21}{24} = 0,875.$$

При значенні коефіцієнта $K_{ue} > 0,6$ деталь можна вважати технологічною.

Для визначення рівня технологічності деталі по точності, визначаємо коефіцієнт точності обробки. Цей коефіцієнт визначається за формулою:

$$K_{точ} = 1 - 1/A_{cp},$$

де, A_{cp} – середній квалітет точності обробки, що визначається за формулою:

$$A_{cp} = \frac{\sum A \cdot n_i}{\sum n_i},$$

де, A – квалітет точності обробки;

n – кількість розмірів, що відповідають даному квалітету, шт.

Підставивши визначені величини в формулу, отримаємо:

$$A_{cp} = (42 \cdot 14 + 3 \cdot 12 + 15 \cdot 9 + 5 \cdot 6) / 65 = 12,14.$$

Підставивши визначені величини в формулу, отримаємо:

$$K_{точ} = 1 - 1/12,14 = 0,91.$$

При коефіцієнті $K_{точ} > 0,8$ деталь вважається технологічною.

Для визначення рівня технологічності деталі по шорсткості, визначаємо коефіцієнт точності обробки.

Визначимо технологічність по коефіцієнту шорсткості поверхні, який повинен бути близько нуля:

$$K_{ш} = Q_{шн} / Q_{шо},$$

де $Q_{\text{шн}}$ – кількість поверхонь з необґрунтованою шорсткістю, шт.;

$Q_{\text{шо}}$ – загальна кількість поверхонь, які підлягають обробці, шт.

Так як $Q_{\text{шн}}=0$, то $K_{\text{ш}}=0$, отже деталь можна вважати технологічною.

Якісний метод оцінки технологічності виробу базується на чинних практичних рекомендаціях. Досліджуваний картер має коробчасту конфігурацію, що дозволяє зарахувати його до виробів корпусного типу. Загалом конструкція картера є цілком технологічною та придатною для застосування високоефективних методів механічної обробки. Певні труднощі під час різання можуть виникати лише у процесі виготовлення нахилоного різьбового отвору, а також поверхонь, які вимагають використання спеціалізованого інструментального оснащення. Висока власна жорсткість картера гарантує досягнення суворих параметрів точності під час остаточних операцій. Завдяки продуманій геометрії забезпечується безперешкодний доступ різального інструменту майже до кожної поверхні, що підлягає обробці. У кресленнях відсутні вимоги щодо необґрунтовано завищеної точності елементів, а всі невідповідальні ділянки виготовляються за нормами 14-го квалітету. Зважаючи на сукупність цих чинників, деталь «картер УЯИШ.731158.001» визнається повністю технологічною для серійного виробництва.

1.4 Вибір заготовки

Зважаючи на відносно просту геометрію деталі, помірні вимоги до шорсткості її поверхонь, а також середньосерійний тип виробництва, як попередній метод виготовлення заготовки обирається лиття в піщано-глиняні форми [1, 2, 6]. Параметри припусків на подальшу механічну обробку та граничні відхилення розмірів відливки встановлюються відповідно до 26645-85.

Клас розмірної точності виливки – 11.

Ступінь короблення елементів відливки – 0.

Ступінь точності поверхонь виливки – 0.

Клас точності маси – 11.

Точність виливки 11-0-0-11 по 26645-85.

Невказані радіуси $R = 5$ мм, не більше. Ливарні нахили 2° , не більше.

Матеріал заготовки – високоміцний чавун марки ВЧ 600 ДСТУ 3925-99.

Властивості матеріалу та його хімічний склад приведено в табл. 1.3.

Таблиця 1.3 - Хімічний склад та механічні властивості матеріалу

Марка матеріалу	Механічні властивості				
	Тимчасовий опір розриву, Н/мм ²	Межа текучості, Н/мм ²	Відносне подовження, %	Ударна в'язкість, Н·м/см ²	Твердість НВ, не більше
ВЧ 600 ДСТУ 3925-99	60	40	2	2,0	140...269

Високоміцний чавун використовується для виробництва конструкційних виливків, як ефективна альтернатива сталям та ковким чавунам. При термічному навантаженні в межах $450...500^\circ\text{C}$ його характеристики міцності знижуються значно повільніше, порівняно з вуглецевими сталями. Такий матеріал демонструє задовільну здатність до механічної обробки різанням, а також легко піддається газовому зварюванню із використанням спеціальних чавунних стрижнів.

Окрім цього, високоміцний чавун чудово реагує на термічну обробку, за допомогою якої можна суттєво коригувати внутрішню структуру та фізичні властивості готових виливків. Одержання металу із кулястою формою графіту досягається шляхом введення в рідкий розплав магнію або інших спеціальних присадок. Необхідний комплекс механічних параметрів та кінцева структура сплаву формуються безпосередньо у процесі застигання або ж створюються за допомогою наступної термообробки. Водночас виливки зі складною геометрією обов'язково піддаються процедурі зняття залишкових ливарних напружень перед постачанням.

2 Технологічна частина

2.1 Вибір методів завершальної обробки

У сучасній концепції технології машинобудування, проектування оптимального технологічного процесу розглядається як цілеспрямований пошук рішень. Цей процес базується на врахуванні комплексу конструкторських, функціональних, фінансових чинників і лімітів, а також специфіки управління та загальної організації виробництва. На більшість із зазначених параметрів суттєво впливає сукупність маршрутів, обраних для обробки конкретних поверхонь виробу. Цей набір технологічних маршрутів формується на основі заданих вимог до точності й шорсткості поверхонь деталі, а також вихідної точності заготовки шляхом розрахунку переносу похибок із залученням типових схем обробки та довідкових даних щодо економічної точності різноманітних способів різання. Для кожної поверхні, яка потребує кількох послідовних технологічних переходів, встановлюється кілька варіантів побудови процесу, після чого виконується їх аналітичне оцінювання за затвердженою методикою [1, 2].

Отримані результати обчислень систематизуємо та вносимо до табл. 2.1.

Таблиця 2.1 - Таблиця технологічних маршрутів обробки поверхонь

№ пов.	Допуск на поверхню по кресленню, δ_d мм	Шорсткість, мкм	Допуск на заготовку по поверхні, δ_3 мм	Загальне уточнення ε_3	Можливі технологічні маршрути обробки		Екон. допуски на проміжні методи обр.	Частинні коефіцієнти уточнення	$\Pi \varepsilon_i = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 \cdot \dots \cdot \varepsilon_i$
					№	Зміст маршруту			
1	0,09	3,2	4	44,44	1	Розточування чорнове	0,54	7,407	44,45
						Розточування чистове	0,14	3,857	
						Розточування тонке	0,09	1,556	
					2	Розточування чорнове	0,54	7,407	44,2
						Розвертання нормальне	0,22	2,45	
						Розвертання тонке	0,09	2,44	

Продовження таблиці 2.1.

№ пов.	Допуск на поверхню по кресленню, δ_1 мм	Шорсткість, мкм	Допуск на заготовку по поверхні, δ_3 мм	Загальне уточнення ϵ_3	Можливі технологічні маршрути обробки		Екон. допуски на проміжні методи обр.	Частинні коефіцієнти уточнення	$Pe_i = \epsilon_1 \cdot \epsilon_2 \cdot \epsilon_3 \cdot \dots \cdot \epsilon_i$
					№	Зміст маршруту			
2	0,25	3,2	4	16	1	Точіння чорнове	0,72	5,56	16,01
						Точіння чистове	0,25	2,88	
					2	Фрезерування чорнове	0,46	8,6	15,4
						Фрезерування чистове	0,25	1,8	
3	0,062	2,5	4	64,52	1	Зенкерування чорнове	0,39	10,256	64,5
						Зенкерування чистове	0,25	1,56	
						Розвертання точне	0,062	4,03	
					2	Розточування чорнове	0,25	16	64,4
						Розточування чистове	0,062	4,03	
11	0,02	2,5	4	200	1	Зенкерування чорнове	0,54	7,41	182
						Зенкерування чистове	0,14	3,857	
						Розвертання точне	0,057	2,456	
						Розвертання тонке	0,022	2,59	
					2	Розточування чорнове	0,35	11,43	179
						Розточування чистове	0,087	4,02	
						Розточування тонке	0,022	3,9	

Як видно з розрахунків, для поверхонь 1, 2, 3, 11, оптимальним є маршрут №2, при якому $\epsilon_{\text{заг}} < Pe_i$. Прийняті методи остаточної обробки повністю відповідають вимогам точності та якості поверхонь деталі [7].

2.2 Аналіз вихідного, розробка і обґрунтування нового технологічного процесу

Вихідний, заводський, технологічний процес (табл. 2.2) розроблений для повного забезпечення параметрів креслення, і під час безпосереднього виготовлення виробу в умовах цеху суворо дотримуються всі встановлені технічні умови. Вихідною заготовкою для виробництва картера слугує відливка, одержана методом лиття в піщані форми, яка повністю відповідає

конструкторській документації, а величини залишених припусків узгоджуються з нормативами на механічну обробку.

Таблиця 2.2 – Вихідний технологічний процес.

№ оп.	Верстат	Штучний час $T_{шт}$, хв	Час обробки програми $T_N = T_{шт} \cdot N$, год	Коефіцієнт завантаження $K_3 = T_N / F_{др}$	Час переналагодження на іншу деталь $T_{пер}$, год	Коефіцієнт гнучкості технології $K_{гн} = T_{пер} / T_N \leq 0,025$
015	Фрезерний з ЧПУ ГФ 2171С5	10,3	772,50	0,19	8	0,01
020	Фрезерний з ЧПУ ГФ 2171С5	12,1	907,50	0,23	8	0,0088
025	Токарно-гвинторізний 16К25	4,8	360,00	0,089	4	0,011
030	Обробний центр ІР-500ПМФ4	15,5	1162,50	0,29	21	0,018
035	Обробний центр ІР-500ПМФ4	16,8	1260,00	0,31	21	0,016
040	Вертикально-свердлувальний 2Н125	1,5	112,50	0,028	2,5	0,022
045	Вертикально-свердлувальний 2Н125	1,3	97,50	0,024	2	0,0205
050	Вертикально-свердлувальний 2Н125	1,1	82,50	0,0206	2	0,024
055	Вертикально-свердлувальний 2Н125	1,0	75,00	0,018	2	0,025
065	Координатно-шліфувальний 3283С	8,0	600,00	0,149	14	0,023
065	Вертикально-свердлувальний 2Н125	2,0	150,00	0,037	3	0,020
070	Токарний з ЧПУ 16А20Ф3	4,7	352,50	0,088	8	0,0227
075	Відділково-розточна	3,5	262,50	0,065	6	0,023
080	Відділково-розточна	5,3	397,50	0,099	6	0,015

У процесі виготовлення деталі реалізується принцип суміщення технологічних і конструкторських баз, причому обробка на чорнових, проміжних та чистових етапах здійснюється у спеціальних пристосуваннях із базуванням за верхньою або нижньою торцевою площиною.

Поточна схема обробки картера реалізується на спеціалізованому високопродуктивному обладнанні з використанням оригінального оснащення, створеного виключно під цю деталь, що вимагає серйозних витрат у разі переналагодження ліній на інший виріб.

Задля модернізації виробництва доцільно впровадити верстати з ЧПУ на окремих стадіях обробки. Більшість переходів виконується на напівавтоматах та устаткуванні з ЧПУ, проте на операціях 035, 040, 045, 050 та 065 все ще задіяні універсальні вертикально-свердлильні верстати. Переведення цих

етапів на верстаті з ЧПУ дозволило б виконувати комплексне чорнове й чистове оброблення кількох поверхонь за одну установку.

Аналіз табл. 2.2 показує, що згідно з коефіцієнтами завантаження виникає потреба в додатковому завантаженні майже для всіх робочих місць. Для досягнення цієї мети на деяких верстатах необхідно модернізувати технологічне оснащення або виконати заміну обладнання, що дозволить суттєво підвищити гнучкість усього виробничого процесу.

При розробці нового маршруту обробки деталі картер, першочерговій обробці підлягають ті поверхні виробу, до яких висувається найбільша кількість суворих вимог щодо точності, оскільки вони відіграють роль найважливіших конструкторських баз. Спираючись на підготовлені під час початкової операції технологічні бази, проектуємо подальший хід обробки інших елементів. На завершальних етапах циклу мають виготовлятися найбільш точні ділянки та поверхні, що мають підвищену вразливість до механічних пошкоджень.

Під час формування загального маршруту обробки головною метою є мінімізація кількості переустановок заготовки з одного обладнання на інше. Зважаючи на ці вимоги, спочатку здійснюється обробка нижньої торцевої площини разом із розташованими на ній отворами, а також бічного торця з відповідними отворами, що пояснюється найвищими вимогами до їхньої точності.

У процесі виготовлення картера фінішними операціями є обробка центрального отвору та нарізання різі в малих отворах. При цьому практично на всіх технологічних переходах фіксація картера реалізується за допомогою торцевих поверхонь та базових отворів.

Проектований маршрут обробки для кожної поверхні деталі представлено у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Технологічний маршрут обробки деталі

Базовий	Проектний
005 Фрезерна Спеціальний фрезерний ГФ2171С5 Фрезерувати 4 менші банки та велику банку.	005 Комплексна з ЧПУ HYUNDAI WI HS4000 Розточити отвір (начорно і начисто), підрізати торець (попередньо і кінцево), підрізати дно (начорно і начисто), свердлити отвір, свердлити 6 отворів, нарізати різьбу в 4 отворах крім базових.
010 Фрезерна Спеціальний фрезерний ГФ2171С5 Фрезерувати торцеву поверхню.	010 Комплексна з ЧПУ HYUNDAI WIA HS4000 Фрезерувати 4 менші банки та велику банку, розточити отвір (начорно і начисто), свердлити 4 отвори, нарізати різьбу в 2 отворах крім базових.
015 Токарна Токарний 16K25 Розточити отвір (начорно і начисто)	015 Комплексна з ЧПУ HYUNDAI WIA HS4000 Фрезерувати торцеву поверхню, розточити отвір (начорно і начисто).
020 Комплексна з ЧПУ Обробний центр IP-500ПМФ4 Фрезерувати торцеву поверхню, розточити отвір (начорно і начисто).	020 Комплексна з ЧПУ HYUNDAI WIA HS4000 Фрезерувати торцеву поверхню, розточити отвір (начорно і начисто).
025 Комплексна з ЧПУ Обробний центр IP-500ПМФ4 Фрезерувати торцеву поверхню, розточити отвір (начорно і начисто).	025 Комплексна з ЧПУ HYUNDAI WIA HS4000 Фрезерувати торець, свердлити отвір наскрізь, нарізати різьбу в отвір.
030 Свердлильна Вертикально-свердильний 2Н125 Свердлити отвір наскрізь, нарізати різьбу в отвір.	030 Відділково-розточна Відділково-розточний 2А715 Розточка тонка попередня, розточка тонка кінцева, вигладжування, розточка тонка(попередня і кінцева), врізати канавку.
035 Свердлильна Вертикально-свердильний 2Н125 Свердлити отвір наскрізь, розсвердлити отвір, нарізати різьбу.	035 Відділково-розточна Відділково-розточний 2А715 Розточка тонка (попередня і кінцева), врізати канавку.
040 Свердлильна Вертикально-свердильний 2Н125 Свердлити дренажний отвір.	040 Свердлильна з ЧПУ Свердильний з ЧПУ 2Р135Ф2 Свердлити отвір наскрізь, розсвердлити отвір, нарізати різьбу.
045 Свердлильна Вертикально-свердильний 2Н125 Свердлити отвір наскрізь.	045 Комплексна з ЧПУ HYUNDAI WIA HS4000 Нарізати різьбу в 2 отворах.
050 Шліфувальна Координатно-шліфувальний 3283С Шліфувати колодець.	050 Комплексна з ЧПУ HYUNDAI WIA HS4000 Нарізати різьбу в 2 отворах крім базових.
055 Свердлильна Вертикально-свердильний 2Н125 Свердлити отвір наскрізь, розсвердлити отвір, нарізати різьбу.	-
060 Токарна с ЧПУ Токарний с ЧПУ 16А20Ф3 Полірувати колодець	-
065 Відділково-розточна Відділково-розточний 2А715 Розточка тонка попередня, розточка тонка кінцева, вигладжування, розточка тонка (попередня і кінцева), врізати канавку.	-
070 Відділково-розточна Відділково-розточна 2А715 Розточка тонка (попередня і кінцева), врізати канавку.	-

2.3 Вибір технологічних баз

Визначення технологічних баз розпочинають із вибору чорнової бази, яка використовується на першій операції технологічного циклу з метою підготовки надійних базових поверхонь для подальших етапів обробки. Під час пошуку початкової чорнової бази головним орієнтиром є створення умов для максимально рівномірного зняття шару металу з найбільш відповідальних та точних ділянок деталі. У ролі першої вихідної бази доцільно задіяти поверхню, що має найбільшу площу.

Варто зазначити, що чорнова база в процесі виготовлення зазвичай використовується лише одноразово. На всіх наступних стадіях механічної обробки заготовки вкрай важливо керуватися принципами суміщення та постійності баз. У ситуаціях, коли технічно неможливо забезпечити єдність базування, слід дотримуватися правила послідовного переходу від поверхонь із меншою точністю до поверхонь із вищим класом точності. Формування схеми базування здійснюється паралельно з проектуванням загального маршруту виготовлення виробу, який розробляється на основі чинних методичних вказівок [1, 2, 7].

2.4 Технічна характеристика вибраного обладнання

Механічна обробка картера здійснюється в умовах середньосерійного типу виробництва, що висуває певні вимоги до виробничого обладнання. Верстати, які залучаються до технологічного процесу, мають забезпечувати мінімізацію витрат часу на виконання операцій, зниження собівартості обробки деталей, а також максимальну ефективність використання обладнання за потужністю, загальним часом роботи та основним технологічним часом. Усі обрані для проекту моделі верстатів (табл. 2.4) повністю відповідають зазначеним критеріям ефективності.

Таблиця 2.4 - Технічна характеристика вибраного обладнання

№ оп.	Назва і модель верстата	Коротка характеристика						Розмірна характеристика		
		Діапазон частот об.шпінделя, об/хв.	Діапазон подач, мм/хв.	Габаритні розміри верстата, мм	Маса верстата, т.	Потужність ел./дв., кВт	Число УРЕ	Максимальний розмір оброблюваної деталі	Максимальний діаметр свердління, мм	Розміри стола, мм
005	HYUNDAI WIA HS4000	63-3150	28-790	5260х2000х1320	11	10,0		200	-	125х320
030	Відділково-розточний 2A715	12,5-2000	1,5-600	3360х1710х1750	4	10,0	-	1000	-	-
040	Вертикально-свердильний 2P135Ф2	12,5-1600	попер. 25-1250 верт. 8,3-416,6	1500х1250х2120	2,5	11,0	-	280	70	400х1600

2.5 Розрахунок припусків та проміжних розмірів

Аналітичне визначення припусків здійснюємо для центрального отвору $\varnothing 42,5^{+0,025}$. Розрахунок проводимо згідно методики [1, 2].

Технологічний маршрут обробки отвору складається з трьох операцій: розточування чорнового, розточування чистового та розточування тонкого. Заготовка базується по вісі та торцю. Порядок розрахунку зведено у табл. 2.5.

Таблиця 2.5 - Розрахунок припусків для обробки отвору

№	Параметр	Розрахункова формула	Розрахунок
1	Короблення отвору, мкм	$\rho_{кор} = \Delta_k \cdot l$	$\rho_{кор} = 1 \cdot 69 = 69$
2	Сумарний зсув отвору відносно зовнішньої поверхні, мкм	$\rho_{см} = \delta$	$\rho_{см} = 1000$
3	Сумарне значення просторових відхилень для заготовки, мкм	$\rho_3 = \sqrt{\rho_{см}^2 + \rho_{кор}^2}$	$\rho_3 = \sqrt{1000^2 + 69^2} = 1002$

Продовження таблиці 2.5.

№	Параметр	Розрахункова формула	Розрахунок
4	Мінімальний припуск на розточування чорнове, мкм	$2Z \min 1 = 2(Rz_0 + T_0 + \rho_0)$	$2 \cdot Z \min 1 = 2 \cdot (150 + 250 + 1002)$ $2 \cdot Z \min 1 = 2 \cdot 1402$
5	Просторове відхилення після розточування чорнового	$\rho_1 = \rho_3 \cdot Ky$	$\rho_1 = 1002 \cdot 0,06 = 60$
6	Мінімальний припуск на розточування чистове, мкм	$2Z \min 2 = 2(Rz_1 + T_1 + \rho_1)$	$2 \cdot Z \min 2 = 2 \cdot (50 + 50 + 60)$ $2 \cdot Z \min 2 = 2 \cdot 160$
7	Просторове відхилення після розточування чистового	$\rho_2 = \rho_3 \cdot Ky$	$\rho_2 = 1002 \cdot 0,04 = 40$
8	Мінімальний припуск на розточування тонкого, мкм	$2Z \min 3 = 2(Rz_2 + T_2 + \rho_2)$	$2 \cdot Z \min 3 = 2 \cdot (30 + 30 + 40)$ $2 \cdot Z \min 3 = 2 \cdot 100$
9	Максимальний припуск на розточування чорнове, мкм	$2Z \max 3 = 2Z \min 3 + \delta_2 - \delta_3$	$2Z \max 3 = 2 \cdot (100 + 120 - 30)$ $2Z \max 3 = 2 \cdot 190$
10	Максимальний припуск на розточування чистове, мкм	$2Z \max 2 = 2Z \min 2 + \delta_1 - \delta_2$	$2Z \max 2 = 2 \cdot (160 + 400 - 120)$ $2Z \max 2 = 2 \cdot 440$
11	Максимальний припуск на розточування чистове, мкм	$2Z \max 1 = 2Z \min 1 + \delta_0 + \delta_1$	$2Z \max 1 = 2 \cdot (1402 + 3000 - 400)$ $2Z \max 1 = 2 \cdot 4002$
12	Мінімальний розмір після розточування чорнового, мм	$D \min 2 = D \min 3 - 2Z \min 3$	$D \min 2 = 42,5 - 0,38 = 42,12$
13	Максимальний розмір після розточування чорнового, мм	$D \max 2 = D \max 3 - 2Z \max 3$	$D \max 2 = 42,525 - 0,2 = 42,325$
14	Мінімальний розмір після розточування чистового, мм	$D \min 1 = D \min 2 - 2Z \min 2$	$D \min 1 = 42,12 - 0,88 = 41,24$
15	Максимальний розмір після розточування чистового, мм	$D \max 1 = D \max 2 - 2Z \max 2$	$D \max 1 = 42,325 - 0,32 = 42,005$
16	Мінімальний розмір після розточування тонкого, мм	$D \min 0 = D \min 1 - 2Z \min 1$	$D \min 0 = 41,24 - 4,002 = 37,238$
17	Максимальний розмір після розточування тонкого, мм	$D \max 0 = D \max 1 - 2Z \max 1$	$D \max 0 = 42,005 - 1,402 = 40,603$

Продовження таблиці 2.5.

№	Параметр	Розрахункова формула	Розрахунок
18	Середній операційний припуск на розточування тонке, мм	$\Delta Z_3 = \frac{Z_{\max 3} + Z_{\min 3}}{2}$	$\Delta Z_3 = \frac{0,2 + 0,38}{2} = 0,29$
19	Середній операційний припуск на розточування чистове,	$\Delta Z_2 = \frac{Z_{\max 2} + Z_{\min 2}}{2}$	$\Delta Z_2 = \frac{0,32 + 0,88}{2} = 0,6$
20	Середній операційний припуск на розточування чорнове	$\Delta Z_1 = \frac{Z_{\max 1} + Z_{\min 1}}{2}$	$\Delta Z_1 = \frac{1,402 + 4,002}{2} = 2,7$
21	Глибина різання на розточування тонке, мм	$t_3 = Z_{\min 3} + \frac{5(Z_{\max 3} - Z_{\min 3})}{6}$	$t_3 = 0,2 + \frac{5(0,38 - 0,2)}{6} = 0,35$
22	Глибина різання на розточування чистове, мм	$t_2 = Z_{\min 2} + \frac{5(Z_{\max 2} - Z_{\min 2})}{6}$	$t_2 = 0,32 + \frac{5(0,88 - 0,32)}{6} = 0,78$
24	Глибина різання на розточування чорнове, мм	$t_1 = Z_{\min 1} + \frac{5(Z_{\max 1} - Z_{\min 1})}{6}$	$t_1 = 1,402 + \frac{5(4 - 1,402)}{6} = 3,6$

Всі розраховані значення припусків та допусків для даної поверхні заносимо в карту розрахунків (табл. 2.6).

Таблиця 2.6 - Карта розрахунку припусків на обробку поверхні

Технологічні переходи	Елементи припуску, мкм			Розрахунковий припуск $2Z_{\min}$, мкм	Розрахунковий мінімальний розмір, мм	Допуск на виготовлення δ , мкм	Граничні розміри, мм		Граничні значення припусків, мкм	
	Rz	T	ρ				$d_{\min}$	$d_{\max}$	$2Z_{\min}$	$2Z_{\max}$
Заготовка	150	250	1820	-	40,6	3000	37	40,6	-	-
Розточування чорнове	50	50	1002	2·1402	42,0	400	41,24	42	1402	4002
Розточування чистове	30	30	60	2·160	42,3	120	42,12	42,33	160	440
Розточування тонке	10	20	40	2·100	42,525	30	42,5	42,525	100	190

Схему графічного розташування припусків і допусків для поверхні $\varnothing 42,5^{+0,025}$ приведено на рис. 2.1.

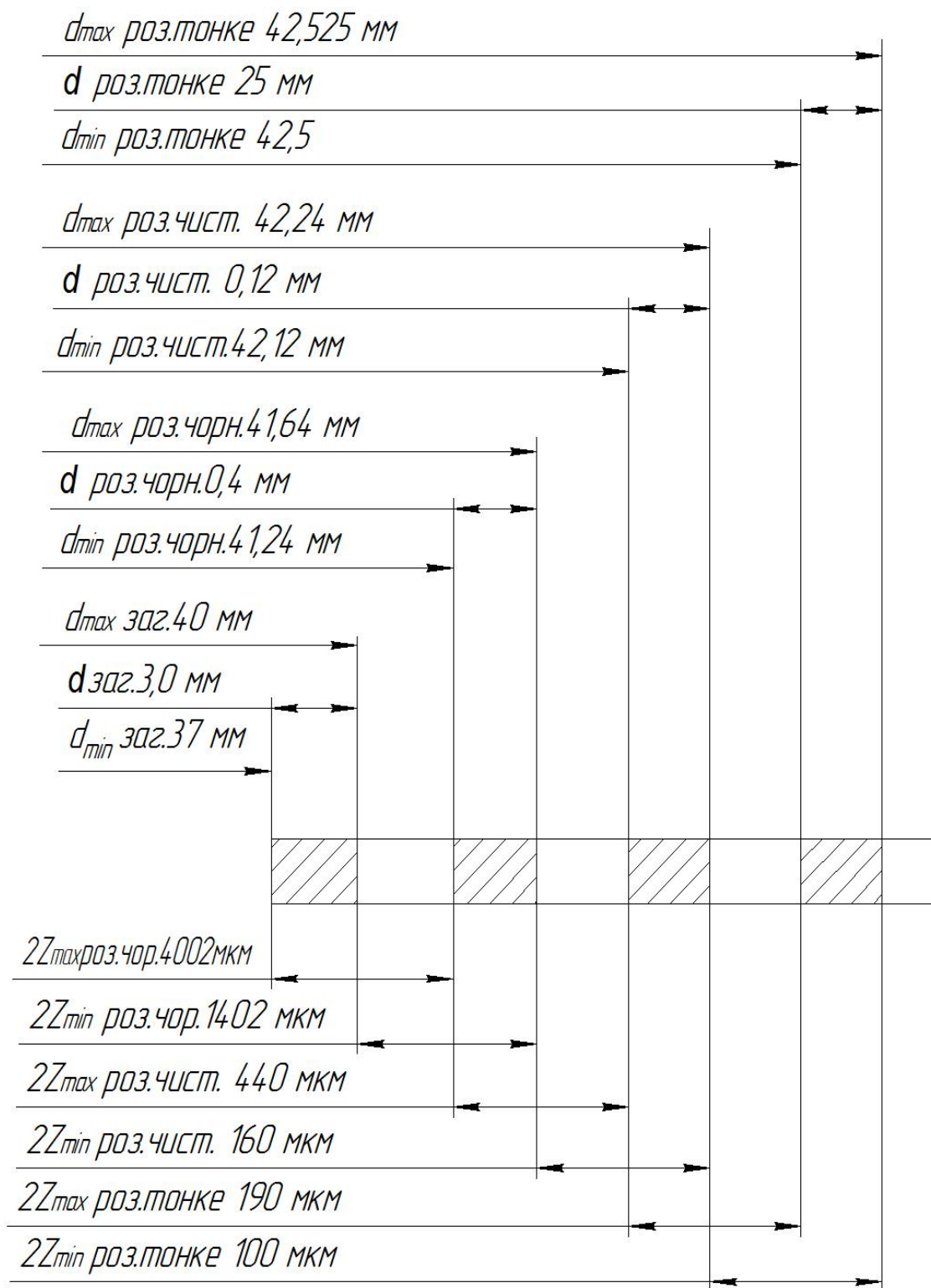


Рисунок 2.1 - Схема графічного розташування припусків і допусків для поверхні $\varnothing 42,5^{+0,025}$.

На решту поверхонь деталі картер УЯИШ.731158.001 припуски визначаємо за довідковими таблицями. Вибрані величини припусків подаємо у вигляді таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 - Припуски на обробку деталі картер УЯИШ.731158.001

№ пов.	Найменування поверхні	Найменування переходу	Припуск $Z_{\min}$, мм	Технологічний допуск, мм
1	Отвір	Розточити начорно	2	1,08
		Розточити начисто	1	0,28
		Розточити начисто	0,5	0,28
		Розточити тонко попередньо	0,3	0,087
		Розточити тонко кінцево	0,19	0,05
		Вигладжування	0,0025	0,035
2	Торець	Точити начорно	3	0,72
		Точити начисто	1	0,25
3	Отвір	Розточити начорно	4	0,25
		Розточити начисто	3	0,16
		Розточити тонко попередньо	1,15	0,1
		Розточити тонко кінцево	0,5	0,062
4	Фаска	Точити	1	0,5
5	Отвір	Свердли	10	0,3
		Розточити начорно	2,5	0,1
6	Канавка	Розточити	2,75	0,062
7	Боковий торець	Фрезерувати	4	0,1
8	Різьбовий отвір	Свердли	5,25	0,1
		Нарізати різь	M12x1,5-6H	
9	6 різьбових отворів	Свердли	6,5	0,1
		Нарізати різь	M14x1,5-6H	
10	Торець	Підрізати начорно	2	0,28
		Підрізати начисто	1,76	0,1
11	Отвір	Розточити начорно	3	0,8
		Розточити начисто	2	0,2
		Розточити тонко попередньо	0,75	0,057
		Розточити тонко кінцево	0,25	0,022
		Фаска	1,6	0,5
12	Фаска	Фаска	1,6	0,5
13	Канавка	Розточити канавку	3	0,087
14	Торець	Фрезерувати	4	2
15	4 різьбові отвори	Свердли	9,25	0,2
		Нарізати різьбу	M20x1,5-6H	
16	Отвір	Свердли	5	0,043
17	Фаска	Свердли	1	0,5
18	Різьбовий отвір	Свердли	3	0,075
		Нарізати різьбу	M8-6H	
19	Торець	Підрізати начорно	3	0,46
20	Торець	Підрізати начорно	3	0,3
		Підрізати начисто	1	0,06

2.6 Вибір різального інструменту

Вибір належного різального інструменту для кожного технологічного переходу здійснюється з урахуванням обраного методу та поточного етапу

обробки, тип виробництва, а також фізико-механічних властивостей матеріалів вихідної заготовки й самого інструменту, зокрема його міцнісних показників та періоду стійкості. Усі необхідні відомості щодо впроваджуваного інструментального оснащення підбираються на основі спеціалізованої довідкової літератури [1, 2]. Детальні технічні характеристики інструментів, призначених для обробки кожної конкретної поверхні, систематизовано й представлено у табличній формі, табл. 2.8.

Таблиця 2.8 - Різальний інструмент для обробки деталі

Номер		Назва інструменту	Стандарт на конструкцію інструменту (код)	Різальна частина	
Оп.	Перех.			Матеріал	Стандарт
005	1	Різець розточний	2146-4105	T15K6	19065-80
	2	Різець розточний	2156-4105	T15K6	19065-80
	3	Різець розточний	2156-4105	T15K6	19065-80
	4	Різець торцевий	2342-4136	T15K6	3882-74
	5	Різець торцевий	2352-4146	T15K6	3882-74
	6	Різець торцевий	2342-4136	T15K6	3882-74
	7	Різець торцевий	2352-4146	T15K6	3882-74
	8	Свердло Ø20	2092-77	P6M5	19265-78
	9	Різець розточний	2146-4105	T15K6	19065-80
	10	Різець розточний	2156-4105	T15K6	19065-80
	11	Різець розточний	2146-4105	T15K6	19065-80
	12	Різець торцевий	2342-4136	T15K6	3882-74
	13	Центровочне свердло	3085	P6M5	19265-78
	14	Свердло Ø13	2092-77	P6M5	19265-78
	15	Розгортка	2371-4024	P6M5	19265-78
	16	Мітчик M14x1,5-6H	4115-4184	P6M5	19265-78
010	1	Фреза торцева	13785-68	BK8	9473-80
	2	Різець розточний	2146-4105	T15K6	19065-80
	3	Різець розточний	2156-4105	T15K6	19065-80
	4	Центровочне свердло	3085	P6M5	19265-78
	5	Свердло Ø18,5	2092-77	P6M5	19265-78
	6	Розгортка Ø19	2375-4024	P6M5	19265-78
	7	Мітчик M20x1,5-6H	4120-4184	P6M5	19265-78
015	1	Фреза торцева	13785-68	BK8	9473-80
	2	Різець розточний	2146-4105	T15K6	19065-80
	3	Різець розточний	2156-4105	T15K6	19065-80
025	1	Фреза торцева	13785-68	BK8	9473-80
	2	Центровочне свердло	3085	P6M5	19265-78
	3	Свердло Ø10,5	2092-77	P6M5	19265-78
	4	Мітчик M20x1,5-6H	4120-4184	P6M5	19265-78

Продовження таблиці 2.8.

Номер		Назва інструменту	Стандарт на конструкцію інструменту (код)	Різальна частина	
Оп.	Перех.			Матеріал	Стандарт
030	1	Різець розточний	2146-4105	T15K6	19065-80
	2	Різець розточний	2156-4105	T15K6	19065-80
	3	Вигладжувач	16344-70	ШХ15	801-78
	4	Різець розточний	2146-4105	T15K6	19065-80
	5	Різець розточний	2156-4105	T15K6	19065-80
	6	Різець канавочний	2126-4212	T15K6	3265-80
035	1	Різець розточний	2146-4105	T15K6	19065-80
	2	Різець розточний	2156-4105	T15K6	19065-80
	3	Різець канавочний	2126-4212	T15K6	3265-80
040	1	Центровочне свердло	3085	P6M5	19265-78
	2	Свердло Ø6	2091-77	P6M5	19265-78
	3	Свердло Ø10	2096-77	P6M5	19265-78
	4	Мітчик М8-6Н	4112-4184	P6M5	19265-78
045	1	Мітчик М14х1,5-6Н	4128-4184	P6M5	19265-78
050	1	Мітчик М20х1,5-6Н	4132-4184	P6M5	19265-78

2.7 Розрахунок режимів різання та основного часу

Визначення параметрів режимів різання виконується за допомогою розрахунково-аналітичного підходу для комплексної операції 015, що реалізується на верстаті з ЧПУ. Обчислення здійснюються на основі рекомендацій та алгоритмів, наведених у методичних посібниках [1, 2]. Для всіх інших технологічних операцій складові режимів різання підбираються за чинними нормативними джерелами, включаючи галузеві довідники та стандартизовані виробничі нормативи. Усі встановлені значення елементів режимів різання систематизовано й зведено до таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 - Розрахунок режимів різання

№ з/п	Назва параметру	Розрахункова формула	Розрахунок	
			Перехід 1	Перехід 2, 3
1	Загальний поправочний коефіцієнт	при фрезеруванні $K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv}$ при розточуванні $K_v = K_{\phi_v} \cdot K_{M_v} \cdot K_{u_v} \cdot K_{\phi_v}$	$K_v = 1 \cdot 0,85 \cdot 0,83 = 0,7$	$K_v = 0,8 \cdot 1 \cdot 0,83 \cdot 0,7 = 0,465$

Продовження таблиці 2.9.

№ з/п	Назва параметру	Розрахункова формула	Розрахунок	
			Перехід 1	Перехід 2, 3
2	Швидкість різання, м/хв	при фрезеруванні $V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot (Sz)^y \cdot B^u \cdot z^p} \cdot K_v$ при розточуванні $V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot v_s^{y_v}} \cdot K_v$	$V = \frac{445 \cdot 122^{0,2}}{250^{0,32} \cdot 4^{0,15} \cdot 0,32^{0,35}} \cdot 122^{0,2} \cdot 10^0 \cdot 0,7 = 64,6$	при розточуванні чорновому $V = \frac{292}{60^{0,2} \cdot 3^{0,15} \cdot 0,4^{0,2}} \cdot 0,465 = 63,36$ при розточуванні чистовому $V = \frac{292}{60^{0,2} \cdot 2^{0,15} \cdot 0,2^{0,2}} \cdot 0,465 = 77,68$
3	Кількість обертів шпінделя, об/хв	$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi D}$	$n = \frac{1000 \cdot 64,6}{\pi 122} = 168,6$	при розточуванні чорновому $n = \frac{1000 \cdot 63,36}{\pi 91} = 221,7$ при розточуванні чистовому $n = \frac{1000 \cdot 77,68}{\pi 97} = 255$
4	Фактична швидкість, м/хв	$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$	$V = \frac{3,14 \cdot 122 \cdot 168,6}{1000} = 64,6$	при розточуванні чорновому $V = \frac{3,14 \cdot 91 \cdot 221,7}{1000} = 63,3$ при розточуванні чистовому $V = \frac{3,14 \cdot 97 \cdot 255}{1000} = 77,6$
5	Тангенціальна сила різання, Н	при фрезеруванні $P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot (S_z)^y \cdot B^n \cdot z}{D^q \cdot n^w} \cdot k_{mp}$ при розточуванні $P_z = 10 \cdot C_{p_z} \cdot t^{x_{p_z}} \cdot s^{y_{p_z}} \cdot v^{n_{p_z}} \cdot K_{p_z}$	$P_z = \frac{10 \cdot 491 \cdot 4^{1,0} \cdot 0,32^{0,75} \cdot 122^{1,1}}{122^{1,3} \cdot 168,6^{0,2}} \cdot 1 = 18398$	при розточуванні чорновому $P_z = 10 \cdot 100 \cdot 3^{1,0} \cdot 0,4^{0,75} \cdot 63,3^0 \cdot 1 \cdot 0,89 = 1343$ при розточуванні чистовому $P_z = 10 \cdot 100 \cdot 2^{1,0} \cdot 0,2^{0,75} \cdot 77,6^0 \cdot 1 \cdot 0,89 = 532$
6	Потужність різання, кВт	$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60}$	$N = \frac{18398 \cdot 64,5}{1020 \cdot 60} = 19,3$	при розточуванні чорновому $N = \frac{1343 \cdot 63,3}{1020 \cdot 60} = 1,4$ при розточуванні чистовому $N = \frac{532 \cdot 77,6}{1020 \cdot 60} = 0,7$
7	Крутний момент, Н·м	$M_k = \frac{P_z \cdot D}{2 \cdot 100}$	$M_k = \frac{18398 \cdot 122}{2 \cdot 100} = 11223$	при розточуванні чорновому $M_k = \frac{1343 \cdot 91}{2 \cdot 100} = 611$ при розточуванні чистовому $M_k = \frac{532 \cdot 97}{2 \cdot 100} = 260$

Результати розрахунку режимів різання та машинного часу на всі операції і переходи техпроцесу наведено в таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 - Режими різання на операціях механічної обробки деталі

Номер		t, мм	S _{mm} /об S _{mm} /хв	V м/хв	n, хв. ⁻¹	t ₀ , хв
оп.	перех.					
005	1	2	0,7	132	315	12,676
	2	1	0,2	250	630	
	3	0,5	0,1	295	800	
	4	2	0,5	84	160	
	5	1,76	0,2	112	200	
	6	3	0,8	179	500	
	7	1	0,2	250	630	
	8	10	0,5	22	710	
	9	2,5	0,4	104	1000	
	10	4	0,9	93	800	
	11	3	1,1	117	1000	
	12	1	0,2	250	1600	
	13	5	0,5	17	500	
	14	6,5	0,5	22	710	
	15	0,25	0,8	60	1000	
	16	1,5	0,09	14,5	290	
010	1	4	130	49,5	63	7,236
	2	3	0,4	63,3	200	
	3	2	0,2	77,6	250	
	4	9	0,5	17	500	
	5	9,25	0,5	22	710	
	6	0,25	0,8	60	710	
	7	1,5	0,09	14,5	290	
015	1	4	130	49,5	63	1,7
	2	3	0,4	63,3	200	
	3	2	0,2	77,6	250	
025	1	4	25	50	63	1,42
	2	4,5	0,5	17	500	
	3	5,25	0,5	22	710	
	4	1,5	0,09	14,5	290	
030	1	0,3	0,3	167	500	5,95
	2	0,19	0,25	252	710	
	3	0,0025	0,2	125	315	
	4	1,15	0,25	148	1000	
	5	1	0,16	188	1250	
	6	2,75	0,3	132	800	
035	1	0,75	0,21	167	500	0,548
	2	0,25	0,16	188	630	
	3	3	0,35	117	315	
040	1	6	0,5	17	500	0,595
	2	3	0,5	22	710	
	3	2	0,3	22	710	
	4	1	0,09	14,5	290	
045	1	1,5	0,09	14,5	290	2,3
050	1	1,5	0,09	14,5	290	2,84

2.8 Визначення норм часу

Норми часу на виконання операцій в масовому та серійному виробництві визначають розрахунково-аналітичним методом [1, 2]:

$$t_{\text{шт.к}} = t_o + t_{\text{доп}} + t_{\text{ТО}} + t_{\text{орг.об}} + \frac{T_{\text{пз}}}{n},$$

де: $T_{\text{пз}}$ – підготовчо-заклучний час, хв.

$t_o, t_{\text{доп}}, t_{\text{ТО}}, t_{\text{орг.об}}$ - час основної, допоміжної роботи, техобслуговування та організаційного обслуговування, хв.

n - розмір партії, шт. $n = 625$ шт.

Результати розрахунків зводимо до таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 - Норми часу на обробку картера УЯИШ.731158.001

№ оп.	t_o	$t_{\text{доп}}$	$t_{\text{ТО}}$	$t_{\text{орг.об.}}$	$t_{\text{від}}$	$T_{\text{шт}}$	$T_{\text{пз}}$	$T_{\text{шт.к}}$
005	12,676	7,47	0,04	0,04	0,04	20,31	12	20,33
010	7,326	5,46	0,02	0,02	0,02	12,85	9	12,86
015	1,7	5,5	0,06	0,09	0,09	7,44	5	7,45
025	1,42	1,2	0,03	0,04	0,04	2,73	5	2,74
030	5,95	3,2	0,04	0,03	0,02	9,24	9	9,25
035	0,548	1,1	0,03	0,03	0,01	1,718	6	1,73
040	0,595	1,3	0,03	0,05	0,04	2,015	5	2,02
045	2,3	2,4	0,04	0,02	0,02	4,78	6	4,79
050	2,84	2,5	0,02	0,05	0,04	5,45	6	5,46

3 Конструкторська частина

3.1 Розрахунок та розробка затискного верстатного пристосування

Затискне пристосування використовується для закріплення деталі картер УЯИШ.731158.001 на обробному центрі HYUNDAI WIA HS4000 при виконанні операції фрезерування торцю. Пристосування показано на рис. 3.1.

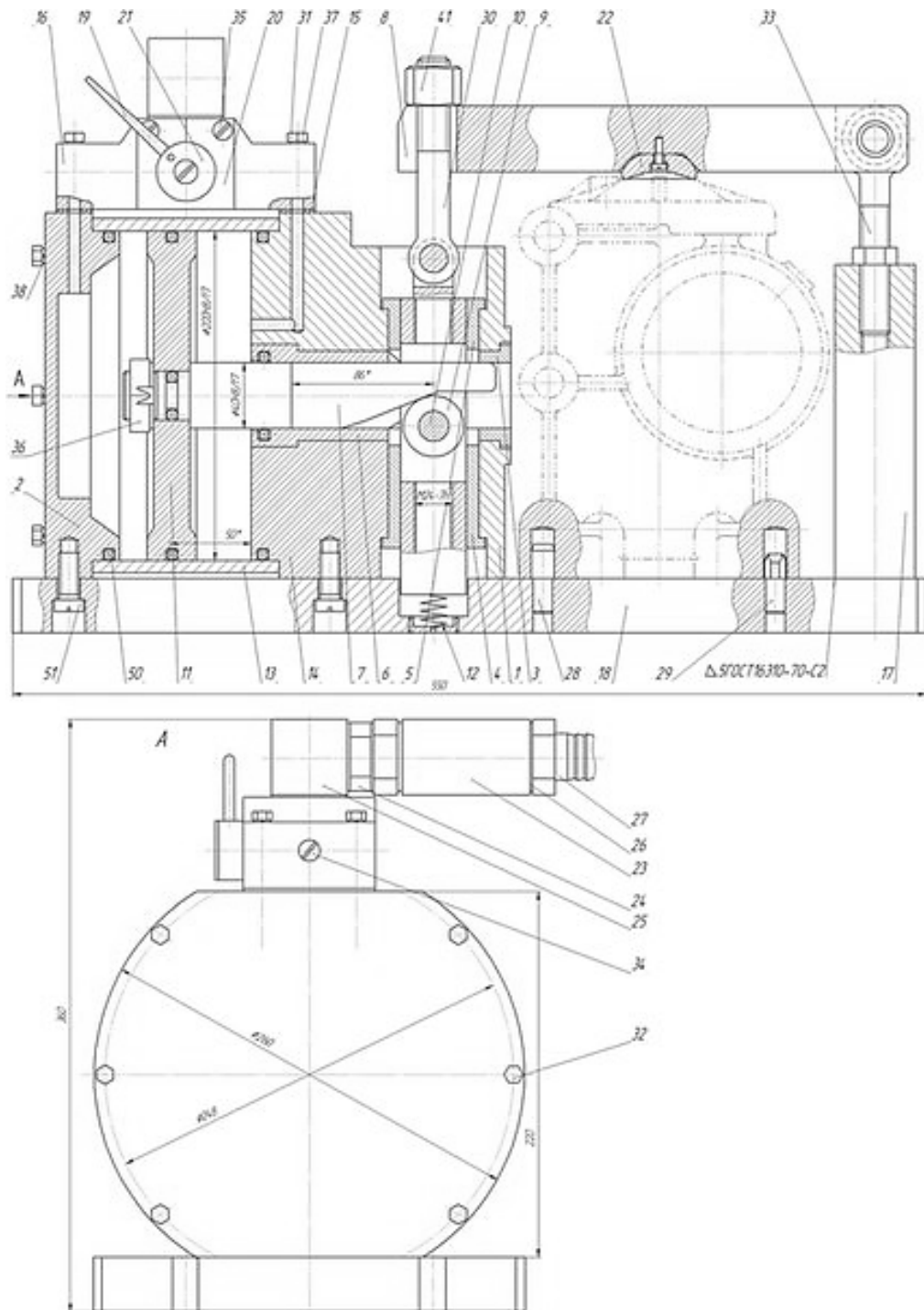


Рисунок 3.1 – Затискне верстатне пристосування

Пристосування складається з столу 18, на якому розміщений пневмоциліндр, що включає в себе шток з клином 7, поршень 11, ролик 9.

Крім описаних деталей пристосування обладнано кришками 1 і 2 комплектами ущільнювачів 15, 50. Також пристосування має два пальці 28 та 29, приварену стійку 17, та відкидний болт 30, прихват 8 з прикріпленою до нього п'ятою 22, для встановлення та базування деталі.

Пристосування працює наступним чином: деталь базується по двом отворах та площині за допомогою пальців 28, 29. Після цього вмикається пневмокран і стисле повітря подається в без штокову порожнину циліндра, який за допомогою клинового штоку взаємодіє з роликом плунжерного механізму, який в свою чергу з'єднаний відкидним болтом та гайкою 41, з прихватом, що прижимає деталь. Сила затиску забезпечує нерухомість деталі при фрезеруванні торцю.

Для визначення необхідної і достатньої сили затиску затискного пристосування виконано розробку розрахункової схеми базування. Для прикладу який розглядається прийнятною є розрахункова схема рис. 3.2.

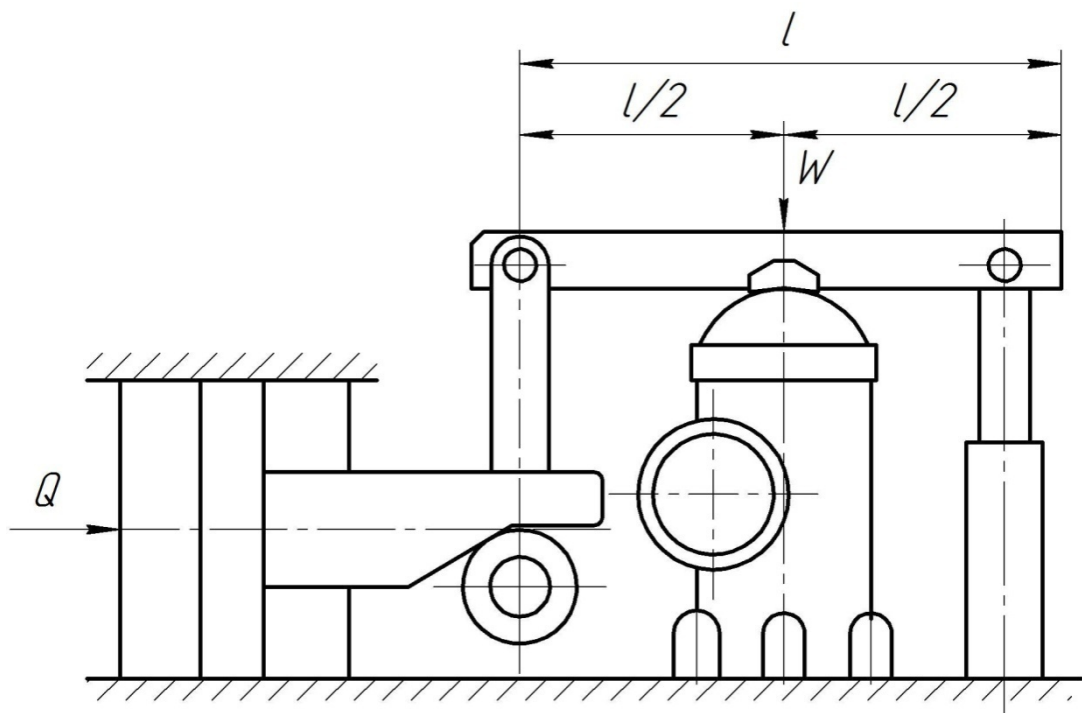


Рисунок 3.2 - Розрахункова схема верстатного пристосування

Вихідні дані розрахунку зведено до табл. 3.1.

Таблиця 3.1 - Вихідні дані розрахунку

№ з/п	Назва параметру	Позначення	Одиниця виміру	Значення	Джерело інформації
1	Коефіцієнт матеріалу різальної частини	Cp	-	30	[8]
2	Показники ступенів	x	-	0,86	[8]
		y	-	0,72	
		u	-	1,0	
		q	-	0,86	
		w	-	0	
3	Глибина різання	t	мм	3	Технологічний процес
4	Ширина різання	B	мм	20	Технологічний процес
5	Кількість зубців фрези	Z	шт	6	Креслення інструменту
6	Діаметр фрези	D	мм	100	Креслення інструменту
7	Кількість обертів	n	об/хв	210	Технологічний процес
8	Поправочний коефіцієнт на якість матеріалу, що обробляється	K _{mp}	-	1,39	[8]
9	Коефіцієнт гарантованого запасу	K _o	-	1,5	[8]
10	Коефіцієнт, що враховує випадкове підвищення сил різання	K ₁	-	1,2	[8]
11	Коефіцієнт, який враховує затуплення інструменту	K ₂	-	1,2	[8]
12	Коефіцієнт, який враховує динаміку процесу	K ₃	-	1,2	[8]
13	Коефіцієнт тертя	f	-	0,16	[8]
14	Подача на зуб фрези	Sz	мм/зуб	0,1	Технологічний процес
15	Коефіцієнт корисної дії клиноплунжерної системи	η	-	0,95	[2]
16	Тиск в пневматичній системі	ρ	кг/см ²	5,0	Інструкційні матеріали підприємства
17	Кут клина	α	град.	20	Креслення пристосування
18	Довжина плечей важеля	l ₁ =l ₂	мм	125	Креслення пристосування
19	Коефіцієнт корисної дії	η	-	0,95	[2]

Сила різання [8], Н:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot (s_z)^y \cdot B^u \cdot z}{D^q \cdot n^w} \cdot k_{mp}; \quad P_z = \frac{10 \cdot 30 \cdot 3^{0,86} \cdot 0,1^{0,72} \cdot 20^{0,0} \cdot 6}{100^{0,86} \cdot 150^0} \cdot 1,39 = 135,5$$

Горизонтальна складова сили різання Ph, Н:

$$Ph = 0,8 \cdot P_z; \quad Ph = 0,8 \cdot 135,5 = 108,4$$

Вертикальна складова сили різання P_v, Н:

$$P_v = 0,7 \cdot P_z ;$$

$$P_v = 0,7 \cdot 135,5 = 94,85 .$$

Коефіцієнт запасу:

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 ;$$

$$K = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,2 = 2,59 .$$

Необхідна і достатня сила затиску, Н:

$$W = \frac{P_h \cdot f + K \cdot P_v}{2 \cdot f} ;$$

$$W = \frac{108,4 \cdot 0,16 + 2,59 \cdot 94,85}{2 \cdot 0,16} = 785 .$$

З рівняння рівноваги важеля (рис. 3.2) знаходимо необхідну і достатню силу затиску на приводі важільного механізму, Н:

$$\sum M_B = 0 ;$$

$$W \cdot l_2 - Q \cdot (l_1 + l_2) = 0 ;$$

$$W \cdot l_2 = Q \cdot (l_1 + l_2) ;$$

$$W = \frac{Q \cdot (l_1 + l_2)}{l_2} \cdot \eta ,$$

звідси сила на приводі:

$$Q = \frac{W \cdot l_2}{(l_1 + l_2)} \cdot \eta ,$$

так як у кресленні вказано $l_1 = l_2$, то:

$$Q = \frac{W}{2} \cdot \eta = \frac{785}{2 \cdot 0,95} = 413,15 .$$

Сила на штоку пневмоцилиндра, Н:

$$Q_{ш} = Q / i .$$

де i – передаточне відношення клиноплунжерного механізму:

$$i = \frac{1 - \tan(\alpha + \phi_{np}) \cdot \tan(\phi_{2np})}{\tan(\alpha + \phi_{np}) + \tan(\phi_{1np})} = 1,75 .$$

Звідси сила на штоку циліндра становить:

$$Q_{ш} = 413,15 / 1,75 = 236,08 \text{ Н} .$$

Отже, діаметр пневмоцилиндра, см:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\rho \pi \cdot \eta}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 236,08}{5 \cdot 3,14 \cdot 0,85}} = 19,8 ,$$

приймаємо $D_{ц} = 200 \text{ мм}$.

Як видно з розрахунків, при однаковій силі різання, змінюючи схеми затиску деталі, ми зменшуємо силу на штоку циліндра. Це дає можливість зменшити діаметр поршня пневмоциліндра, тим самим знизити металоємність пристосування та його вартість.

Проводимо розрахунок міцності навантаженої деталі. Ось виготовлена зі сталі 45 по 380-71, не передає крутного моменту, а тільки поперечні навантаження, тому осі розраховуються на згин.

Розрахункова формула:

$$d = \sqrt[3]{\frac{Mu}{0,1 \cdot |\delta u|}},$$

де: Mu – згинаючий момент;

$[\delta u]=700$ допустиме напруження згину для сталей.

На вісь діє сила затиску, яка з попередніх розрахунків становить, Н:

$$Q = 413,15.$$

Як бачимо з епюри згинаючих моментів (рис. 3.3), навантаження діє по середині відрізка АВ, тобто реакції опор А та В рівні і становлять, Н:

$$A = B = \frac{Q}{2} = 413,15 / 2 = 206,575.$$

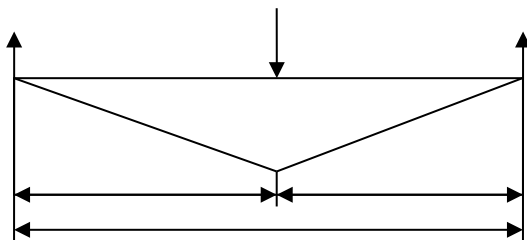


Рисунок 3.3 - Епюра згинаючих моментів

Згинальний момент в даному випадку складає:

$$Mu = \frac{1}{2} \cdot A \cdot Q = 150 \cdot 206,575 = 30986,25 \text{ Н} / \text{мм}^2.$$

Звідси знаходимо мінімальний діаметр осі, мм:

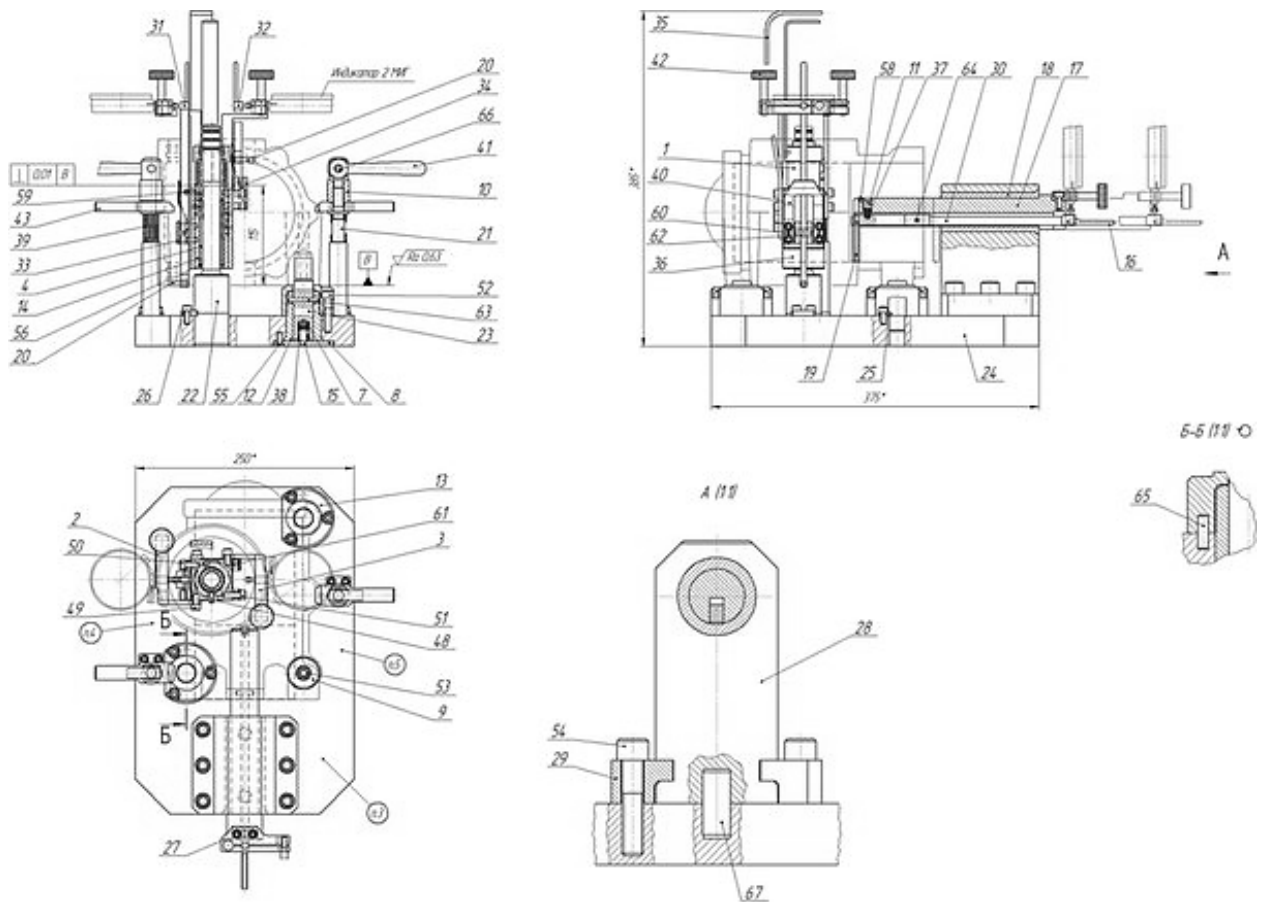
$$d = \sqrt[3]{\frac{Mu}{0,1 \cdot |\delta u|}} = \sqrt[3]{\frac{30986}{0,1 \cdot 700}} = 7,6.$$

Приймаємо більший діаметр, з конструктивних міркувань: $d = 12$ мм.

Складальне креслення верстатного пристосування із вказанням основних технічних вимог приведено у додатках до роботи.

3.2 Опис контрольного пристрою

Контрольний пристрій, рис. 3.4, застосовується для контролю відхилень від циліндричності $0,03$ мм, $\varnothing 114$ F7, розміру $38_{-0,05}$, відхилення від співвісності $\varnothing 0,02$ двох отворів $\varnothing 98^{+0,03}$ в деталі картер УЯИШ.731158.001.



- 1 – захват; 2 – кронштейн лівий; 3 – кронштейн правий; 4 – втулка направляюча;
7 – п'ята; 8 – кришка; 9 – опора; 10 – гайка; 11 – гвинт; 12 – втулка; 13 – опора;
14 – гільза; 15 – штир; 16 – ручка; 17 – оправка; 18 – втулка; 19, 20 – ніжка;
21 – шпилька; 22 – оправка; 23 – палець базовий; 24 – основа; 25, 26 – фіксатор;
27 – кронштейн; 28 – стійка; 29 – прихват; 30 – важіль; 31 – важіль правий;
32 – важіль лівий; 33 – планка ліва; 34 – планка права; 35 – ручка; 36 – корпус;
37, 38, 39, 40 – пружина; 41 – ручка; 43 – прихват.

Рисунок 3.4 - Конструкція контрольно-вимірювального пристрою.

Пристрій працює наступним чином: контрольована деталь встановлюється на палець, замір величини співвісності отворів до поверхні деталі виконується важелем та передається на вимірювальний наконечник індикатора. Вимірювальний наконечник важеля постійно підтиснутий до вимірювальної поверхні деталі за допомогою пружини.

Пружинна головка повинна бути жорстко встановлена в цанзі. При натисканні на вимірювальний наконечник важеля, стрілка індикатора повинна відхилятися від свого положення. Картер встановити в контрольне пристосування та піднести його до вимірювального наконечника важеля та до базової поверхні кільця до упору. Вимірювати деталь в декількох місцях. Принцип виміру базується на вимірюванні відхилень від співвісності твірної поверхні від базової поверхні деталі. Деталь вважається придатною при відхиленні стрілки індикатора не більше ніж на три поділки.

Проводимо визначення похибок вимірювання і перевірку умов працездатності пристрою, за формулою [7]:

$$\sqrt{\Delta_{\delta}^2 + \Delta_{\delta\partial}^2 + \Delta_{nn}^2 + \Delta_{\delta z}^2 + \Delta_{\delta z\partial}^2 + \Delta_{\delta i\partial}^2} \leq [\Delta_{вим}],$$

де: Δ_{δ} – похибка базування контрольованої деталі, $\Delta_{\delta} = 0$;

$\Delta_{\delta\partial}$ – похибка встановлення деталі, $\Delta_{\delta\partial} = 0,001 \text{ мм}$;

Δ_{nn} – похибка передавального пристрою, $\Delta_{nn} = 0,002 \text{ мм}$;

$\Delta_{\delta z}$ – похибка вимірювального засобу, $\Delta_{\delta z} = 0,0005 \text{ мм}$;

$\Delta_{\delta z\partial}$ – похибка встановлення засобу вимірювання, $\Delta_{\delta z\partial} = 0,0009 \text{ мм}$;

$\Delta_{\delta i\partial}$ – похибка відліку, $\Delta_{\delta i\partial} = 0$

$[\Delta_{вим}]$ – допустима похибка вимірювання, $[\Delta_{вим}] = 0,0025 \text{ мм}$.

Тоді:

$$\sqrt{0,001^2 + 0,002^2 + 0,0005^2 + 0,0009^2} = 0,0024 \text{ мм}.$$

Умова виконується.

Складальне креслення вимірювального пристосування представлено в додатках до роботи.

ВИСНОВКИ

В ході виконання кваліфікаційної роботи було розроблено технологічний процес виготовлення деталі картер УЯИШ.731158.001, який відповідає сучасним вимогам технології машинобудування. Вибрано сучасне технологічне обладнання, різальний інструмент, прогресивний метод отримання заготовок, який дозволяє отримувати заготовку з мінімальними припусками під механічну обробку, розраховано припуски та міжопераційні розміри, режими різання на операції механічної обробки, проведено технічне нормування операцій. Також було розроблено затискний та вимірювальний пристрої.

Задля модернізації виробництва у проекті було впроваджено верстати з ЧПУ на окремих стадіях обробки, що дозволило виконувати комплексне чорнове й чистове оброблення кількох поверхонь за одну установку. Такий підхід дозволив скоротити трудомісткість виготовлення деталі, підвищити продуктивність праці і зменшити собівартість продукції.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Методичні рекомендації до кваліфікаційної роботи / Укл.: І.І. Павленко, В.А. Мажара, К.К. Щербина, О.І. Скібінський. – Кроп-цький: ЦНТУ, 2021 – 42 с.
2. Технологія машинобудування. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з технології машинобудування для студентів спеціальностей «Прикладна механіка», «Галузеве машинобудування» денної та заочної форм навчання / Укл.: І.І. Павленко, А.М. Артюхов, М.М. Підгаєцький, В.А. Мажара, М.О. Сторожук. – Кропивницький: ЦНТУ, 2018. – 68 с.
3. Бондаренко С.Г. Основи технології машинобудування, – Львів: Магнолія, 2006.
4. Армійські автомобілі. Основи руху, будова, характеристики: навч. посіб. / Білоус Б.Д. та ін. Львів : Видавництво НУ «Львівська політехніка», 2007. 536 с.
5. Аврунін Г. А., Кириченко І. Г., Самородов В. Б. Гідравлічне обладнання будівельних та дорожніх машин : підруч. для студентів ВНЗ. Харків : ХНАДУ, 2016. 438с.
6. Боженко Л.І. Технологія машинобудування. Проектування та виробництво заготовок, - Львів: Світ, 1996 – 368с.
7. Методичні рекомендації до виконання самостійних робіт з дисципліни: «Технологія обробки типових деталей та складання машин». Для здобувачів спеціальностей: 131 Прикладна механіка, 133 Галузеве машинобудування / Укл.: О.І. Скібінський, В.М. Селєхова. – Кропивницький: ЦНТУ, 2023. – 93 с.
8. Методичні вказівки до дипломного проектування зі спеціальності 8.090202 “Технологія машинобудування” – Кіровоград: КДТУ, 2002.