

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Інститут інженерної механіки та робототехніки
Кафедра комп'ютеризованого машинобудування

Добровольський Віктор Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 621
(індекс)

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

Технологічний процес виготовлення деталі «Корпус И-042.8.Н72.00» для умов середньосерійного типу виробництва
(назва роботи)

Комп'ютеризовані та роботизовані технології машинобудування
(назва освітньої програми)

131-Прикладна механіка
(шифр і назва спеціальності)

В.О. Добровольський
(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник Костюк Назар Олегович, PhD, доцент кафедри КМВ
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

професор Панчук В.Г.
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Рецензент

(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

м.Івано-Франківськ-2025 рік

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут інженерної механіки

Кафедра комп'ютеризованого машинобудування

Освітній рівень магістр

Спеціальність 131-Прикладна механіка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

« ____ » _____ 20__ року

**З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ**

Добровольський Віктор Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Технологічний процес виготовлення деталі «Корпус И-042.8.Н72.00» для умов середньосерійного типу виробництва

керівник роботи Костюк Назар Олегович, PhD, доцент кафедри КМВ

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

затвержені наказом закладу вищої освіти від " ____ " _____ 202_ року № _____

2. Строк подання студентом роботи 15 грудня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи Робоче креслення деталі Корпус И-042.8.Н72.00, Тип виробництва середньосерійний.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) _____
Вступ, 1. Конструкторсько-технологічний аналіз, 2.Проектування технології виготовлення деталі, 3.Проектування технологічної оснастки, 4.Науково-дослідна частина, 5.Перелік літературних джерел, 6.Додатки, 7.Графічна частина.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) _____
Креслення деталі, креслення заготовки, карта налашки, аналіз точності, проектування верстатного пристрою, проектування контрольного пристрою, науково-дослідна.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Костюк Назар Олегович, доцент кафедри КМВ		
2	Костюк Назар Олегович, доцент кафедри КМВ		
3	Костюк Назар Олегович, доцент кафедри КМВ		
4	Костюк Назар Олегович, доцент кафедри КМВ		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Конструкторсько-технологічний аналіз		
2	Проектування технології виготовлення деталі		
3	Проектування технологічної оснастки		
4	Науково-дослідна частина		
5	Графічна частина		
6	Захист магістерської роботи		

Студент _____
(підпис)

Добровольський В.О.
(прізвище та ініціали).

Керівник роботи _____
(підпис)

Костюк Н. О.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

до магістерської кваліфікаційної роботи на тему: «Технологічний процес виготовлення деталі "Корпус И-042.8.Н72.00" для умов середньосерійного типу виробництва»

Загальний обсяг роботи: Пояснювальна записка викладена на 87 сторінках друкованого тексту. Ілюстративний матеріал включає 28 рисунків та 18 таблиць. Список використаних джерел налічує 16 найменувань. Додаткова технічна документація наведена на 10 аркушах формату А4. Графічна частина: 7 аркушів формату А1.

Об'єкт дослідження: Виробничий процес механічної обробки корпусних деталей складної конфігурації.

Предмет дослідження: Оптимізація та модернізація технологічного маршруту виготовлення деталі «Корпус И-042.8.Н72.00» із забезпеченням заданих показників якості.

Зміст та результати роботи: Ключова мета даного магістерського проекту полягає у проектуванні вдосконаленого технологічного процесу, який дозволяє гарантовано отримати деталь, що відповідає всім конструкторським та технічним вимогам креслення. Враховуючи специфіку середньосерійного виробництва, основний акцент зроблено на балансі між продуктивністю обробки та її собівартістю.

У ході роботи виконано глибокий аналіз вихідних даних: конструктивних особливостей деталі, базового техпроцесу та існуючих методів отримання заготовок. На підставі опрацьованих літературних та нормативних джерел запропоновано новий проектний варіант технологічного маршруту. Зокрема:

- Обґрунтовано вибір заготовки, що дозволяє зменшити обсяг стружки та час обробки.
- Виконано детальний розрахунок міжопераційних припусків.
- Підбрано оптимальні режими різання та розраховано технічно обґрунтовані норми часу для кожної операції механообробки.

Окрему увагу приділено конструкторській частині, спрямованій на підвищення ефективності праці та безпеки персоналу. Спроектовано спеціальний верстатний пристрій, доцільність використання якого підтверджена інженерними розрахунками в тілі записки. Для забезпечення стабільного контролю якості розроблено конструкцію контрольного пристрою, який нівелює суб'єктивний фактор при перевірці готової продукції.

Наукова новизна та дослідження: У науково-дослідній частині роботи проведено аналіз напружено-деформованого стану заготовки. Досліджено, як саме схеми базування та сили закріплення впливають на геометрію деталі під час механічної обробки, що дозволяє мінімізувати похибки виготовлення.

Повний комплект технологічної документації, включаючи маршрутні та операційні карти, а також специфікації на спроектоване оснащення, винесено в додатки.

Практична цінність: Запропоновані технічні рішення готові до впровадження на машинобудівних підприємствах, що спеціалізуються на випуску корпусних деталей, та дозволяють підвищити рентабельність виробництва.

Ключові слова: *деталь, заготовка, техпроцес, технологічне оснащення, затискний пристрій, сила закріплення, різальний інструмент, стійкість, точність обробки.*

Студент: Добровольський В.О.

SUMMARY

of the Master's Thesis on the topic: "Manufacturing Process of the Part 'Housing I-042.8.H72.00' for Medium-Batch Production Conditions"

General scope of work: The explanatory note comprises 87 pages of printed text. Illustrative material includes 28 figures and 18 tables. The list of references contains 16 items. Additional technical documentation is presented on 10 A4 sheets. Graphic part: 7 A1 sheets.

Object of research: The manufacturing process of machining complex-configuration housing parts.

Subject of research: Optimization and modernization of the manufacturing process route for the part "Housing I-042.8.H72.00" while ensuring specified quality indicators.

Content and results of the work: The primary goal of this Master's project is to design an improved manufacturing process that guarantees the production of a part meeting all design and technical drawing requirements. Considering the specifics of medium-batch production, the main emphasis is placed on the balance between machining productivity and cost-efficiency.

An in-depth analysis of the initial data was performed during the work, including the part's design features, the basic process, and existing blank production methods. Based on the reviewed literature and regulatory sources, a new projected manufacturing route is proposed. Specifically:

- The selection of the blank has been justified to reduce material waste and machining time.
- A detailed calculation of inter-operational allowances has been performed.
- Optimal cutting parameters have been selected, and technically justified time standards for each machining operation have been calculated.

Special attention is paid to the design section aimed at increasing labor efficiency and personnel safety. A special machine fixture has been designed, the feasibility of which is confirmed by engineering calculations in the explanatory note. To ensure stable quality control, an inspection fixture has been designed to eliminate the subjective factor during the verification of the finished product.

Scientific novelty and research: The research section analyzes the stress-strain state of the blank. The influence of locating schemes and clamping forces on the part geometry during machining was investigated to minimize manufacturing errors.

The complete set of process documentation, including routing and operation sheets, as well as specifications for the designed equipment, is provided in the appendices.

Practical value: The proposed technical solutions are ready for implementation at machine-building enterprises specializing in housing part production and allow for increased production profitability.

Keywords: *part, blank, manufacturing process, tooling, fixture, clamping force, cutting tool, tool life, machining accuracy.*

Student: *Dobrovolskyi V.O.*

ЗМІСТ

Вступ.....	8
1. КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ.....	11
1.1 Аналіз призначення і конструкції деталі.....	11
1.2 Аналіз технологічності конструкції деталі.....	17
1.3 Визначення річної програми та кількості деталей в партії.....	21
2. ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ...	23
2.1 Аналіз базового технологічного процесу і розробка маршрутної технології.....	23
2.1.1 Техніко-економічне обґрунтування вибору заготовки	24
2.1.2 Опис і аналіз базового технологічного процесу.....	30
2.1.3 Опис вдосконаленого технологічного процесу.....	33
2.2 Розробка операційної технології.....	37
2.2.1 Розрахунок припусків на механічну обробку і визначення технологічних розмірів.....	37
2.2.2 Розрахунок режимів різання і уточнення моделей верстатів.....	39
2.3. Аналіз точності обробки.....	45
2.4 Проектування керуючої програми обробки на верстаті з ЧПК.....	49
2.5 Нормування технологічного процесу.....	54
3. ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ОСНАСТКИ.....	56
3.1 Проектування верстатного пристрою.....	56
3.1.1 Вибір установчих елементів, схеми базування та способу закріплення деталі в пристрої.....	57
3.1.2 Розрахунок необхідних сил закріплення та приводу пристрою.....	60
3.1.3. Розрахунок основних параметрів приводу.....	61

					МР.ПМКм– 008.00.000 ПЗ					
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Пояснююча записка					
Розроб.		Добровольський						Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Костюк Н. О.						6	87	
Реценз.								ІФНТУНГ		
Н. Контр.		Костюк Н. О.						гр. ПМКм–24-1		
Затверд.		Панчук В.Г.								

ВСТУП

Сучасний етап розвитку машинобудівної галузі характеризується постійним зростанням вимог до якості, надійності та довговічності продукції. В умовах ринкової економіки та жорсткої конкуренції ключовим фактором успіху будь-якого промислового підприємства стає його здатність виробляти високоякісні вироби з мінімальною собівартістю. Досягнення цих цілей неможливе без постійного вдосконалення технологічних процесів, впровадження інноваційних методів обробки, використання високопродуктивного обладнання та оптимізації всіх етапів виробничого циклу.

Одними з найпоширеніших та водночас найвідповідальніших деталей у машино- та приладобудуванні є деталі типу «корпус». Вони виконують функцію базових елементів, які об'єднують в єдине ціле окремі вузли та механізми, забезпечуючи їх точне взаємне розташування та захищаючи від зовнішніх впливів. Від точності виготовлення корпусних деталей напряду залежать працездатність, ресурс та експлуатаційні характеристики всієї машини.

Деталь "Корпус И-042.8.Н72.00", що є об'єктом даного дослідження, є яскравим представником таких деталей. Її конструкція відрізняється складною просторовою геометрією, наявністю великої кількості оброблюваних поверхонь, розташованих у різних площинах, а також високими вимогами до точності розмірів (допуски до ± 0.1 мм), форми та взаємного розташування елементів. Окрім того, технічними умовами передбачено забезпечення параметрів шорсткості до Ra 2.5 мкм на відповідальних поверхнях.

Особливої ваги набуває завдання розробки технології виготовлення цієї деталі в умовах серійного типу виробництва. Цей тип виробництва, з одного боку, вимагає забезпечення стабільності якісних показників у великих партіях, а з іншого — досягнення максимальної економічної ефективності за рахунок зниження трудомісткості та матеріаломісткості. Неоптимально спроектований технологічний процес призводить до значних економічних втрат через нераціональне використання верстатного парку, підвищену витрату інструменту, велику частку браку та, як наслідок, до підвищення собівартості продукції.

Таким чином, розробка науково обґрунтованого, раціонального та економічно ефективного технологічного процесу механічної обробки деталі "Корпус И-042.8.Н72.00", орієнтованого на умови серійного виробництва та спрямованого на забезпечення стабільно високої якості, є актуальною науково-технічною задачею, вирішення якої має важливе практичне значення.

Метою магістерської роботи є підвищення продуктивності праці та економічної ефективності процесу виготовлення деталі "Корпус И-042.8.Н72.00" шляхом розробки та впровадження прогресивного технологічного процесу, що

									Арк.
									8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МР.ПМКМ= 008.00.000 ПЗ				

базується на застосуванні сучасного обладнання та інструментів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

Провести комплексний аналіз конструкції та технічних вимог до деталі "Корпус И-042.8.Н72.00", оцінити її технологічність та виявити основні труднощі, що виникають при її виготовленні.

Виконати аналіз існуючих методів обробки аналогічних корпусних деталей з сірого чавуну СЧ 20, визначити їх переваги та недоліки в контексті серійного виробництва.

Здійснити науково обґрунтований вибір методу отримання заготовки та розробити її конструкцію з урахуванням мінімізації припусків на обробку та зниження витрат матеріалу.

Розробити оптимальний маршрут механічної обробки деталі, включаючи раціональний вибір технологічних баз, визначення послідовності операцій та переходів.

Підібрати сучасне високопродуктивне металорізальне обладнання, різальні інструменти та спроектувати необхідне технологічне оснащення (пристрої) для реалізації розробленого техпроцесу.

Виконати розрахунок режимів різання для всіх операцій механічної обробки, виходячи з умов досягнення максимальної продуктивності при дотриманні заданих параметрів якості.

Провести технічне нормування операцій та розрахувати основні техніко-економічні показники спроектованого технологічного процесу для підтвердження його ефективності.

Об'єктом дослідження є технологічний процес виготовлення деталі "Корпус И-042.8.Н72.00" в умовах серійного виробництва.

Предметом дослідження є закономірності формування точності та якості поверхневого шару деталі в залежності від параметрів технологічного процесу (послідовності обробки, режимів різання, типу обладнання та оснащення) та їх вплив на продуктивність і собівартість виготовлення.

Для вирішення поставлених завдань у роботі використано комплексний підхід, що базується на таких методах дослідження:

Аналітичний метод: вивчення науково-технічної літератури, довідників, стандартів (ДСТУ, ГОСТ, ISO) та каталогів виробників обладнання для формування теоретичної бази дослідження.

Системний аналіз: розгляд технологічного процесу як єдиної системи «верстат – пристрій – інструмент – деталь» (ВПД) для комплексного вирішення інженерних завдань.

Розрахунково-конструкторські методи: застосування положень теорії

									Арк.
									9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МР.ПМКМ= 008.00.000 ПЗ				

різання, технології машинобудування та теорії базування для розрахунку припусків, режимів обробки, проектування оснащення та визначення похибок.

Методи техніко-економічного аналізу: для порівняльної оцінки варіантів технології та обґрунтування економічної доцільності запропонованих рішень.

Наукова новизна та практичне значення роботи

Наукова новизна роботи полягає в комплексному підході до проектування технології обробки складної корпусної деталі для серійного виробництва, що включає обґрунтування раціональної послідовності обробки з максимальною концентрацією операцій на верстатах з числовим програмним керуванням, що дозволяє мінімізувати сумарну похибку виготовлення за рахунок скорочення кількості перевстановлень та стабілізації процесу.

Практичне значення одержаних результатів полягає у розробці повного комплексу технологічної документації, який є готовим інженерним рішенням для організації виробництва деталі "Корпус И-042.8.Н72.00" на машинобудівному підприємстві. Впровадження запропонованої технології дозволить:

Підвищити продуктивність обробки деталі та скоротити цикл її виготовлення.

Забезпечити стабільне виконання технічних вимог кресленика, знизити відсоток браку та підвищити надійність виробу, до складу якого входить деталь.

Знизити собівартість виготовлення за рахунок зменшення машинного та допоміжного часу, а також зниження трудомісткості.

Структура та обсяг роботи. Магістерська робота складається зі вступу, п'яти основних розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків.

					МР.ПМКМ= 008.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

1. КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ

1.1 Аналіз призначення і конструкції деталі

Деталь, що розглядається в даній роботі, має назву «Корпус» (позначення И-042.8.Н72.00). Вона є основною складовою вузла, призначеного для монтажу елементів приводу — валів, підшипників, зубчастих коліс та з'єднувальних елементів. Корпус виконує роль опорної та захисної бази механізму, забезпечуючи правильне взаємне розташування рухомих деталей, їхню жорстку фіксацію та захист від зовнішніх впливів (пилу, вологи, механічних ушкоджень).

Основне призначення корпусу — створення стабільної геометричної бази для роботи всього агрегату. У ньому розміщуються посадкові отвори під підшипники, технологічні різьбові отвори під кріпильні елементи, а також площини для з'єднання з кришками, фланцями та іншими частинами конструкції. Корпус сприймає статичні й динамічні навантаження від роботи механізму, передаючи їх на опорну поверхню.

Матеріал деталі — чавун марки СЧ20 за ДСТУ 1412–85. Такий матеріал має високу віброємність, добру оброблюваність і достатню міцність при порівняно невеликій вартості. Це робить його доцільним вибором для корпусних елементів машин загального призначення.

Таблиця 1 – Хімічний склад чавуну СЧ20

№	Елемент	Хімічна формула	Вміст, %
1	Вуглець	C	3,2–3,6
2	Кремній	Si	1,2–2,5
3	Марганець	Mn	0,5–0,8
4	Сірка	S	≤ 0,12
5	Фосфор	P	≤ 0,15
6	Залізо (основа)	Fe	решта

- Високий вміст вуглецю (3,2–3,6%) забезпечує формування пластинчастого графіту, що надає матеріалу добру демпфуючу здатність.
- Кремній сприяє графітизації, підвищує корозійну стійкість і міцність при стиску.
- Марганець підвищує міцність і твердість, компенсуючи негативний вплив сірки.
- Невелика кількість сірки і фосфору забезпечує прийнятну оброблюваність і зменшує ризик крихкості.

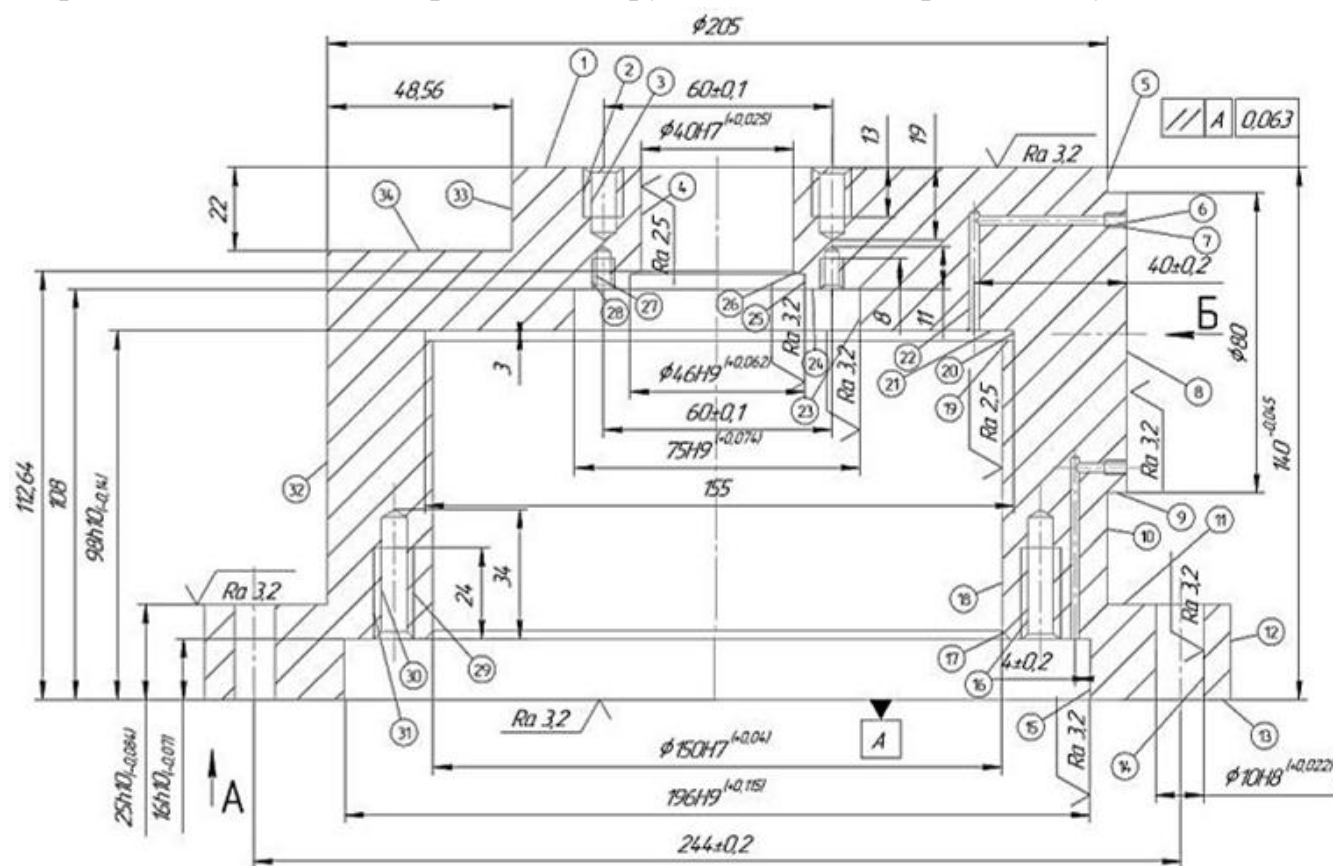
									Арк.
									11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МР.ПМКМ= 008.00.000 ПЗ				

Таблиця 1.1 – Механічні властивості чавуну СЧ20

№	Показник	Одиниця вимірювання	Значення
1	Границя міцності при розтягу	МПа	200–260
2	Границя міцності при стиску	МПа	600–800
3	Модуль пружності	ГПа	90–110
4	Границя витривалості при згині	МПа	110–130
5	Твердість за Брінеллем	–	170–207
6	Відносне подовження	%	0,5–1,0
7	Густина	кг/м ³	7100
8	Температура плавлення	°С	1150–1200
9	Коефіцієнт лінійного розширення	1/°С	10,5·10 ⁻⁶

Механічні властивості СЧ20 визначають оптимальні умови його механічної обробки. Завдяки наявності графіту в структурі чавун має властивість самозмащування, що знижує силу різання, поліпшує стан обробленої поверхні й зменшує зношування інструменту.

При цьому твердість у межах 170–200 НВ забезпечує добрий баланс між міцністю й технологічністю, дозволяючи використовувати стандартні твердосплавні або швидкорізальні інструменти без надмірного зносу

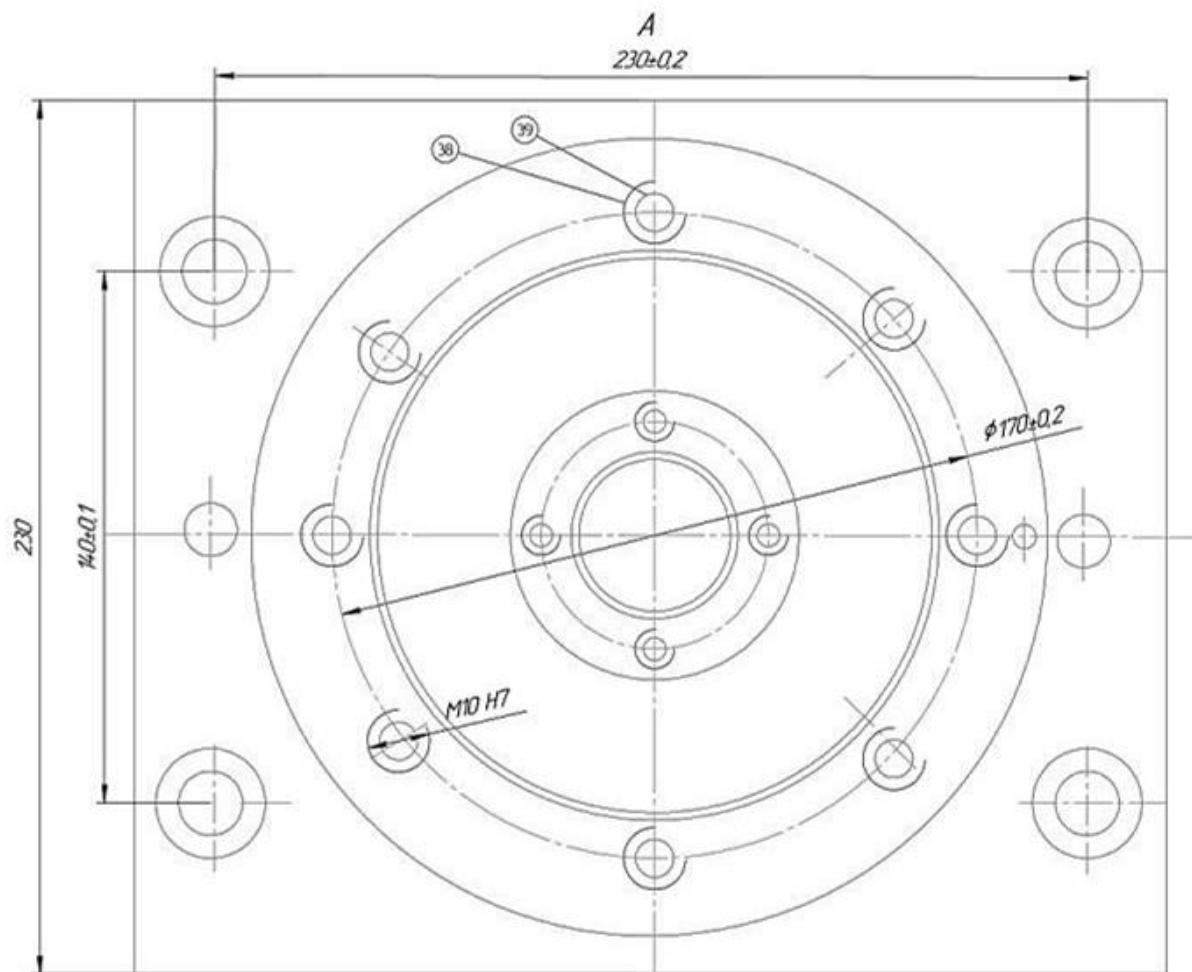
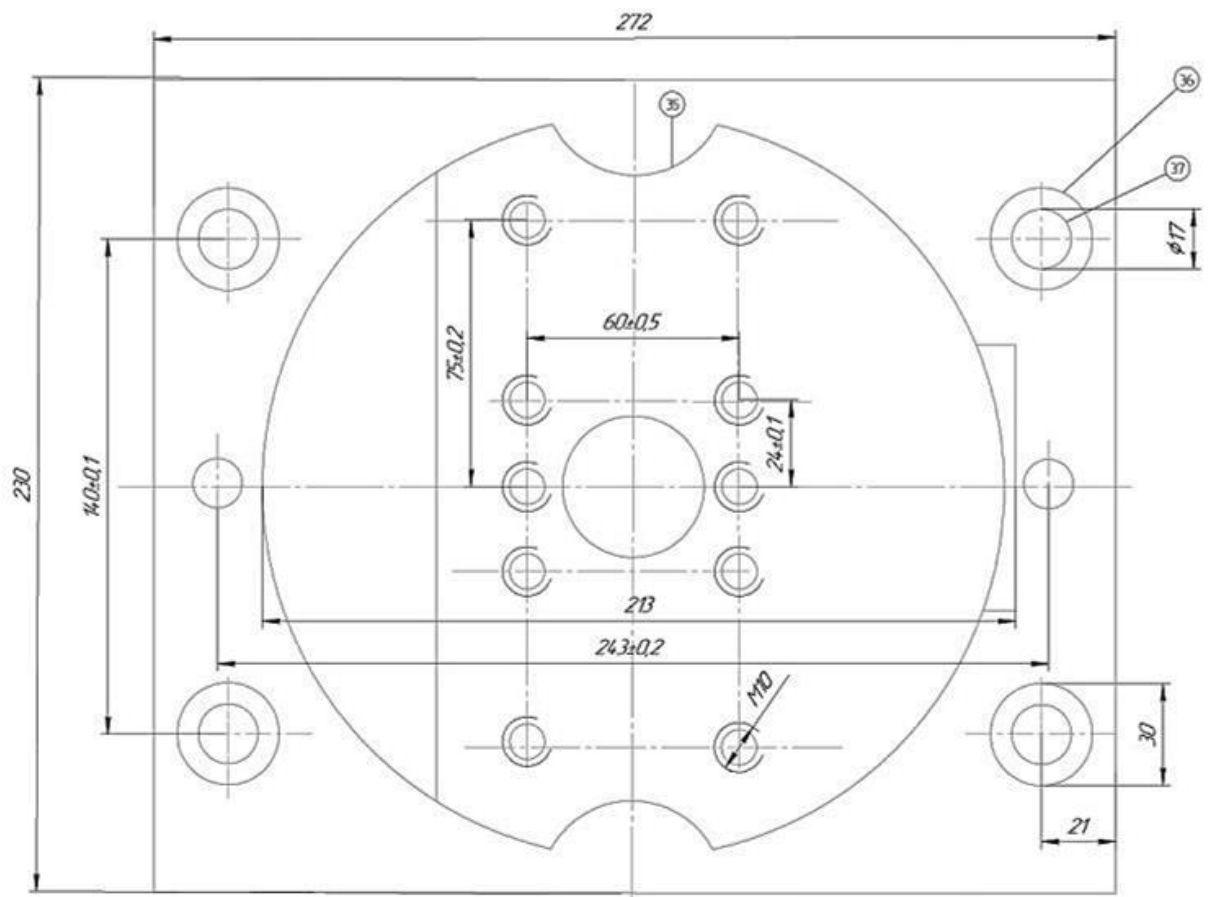


Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

МР.ПМКМ= 008.00.000 ПЗ

Арк.

12



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МР.ПМКМ= 008.00.000 ПЗ

Арк.

13

конструкція відповідає вимогам стандартів ЄСКД, має зручність у виготовленні, контролі та складанні, а також забезпечує повну взаємозамінність при серійному виробництві машинобудівних виробів.

Таблиця 1.1 – Вимоги до точності розмірів і якості поверхонь

№ пов.	Характеристика та службове призначення поверхні.	Розміри, (мм).	Квалітет точності, (IT).	Точність форми і взаємного розміщення.	Шорсткість, Ra (мкм).
1.	Торцева циліндрична поверхня, яка служить базовою при встановленні деталей у пристрій і забезпечує співвісність отворів	Ø205x140	8	Паралельність поверхні відносно бази $A \leq 0,063$ мм	3,2 (3)
2.	Внутрішня циліндрична поверхня з'єднувальних елементів	Ø 8	14	—	12,5 (5)
3.	Внутрішня різьбова поверхня	M8	7	В межах стандартної точності виготовлення	12,5 (5)
4.	Отвір	Ø40	7	В межах стандартної точності виготовлення	2,5 (2)
5.	Зовнішня циліндрична поверхня	Ø205	14	—	12,5 (5)
6.	Два отвори	Ø 8	14	—	12,5 (5)
7.	Різьбова внутрішня поверхня під гвинтове з'єднання	M8	7	В межах стандартної точності виготовлення	12,5 (5)
8.	Зовнішня торцева циліндрична поверхня	Ø 80	14	—	3,2 (3)
9.	Зовнішня циліндрична поверхня	Ø 80	14	—	12,5 (5)
10.	Циліндрична пов.	Ø205	14	—	12,5 (5)
11.	Площинна поверхня	272 x 230	14	—	3,2 (3)
12.	Монтажна площина корпусу, що слугує базою при складанні вузла	272 x 230 x25	10	—	12,5 (5)
13.	Зовнішня торцева поверхня	272 x 230	8	В межах стандартної точності виготовлення	3,2 (3)
14.	Внутрішня циліндрична поверхня (Отвір)	Ø 10	8	В межах стандартної точності виготовлення	3,2 (3)
15.	Внутрішня циліндрична поверхня (Отвір)	Ø 196	9	В межах стандартної точності виготовлення	3,2 (3)
16.	Торцева внутрішня поверхня	196x150	10	—	12,5 (5)
17.	Внутрішня фаска	2x45°	14	—	12,5 (5)
18.	Отвір	Ø150	7	В межах стандартної точності виготовлення	2,5 (2)
19.	Внутрішня бокова поверхня	155	14	—	12,5 (5)

1.2 Аналіз технологічності конструкції деталі

Деталь «Корпус И-042.8.Н72.00» виготовляється із матеріалу сірого чавуну СЧ20, який характеризується стабільними механічними властивостями, хорошою оброблюваністю різанням і здатністю ефективно демпфувати вібрації під час роботи вузла. Конструкція корпусу є досить складною, оскільки поєднує в собі площинні, циліндричні, різьбові та фасонні елементи, які забезпечують суміщення деталей у складі механізму та передачу зусиль під час експлуатації.

Після детального аналізу креслення можна зробити висновок, що спрощення конструкції не потребується, оскільки всі елементи корпусу виконують конкретні функції — монтажні, базові або спряжені. Конфігурація корпусу є раціональною з точки зору міцності та технологічності: передбачено ребра жорсткості, рівномірну товщину стінок, плавні переходи між елементами, що сприяє зменшенню внутрішніх напружень і забезпечує стабільність форми під час обробки.

Висока точність взаємного розташування отворів та площин дозволяє здійснювати обробку на верстатах з числовим програмним керуванням (ЧПК), що істотно підвищує продуктивність праці та забезпечує стабільну якість виготовлення. Завдяки геометричній симетрії корпусу, кількість установ при механічній обробці можна мінімізувати до двох–трьох, що позитивно впливає на точність базування та зменшує похибки при перевстановленні.

Найточнішими поверхнями у даній деталі є посадкові отвори $\varnothing 150H7 (+0,040)$ та $\varnothing 40H7 (+0,025)$, які забезпечують центрування підшипників або валів у вузлі. Ці поверхні належать до функціонально важливих, тому до них висуваються найвищі вимоги щодо точності розмірів і шорсткості ($Ra\ 2,5\text{--}3,2\ \mu\text{м}$). Інші поверхні, зокрема кріпильні та різьбові, мають нижчі вимоги — до $Ra\ 12,5\ \mu\text{м}$, що є цілком достатнім для їх експлуатаційного призначення.

Більшість розмірів, зазначених на кресленні корпусу, можуть бути контрольовані універсальними вимірювальними інструментами — штангенциркулями, мікрометрами, нутромірами тощо. Для перевірки співвісності та взаємного розташування базових поверхонь можуть бути застосовані спеціальні контрольні пристрої або калібри, що відповідають вимогам ДСТУ ISO 1938-1:2020.

Загалом деталь «Корпус И-042.8.Н72.00» можна охарактеризувати як технологічну та конструктивно доцільну. Вона не містить надлишкових елементів, має достатню кількість зручних базових поверхонь для установки під час механічної обробки, а всі основні геометричні параметри піддаються точному вимірюванню стандартними засобами контролю. Це дозволяє забезпечити високу точність виготовлення при оптимальних витратах часу і

					МР.ПМКМ= 008.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

ресурсів, що є одним із головних критеріїв ефективності технологічного процесу.

Визначення коефіцієнта уніфікації. Для аналізу уніфікації розмірів деталі «Корпус И-042.8.Н72.00» було розглянуто шість основних груп параметрів: лінійні, діаметральні, кутові, конусність, шорсткість та метричні різьби.

До лінійних розмірів належать такі параметри, як 25 мм (8 отворів), 20 мм (8 отворів), 55 мм, 16 мм, 18 мм (4 розміри), 28 мм (4 розміри), 35 мм (4 розміри), 48 мм, 60±0,7 мм, 75 мм, 140 мм (2 розміри), 25 мм (6 отворів), 14 мм (4 отвори), 50 мм, 20 мм (6 розмірів) тощо. Загальна кількість лінійних розмірів — 84, з яких 75 мають уніфіковані значення, тобто відповідають стандартним розмірам за ДСТУ ISO 286.

Серед діаметральних розмірів переважають отвори Ø196Н9, Ø170±0,7, Ø150Н7, Ø74Н9, Ø46Н9, Ø40Н7, Ø8, Ø6, Ø12Н8, Ø105, Ø210. Всього враховано 24 діаметральних розміри, з яких 20 є уніфікованими та відповідають стандартним посадковим комбінаціям.

До кутових розмірів належать кути 10° (2 поверхні) і 45° (2 поверхні). Усього визначено 4 кутові параметри, усі вони стандартизовані, тобто уніфіковані.

Конусність у даній деталі відсутня, отже $\Sigma_{\text{заг.}} = 0$, $\Sigma_{\text{уніф.}} = 0$.

Щодо шорсткості поверхонь, у кресленні виділено три основні групи:

- Ra 3,2 мкм (10 поверхні),
- Ra 2,5 мкм (3 поверхонь),
- Ra 12,5 мкм (26 поверхонь).

Усі значення шорсткості відповідають стандартним ступеням за ДСТУ ISO 1302, тому $\Sigma_{\text{заг.}} = 42$, $\Sigma_{\text{уніф.}} = 42$.

Для метричних різьбових з'єднань застосовано стандартні різьби: М6-7Н (4 отвори), М8-7Н (2 отвори), М10-7Н (14 отворів). Загальна кількість різьбових параметрів — 20, усі з них уніфіковані.

Таким чином, після підсумовування результатів отримуємо:

$$\Sigma_{\text{заг.}} = 84 + 24 + 4 + 0 + 42 + 20 = 174$$

$$\Sigma_{\text{уніф.}} = 75 + 20 + 4 + 0 + 42 + 20 = 161$$

Коефіцієнт уніфікації визначається за формулою:

$$K_y = \frac{\Sigma_{\text{уніф.}}}{\Sigma_{\text{заг.}}} = \frac{161}{174} = 0,925$$

Отримане значення коефіцієнта уніфікації $K_y = 0,93$ свідчить про високий рівень стандартизації розмірів, посадок і різьбових з'єднань у конструкції корпусу. Це позитивно впливає на технологічність виготовлення деталі, знижує

						МР.ПМКМ= 008.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			18

потребу у спеціальному оснащенні, полегшує контроль точності та скорочує час підготовчо-заклучних операцій.

Визначення коефіцієнта точності обробки. Для оцінювання технологічності конструкції корпусу було визначено коефіцієнт точності, який характеризує рівень точності обробки поверхонь деталі. Розподіл поверхонь за квалітетами точності наведено нижче.

До 7-го квалітету точності відносяться найбільш відповідальні посадкові отвори: $\varnothing 150H7 (+0,040)$ і $\varnothing 40H7 (+0,025)$. Кількість поверхонь — 2. Для них добуток квалітету на кількість поверхонь становить $7 \times 2 = 14$.

До 8-го квалітету точності належать отвори $140h8$ та $\varnothing 12H8 (+0,027)$, а також площинні базові поверхні монтажу корпусу. Загалом таких поверхонь — 4. $8 \times 4 = 32$.

До 9-го квалітету точності належать отвори $\varnothing 74H9 (+0,074)$, $\varnothing 46H9 (+0,062)$ та $\varnothing 196H9 (+0,115)$. Кількість поверхонь — 3. $9 \times 3 = 27$.

До 10-го квалітету точності належать допоміжні поверхні ($25h10$, $16h10$, $86h10$, $98h10$ тощо). Загальна кількість — 8 поверхонь. $10 \times 8 = 80$.

До 14-го квалітету точності належать решта допоміжних поверхонь (отвори, фаски, канавки, різьбові з'єднання тощо), які не потребують високої точності. Кількість таких поверхонь — 34. $14 \times 24 = 336$.

Після підсумовування всіх значень маємо:

$$\Sigma(T_i \cdot n_i) = 14 + 32 + 27 + 80 + 336 = 489$$

Загальна кількість оброблюваних поверхонь:

$$\Sigma n_i = 51$$

Середній (зважений) квалітет точності:

$$T_{cp} = \frac{\Sigma(T_i \cdot n_i)}{\Sigma n_i} = \frac{489}{51} = 9.6$$

Коефіцієнт точності визначається за формулою:

$$K_T = \frac{7}{T_{cp}} = \frac{7}{9.6} = 0.73$$

Отримане значення коефіцієнта точності $K_T = 0,73$ свідчить про достатньо високий рівень технологічності деталі «Корпус И-042.8.Н72.00».

Оскільки $K_T > 0,6$, конструкція деталі відповідає вимогам технологічності: кількість високоточних поверхонь оптимальна, а рівень точності забезпечує взаємозамінність без надлишкової трудомісткості. Це дає змогу ефективно виконувати обробку корпусу в умовах серійного виробництва, використовуючи універсальне обладнання або верстати з ЧПК.

									Арк.
									19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МР.ПМКМ= 008.00.000 ПЗ				

Визначення коефіцієнта шорсткості поверхонь. Для характеристики якості обробки поверхонь деталі «Корпус И-042.8.Н72.00» визначимо коефіцієнт шорсткості. Він дозволяє оцінити рівень технологічності деталі з точки зору вимог до чистоти поверхонь.

Поверхні деталі мають декілька рівнів шорсткості залежно від їх функціонального призначення:

- До Ra 1,6 мкм належать найбільш точні базові площини і посадкові поверхні, на які встановлюються підшипники або ущільнювальні елементи. Таких поверхонь — 2, добуток становить $1,6 \times 2 = 3,2$.
- До Ra 3,2 мкм належать торцеві та зовнішні поверхні, які забезпечують точність збирання і взаємне положення деталей. Кількість таких поверхонь — 25, добуток $3,2 \times 25 = 80$.
- До Ra 6,3 мкм належать допоміжні поверхні, які не виконують відповідальних функцій, але потребують обробки для монтажу або точного центрування. Кількість — 7, добуток $6,3 \times 7 = 44,1$.
- До Ra 12,5 мкм відносяться поверхні, які не впливають на точність і працюють без тертя або з великими зазорами (канавки, фаски, неустановчі отвори). Таких поверхонь — 14, добуток $12,5 \times 14 = 175$.

Після підсумовування результатів маємо:

$$\Sigma(Ra \cdot n_i) = 3,2 + 80 + 44,1 + 175 = 302,3$$

Загальна кількість поверхонь:

$$\Sigma n_i = 48$$

Середня (зважена) шорсткість:

$$R_{a \text{ ср}} = \frac{\Sigma(R_i \cdot n_i)}{\Sigma n_i} = \frac{302,3}{48} = 6,3 \text{ мкм}$$

Коефіцієнт шорсткості визначається як:

$$K_{\text{ш}} = \frac{1,6}{R_{a \text{ ср}}} = \frac{1,6}{6,3} = 0,25$$

Отримане значення коефіцієнта шорсткості $K_{\text{ш}}=0,25$ свідчить про раціональний розподіл рівнів чистоти обробки поверхонь у конструкції корпусу.

Високоточні поверхні становлять відносно невелику частку загальної площі, тоді як переважна більшість поверхонь має стандартну шорсткість Ra 3,2–12,5 мкм, що відповідає вимогам серійного виробництва.

Таким чином, деталь “Корпус И-042.8.Н72.00” можна вважати технологічною за показником шорсткості, оскільки структура поверхонь узгоджена з їх функціональним призначенням, а надлишкова чистота обробки відсутня. Це забезпечує економічність виготовлення при збереженні необхідної точності збирання.

									Арк.
									20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МР.ПМКМ= 008.00.000 ПЗ				

1.3 Визначення річної програми та кількості деталей в партії.

Для даного виробництва встановлено такі параметри:

- Тип виробництва: серійне;
- Форма організації виробництва: поточно-серійна;
- Режим роботи підприємства: дві зміни на добу.

Таблиця 1.7 – Трудомісткість операцій за базовим технологічним процесом

№ оп.	Назва операції.	Штучно-калькуляційний час (Тштк, хв)
005.	Заготівельна	-
010.	Токарна	21,3
015.	Токарна	45,2
020.	Свердлильна з ЧПК	62,0
025.	Свердлильна з ЧПК	23,0
030.	Свердлильна з ЧПК	51,7
035.	Внутрішньо-шліфувальна	21,4
040.	Внутрішньо-шліфувальна	27,5

Середній штучно-калькуляційний час для серійного виробництва визначаємо за формулою:

$$T_{\text{шт.к.сер}} = \frac{\sum T_{\text{штк}}}{n},$$

де $\sum T_{\text{штк}}$ – сумарний штучно-калькуляційний час;

$n=7$ – кількість операцій механічної обробки.

$$T_{\text{шт.к.сер}} = \frac{21,3+45,2+62,0+23,0+51,7+21,4+27,5}{7} = \frac{252}{7} = 36,0 \text{ хв.}$$

Такт випуску деталей розраховуємо за формулою:

$$t_{\text{в}} = k_{\text{с}} \cdot T_{\text{шт.к.сер}},$$

де $k_{\text{с}}$ – коефіцієнт серійності. Для середньо-серійного виробництва $k_{\text{с}}$ приймається в межах 10–20; для наших умов обираємо $k_{\text{с}}=15$.

$$t_{\text{в}} = 15 \cdot 36 = 540,0 \text{ хв.}$$

Розрахункову річну програму випуску деталей визначаємо за формулою:

$$N_{\text{р}} = \frac{F_{\text{г}} \cdot 60}{t_{\text{в}}},$$

де $F_{\text{г}}=4029$ год. – дійсний річний фонд часу роботи обладнання при двозмінній роботі.

$$N_{\text{р}} = \frac{4029 \cdot 60}{540} = 447,7 \text{ шт/рік.}$$

Приймаємо округлено: $N=450$ шт./рік.

									Арк.
									21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Розрахункова кількість деталей в одній партії визначається так:

$$P_p = \frac{N \cdot a}{F},$$

де F – робочих днів в році

a – 12 днів періодичності запуску партії.

$$P_p = \frac{450 \cdot 12}{254} = 21,26 \text{ шт}$$

Розрахункове число змін для обробки партії деталей визначаємо за формулою:

$$C_p = \frac{T_{\text{шт.к.сер}} \cdot P_p}{F_o \cdot 0,8},$$

де F_o – дійсний фонд часу роботи обладнання в зміну.

$$C_p = \frac{36 \cdot 21,26}{480 \cdot 0,8} = \frac{765,36}{384} = 1,99$$

Приймаємо для практичних розрахунків дві зміни: $C_{np}=2$.

Обсяг прийнятої партії деталей розраховуємо:

$$P_d = \frac{C_{np} \cdot F_o \cdot 0,8}{T_{\text{шт.к.сер}}} = \frac{2 \cdot 480 \cdot 0,8}{36} = \frac{768}{36} = 21,33$$

Для серійного поточно-серійного виробництва при двозмінному режимі роботи оптимальний обсяг партії складає 22 деталі.

					МР.ПМКМ= 008.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

2.1 Аналіз базового технологічного процесу і розробка

маршрутної технології

Проектування технологічного процесу виготовлення корпусної деталі типу «Корпус И-042.8.Н72.00» передбачає комплексний аналіз її конструктивних особливостей, функціонального призначення та вимог до точності обробки поверхонь. На етапі розробки технології необхідно встановити раціональну послідовність операцій, визначити методи формоутворення заготовки, вибрати технологічні бази, а також забезпечити досягнення заданих параметрів точності та шорсткості при мінімальних витратах виробництва.

Базовий технологічний процес включає операції отримання заготовки литтям, механічної обробки зовнішніх і внутрішніх поверхонь, формування різьбових з'єднань, обробки канавок, фасок та опорних площин, а також кінцеве контрольне вимірювання. Аналіз існуючих технологічних схем показує, що корпусні деталі складної конфігурації вимагають мінімізації кількості переналагоджень і установів, що безпосередньо впливає на стабілізацію базування й точності геометрії.

Основна мета аналізу базового технологічного процесу полягає у визначенні його недоліків, оцінці рівня технологічності конструкції та формуванні вдосконаленої маршрутної технології, що забезпечить оптимальне співвідношення між продуктивністю, собівартістю та якістю виготовлення. Для цього враховуються:

- конструктивні елементи деталі та їх технологічна значимість;
- характер базових і функціональних поверхонь;
- вимоги до точності (квалітет, відхилення форми та взаємного розміщення);
- вимоги до шорсткості поверхонь;
- можливості застосування високопродуктивного обладнання, зокрема верстатів із ЧПК;
- умови стабільного базування при механічній обробці;
- наявність уніфікованих елементів конструкції та ступінь технологічності.

Результатом аналізу є формування маршрутної технології, яка включає впорядковану послідовність технологічних операцій: від отримання заготовки литтям до остаточного контролю виробу. Маршрут оптимізується з урахуванням мінімізації переходів, скорочення допоміжних витрат часу, зменшення кількості переналагоджень та забезпечення стабільної точності обробки.

									Арк.
									23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МР.ПМКМ= 008.00.000 ПЗ				

2.1.1 Техніко-економічне обґрунтування вибору заготовки

Вибір методу отримання заготовки визначається фізико-механічними властивостями матеріалу, конструктивними особливостями деталі, її масогабаритними параметрами та плановим обсягом виробництва. Корпус типу «И-042.8.Н72.00» має складну просторову форму з великою кількістю внутрішніх порожнин, отворів, різьбових елементів, канавок і базових поверхонь, що вимагають забезпечення стабільної геометрії на початковому етапі формування заготовки.

Матеріал деталі – чавун СЧ20 – характеризується хорошими ливарними властивостями, високою рідкотекучістю та здатністю формувати тонкостінні елементи без утворення внутрішніх дефектів. Це дозволяє ефективно використовувати метод лиття в піщано-глинисті форми, який є економічно доцільним для середньосерійного та великосерійного виробництва.

Сутність обраного методу полягає у виготовленні форм (напівформ) у ливарних опоках шляхом ручного або машинного ущільнення піщано-глинистої суміші навколо моделей. Для отримання внутрішніх порожнин, технологічних каналів та сквозних отворів застосовуються стержні, виготовлені у стержневих ящиках. Стержні армуються металевими стрижнями для забезпечення геометричної стабільності та запобігання деформаціям під час заливання металу.

Після завершення формування модель або напівмодель видаляється, а напівформи сушаться до досягнення необхідної міцності. Підготовлені опоки з'єднуються, у форму встановлюються стержні та монтується ливникова система. Розплавлений чавун заливають крізь сформовані канали у порожнину форми, де він проходить процес кристалізації. Охолодження відбувається природним способом на повітрі до моменту повного твердіння металу.

Після завершення кристалізації форма руйнується, виліток вилучається, проводиться очищення поверхонь від пригару та залишків формувальної суміші. Ливниково-живильна система відрізається або обрубуються. Далі заготовка проходить додаткове очищення дробоструминним чи механічним способом і спрямовується на механічну обробку.

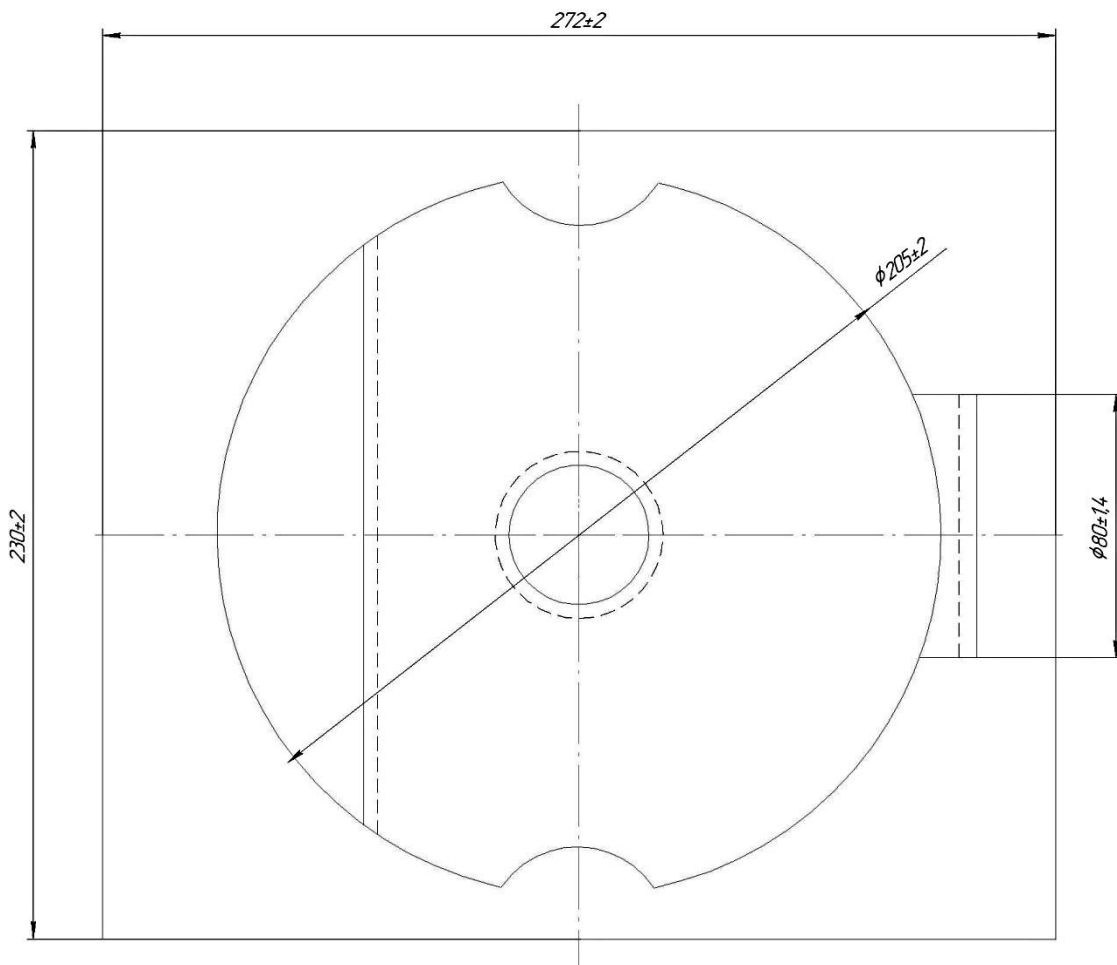
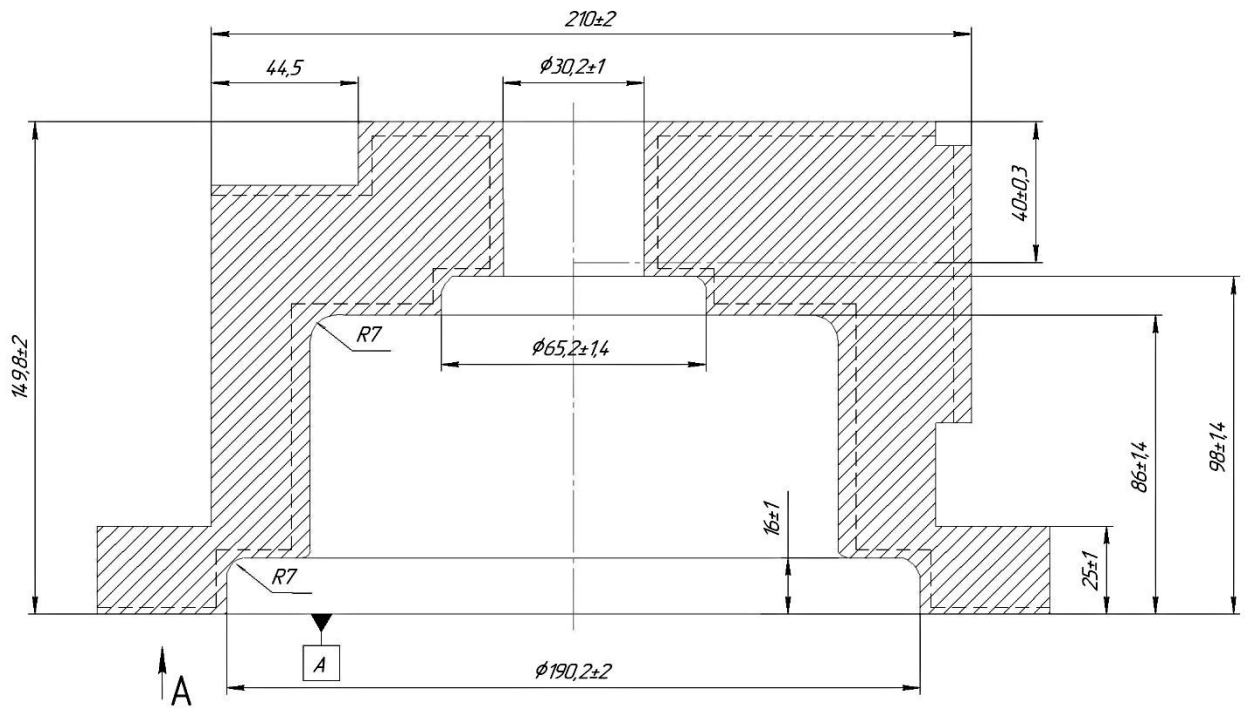
Переваги вибору лиття в піщано-глинисті форми для корпусу:

Висока економічність при виготовленні крупногабаритних та складних деталей.

Можливість формування складних внутрішніх порожнин, характерних для корпусу пневмо- та гідросистем.

Гнучкість у підготовці виробництва — оперативне виготовлення оснащення (моделей і стержневих ящиків).

					МР.ПМКМ= 008.00.000 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МР.ПМКМ= 008.00.000 ПЗ

Арк.

27

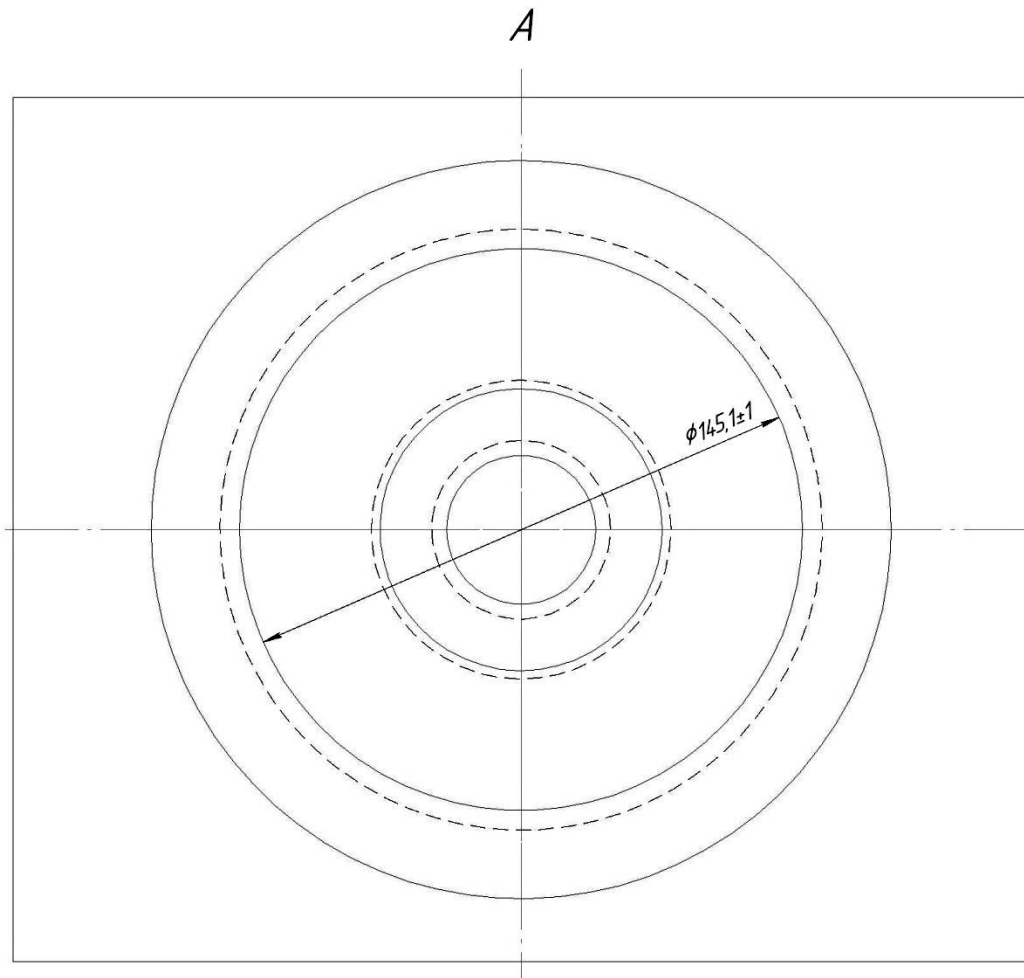


Рисунок 1.1 – Ескіз заготовки (деталі «Корпус И-042.8.H72.00)

Технічні вимоги до заготовки

1. Клас точності відливки - II за ДСТУ. Відливка повинна відповідати вимогам щодо точності розмірів, правильності форми та взаємного розташування поверхонь для корпусних деталей середньої складності.
2. Невказані ливарні нахили - $1...2^\circ$. Нахили застосовуються на всіх необроблених поверхнях з метою забезпечення нормального витягання моделі з форми.
3. Невказані ливарні радіуси - $4...5$ мм. Радіуси використовуються на переходах внутрішніх і зовнішніх поверхонь для покращення заповнення форми та зниження концентрацій напружень.
4. Матеріал відливки - чавун СЧ20 згідно з ДСТУ. Матеріал повинен відповідати встановленим механічним властивостям, забезпечувати добру литність і стабільність розмірів.
5. Якість поверхні. Поверхні відливки повинні бути очищені від пригару

					МР.ПМКМ= 008.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

та залишків формувальної суміші.

Не допускаються свищі, тріщини, усадкові раковини та інші дефекти, що виходять за межі припусків на механічну обробку.

6. Видалення ливникової системи. Ливникові та стоякові елементи повинні бути видалені без пошкодження припусків.

Місця відділення - зачищені до рівня, що не ускладнює базування.

7. Геометрична стабільність. Жолоблення та викривлення повинні відповідати нормам II класу точності, забезпечуючи можливість надійного встановлення заготовки у технологічні пристрої без виправлення.

8. Маркування. На необроблюваній ділянці відливки наноситься позначення деталі та номер партії термостійкою фарбою або рельєфом.

Підсумковий техніко-економічний висновок

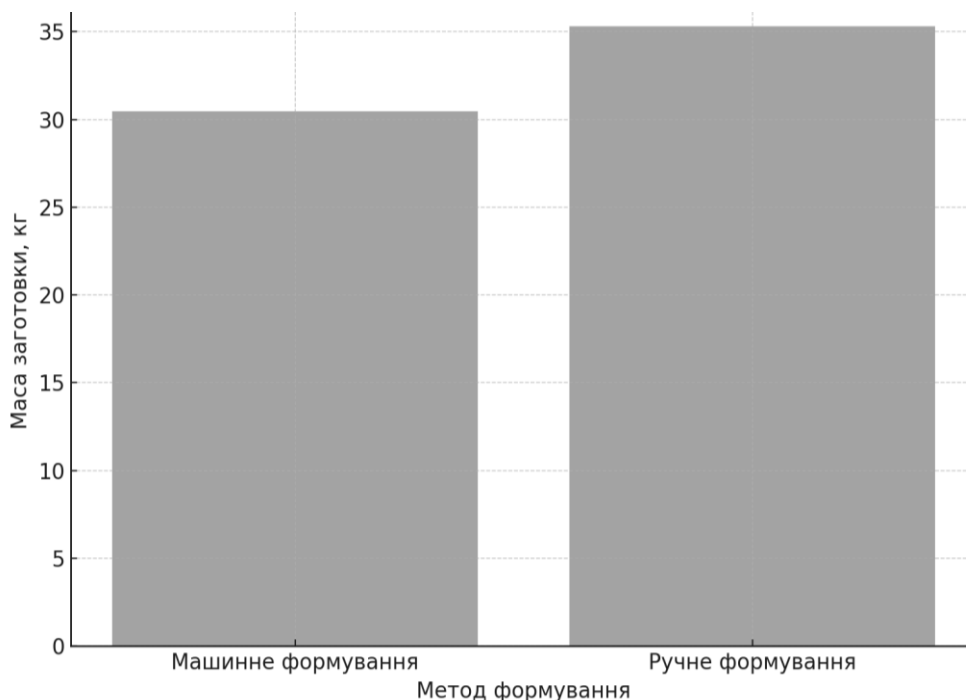


Рис. 1.2 – Порівняння маси заготовки для різних методів лиття

На основі проведеного технічного та економічного аналізу встановлено, що найбільш доцільним методом отримання заготовки корпусу «И-042.8.Н72.00» є лиття в піщано-глинисті форми з машинним формуванням суміші.

Це рішення обґрунтовується такими перевагами:

1. забезпечення стабільної геометрії складних внутрішніх та зовнішніх поверхонь корпусу;

					МР.ПМКМ= 008.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

2. зниження маси заготовки та економія матеріалу;
3. покращення точності лиття, що дозволяє зменшити припуски та, відповідно, скоротити час наступної механічної обробки;
4. значне зменшення трудомісткості та зростання продуктивності;
5. менша ймовірність виникнення литих дефектів і підвищена повторюваність якості.

Таким чином, обраний спосіб лиття повністю відповідає конструктивним особливостям деталі, технологічним вимогам виробництва та забезпечує оптимальний рівень витрат, що робить його найбільш ефективним рішенням для даного типу корпусної заготовки.

2.1.2 Опис і аналіз базового технологічного процесу

Базовий технологічний процес виготовлення деталі «Корпус И-042.8.Н72.00» визначає послідовність переходів, операцій та технічних дій, необхідних для отримання готової деталі з литої заготовки. Аналіз існуючого технологічного маршруту дає змогу оцінити його відповідність конструктивним особливостям деталі, вимогам точності, шорсткості, продуктивності та економічної ефективності.

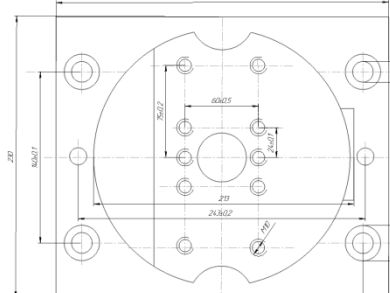
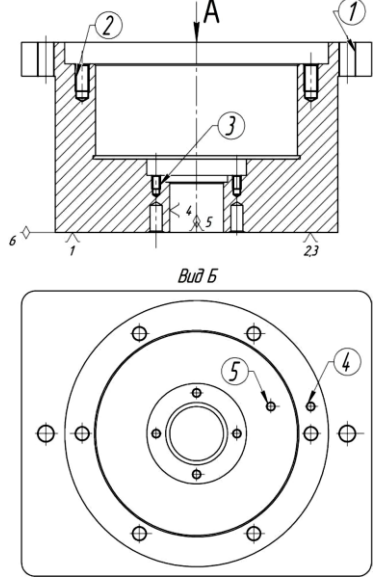
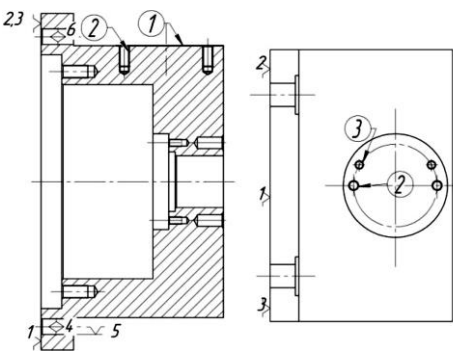
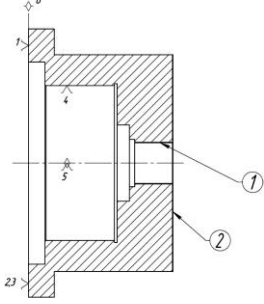
Оскільки корпус належить до складних корпусних литих деталей, базовий процес містить значну кількість механічних операцій, спрямованих на забезпечення високої точності взаємного розташування отворів, площин, різьбових зон та базових поверхонь. Розташування функціональних поверхонь у різних площинах зумовлює необхідність многобазового встановлення, а наявність отворів із полями допуску до Н7 вимагає застосування високоточних операцій (розточування, розвертання, шліфування або хонінгування).

На початковому етапі заготовка надходить на дільницю механічної обробки після попереднього очищення та контролю якості лиття. Базовий технологічний процес передбачає послідовне формування опорних площин і центральних отворів, створення базових поверхонь для наступних переходів, а також обробку елементів, що визначають точність монтажу у складі вузла.

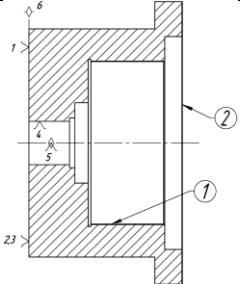
Основні етапи базового процесу включають:

1. чорнову механічну обробку з видаленням припусків та формуванням корпусної геометрії;
2. напівчистові переходи для забезпечення точності базових поверхонь;
3. чистові операції по отворах із точністю Н7–Н9;
4. обробку різьбових поверхонь;
5. контрольні операції для перевірки точності та геометричних параметрів.

					МР.ПМКМ– 008.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1	2	3	4
020	<p>Вертикально фрезерна 1 Встановити заготовку Фрезерувати площину Зняти деталь</p>		<p>AUERBACH FSS 250 × 1000/V</p>
025	<p>Свердлильна з ЧПК Установ А 1 Встановити заготовку 2 Центрувати 2 отв. 1, ботворів 2 4 отв. 3, 1 отв. 4 та 1 отв. 5.. 3 Свердлити 2 отв. 1. 4 Розвернути 2 отв. 1. 5 Свердлити 6 отв. 2. 6 Свердлити 4 отв. 3. 7 Свердлити 1 отв. 4. 8 Свердлити 1 отв. 5. 9 Нарізати різьбу у 6 отв. 2 10 Нарізати різьбу у 4 отворах 11 Зняти заготовку.</p>		<p>Свердлильний з ЧПУ Kovosvit VXD 100 CNC</p>
	<p>Установ Б 1. Встановити заготовку. 2. Фрезерувати пов. 1 однократно. 3. Центрувати 2 отв. 2, та 2 отв. 3. 4. Свердлити 2 отв. 2. 5. Свердлити 2 отв. 3. 6. Нарізати різьбу у 2 отв. 7. Зняти заготовку.</p>		
030	<p>Внутрішньо-шліфувальна 1 Встановити заготовку 2 Шліфувати пов. 1 3 Шліфувати пов. 2 4 Зняти заготовку.</p>		<p>Внутрішньо- шліфувальний Studer S20 Favorit</p>

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

035	Внутрішньо-шліфувальна 1 Встановити заготовку 2 Шліфувати пов. 1 3 Шліфувати пов. 2 4 Зняти деталь.		Внутрішньо-шліфувальний Studer S20 Favorit
040	Контрольна		

Базовий технологічний процес механічної обробки деталі «Корпус И-042.8.Н72.00» складається з заготівельної операції, токарно-револьверної обробки на верстаті Niles DKZ 4000, свердлильних операцій з ЧПУ на верстаті Kovosvit VXD 100 CNC, вертикально-фрезерної обробки на AUERBACH FSS 250 × 1000/V та внутрішньо-шліфувальної обробки на Studer S20 Favorit. Процес передбачає кілька установок заготовки, розділення попередньої та остаточної обробки поверхонь, багаторазове центрування та свердління отворів, окремі установки для токарних, свердлильних, фрезерних та шліфувальних операцій, що збільшує час переналадки та підвищує ймовірність похибок. Використання ЧПУ для свердлильних операцій забезпечує високу точність, а внутрішньо-шліфувальні верстати — необхідний клас точності. Для покращення продуктивності доцільно застосувати багатопозиційні патрони та спеціальні пристрої фіксації, щоб скоротити кількість переналагоджень, об'єднати однотипні операції на одному верстаті, упорядкувати свердлильні операції в комплексну програму на ЧПУ, забезпечити комплексну базу для фрезерування та шліфування, використовувати координатні планшайби та універсальні позиціонери для зменшення похибок і впровадити паралельну підготовку заготовок або групування однотипних деталей. Реалізація цих заходів дозволить зменшити час циклу, підвищити точність позиціонування та знизити вплив людського фактора на якість деталей.

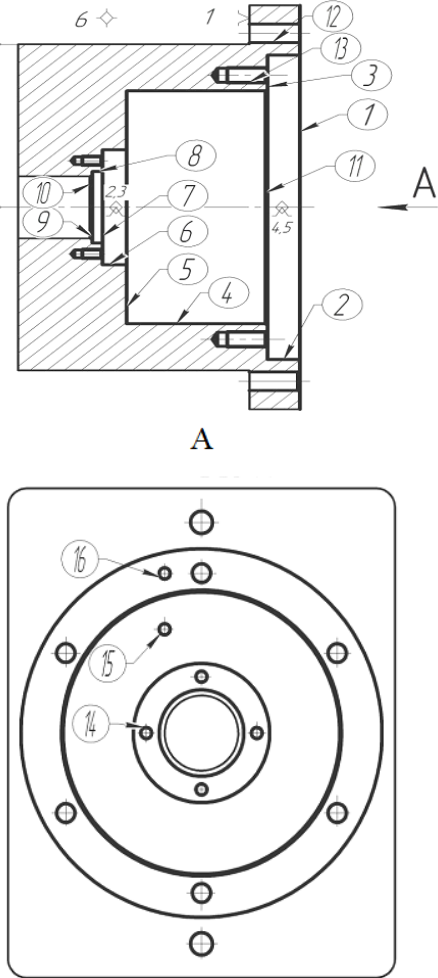
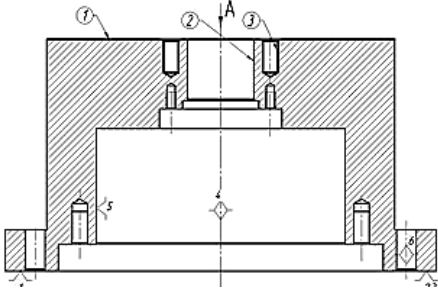
2.1.3 Опис вдосконаленого технологічного процесу

У цьому пункті наведено опис вдосконаленого технологічного процесу механічної обробки деталі «Корпус И-042.8.Н72.00», розробленого з урахуванням аналізу базового маршруту та виявлених резервів підвищення ефективності виробництва. Вдосконалення технологічного процесу спрямоване на скорочення кількості установок і переналагоджень, раціоналізацію базування, об'єднання однотипних операцій та підвищення точності обробки за рахунок більш повного використання можливостей наявного обладнання. Запропонований процес забезпечує зменшення тривалості виробничого циклу,

					МР.ПМКМ= 008.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

зниження трудомісткості операцій і стабільне досягнення заданих показників якості деталі.

Таблиця 1.10 – Характеристика удосконаленого технологічного процесу

№ Оп.	Найменування та зміст операції	Схема базування деталі	Тип і модель верстата, оснащення
1	2	3	4
005	<p>Токарна з ЧПК</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Закріпити заготовку у пристрої. 2. Виконати попереднє точіння поверхнь 1–9. 3. Провести попередню обробку поверхнь 1 та 4. 4. Додатково виконати попереднє точіння поверхні 4. 5. Здійснити остаточне точіння поверхнь 1–9, а також обробити фаски 10 і 11 за один прохід. 6. Виконати центрування 2 отворів 12, 6 отворів 13, 4 отворів 14, одного отвору 15 та одного отвору 16. 7. Просвердлити 2 отв. 12. 8. Просвердлити 6 отв. 13. 9. Просвердлити 4 отв. 14. 10. Розвернути 2 отвори 12. 11. Просвердлити отв. 15 та 16. 12. Нарізати різьбу в 6 отв. 13. 13. Нарізати різьбу в 4 отв. 14. 14. Зняти заготовку з верстата. 		Mazak Quick Turn 200
010	<p>Універсальна обробка на оброблювальному центрі</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Закріпити заготовку в пристрої. 2. Виконати попереднє фрезерування поверхні 1. 3. Повторно провести попереднє фрезерування поверхні 1 для забезпечення точності. 4. Виконати остаточне фрезерування поверхні 1. 		Оброблювальний центр моделі VF1 фірми «HAAS»

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

маршрутом. Використання сучасних токарно-револьверних верстатів з ЧПК (Mazak Quick Turn 200) та оброблювальних центрів (HAAS VF1) забезпечує об'єднання однотипних операцій, зменшення кількості установок і переналагоджень, а також підвищення точності обробки поверхонь, отворів і різьб. Завдяки раціоналізації базування та комплексному виконанню операцій скорочується тривалість виробничого циклу та трудомісткість обробки, зменшується ймовірність похибок і вплив людського фактора на якість. Таким чином, запропонований процес забезпечує стабільне досягнення заданих технічних характеристик деталі, підвищує продуктивність виробництва та сприяє економії ресурсів.

					MP.ПМКМ= 008.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

2.2 Розробка операційної технології

2.2.1 Розрахунок припусків на механічну обробку і визначення технологічних розмірів

У цьому розділі представлено розробку операційної технології механічної обробки деталі «Корпус И-042.8.Н72.00». Основною метою є визначення оптимальних припусків для обробки та встановлення технологічних розмірів, які забезпечують точність і якість готової деталі.

Визначення припусків та міжопераційних розмірів для обробки циліндричної поверхні Ø150H7 (+0,04)

Отвір обробляється в одній операції, заготовка закріплена в трикулачковому самоцентрувальному патроні (рисунок 2.5). Заготовка — виливок у піщано-глинистій формі, клас точності 10 за ДСТУ 26645–85, допуск діаметра 3,6 мм. Технологічний маршрут включає чорнове, напівчистове, чистове та тонке розточування на токарному з ЧПК Mazak Quick Turn 200.

Припуски RZ і T встановлюються з урахуванням вихідних параметрів: попереднє — RZ = T = 50 мкм, остаточне — RZ = 20 мкм, T = 25 мкм, тонке — RZ = 5 мкм, T = 10 мкм [4].

Розрахунок припусків і граничних розмірів по технологічних переходах на обробку отвору Ø150H7 (^{+0,04})

Переходи обробки	Елементи припуску, мкм				Розрахунковий припуск	Розрахунковий розмір, Нр	Допуск δ , мкм	Граничний розмір.		Граничні Припуски.		
	Я ₂	T	P	ϵ				H_{min}	H_{max}	2Z _{max}	2Z _{min}	
Заготовка	600	600	1006	-	-	144,78	3600	141,1	144,7	-	-	
розточування попереднє	50	50	60,36	700	2·2425	149,63	630	148,9	149,6	7820	4850	
розточування попереднє	50	50	3,6	35	2·169	149,97	160	149,81	149,9	808	338	
розточування остаточне	20	25	0,18	1,7	2·22	150,0	63	149,9	150,0	141	44	
Шліфування	5	10	0	0	2·15	150,0	40	150	150,0	53	30	
Сума									8822	5262		

											Арк.
											37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МР.ПМКМ= 008.00.000 ПЗ						

2.2.2 Розрахунок режимів різання і уточнення моделей верстатів

2.2.2.1 Розрахунок режимів різання розрахунково-аналітичним і нормативним методом

Розрахунок режимів різання виконується диференційовано для кожної технологічної операції та для кожного окремого переходу з урахуванням характеру оброблюваної поверхні, матеріалу заготовки, типу різального інструмента і застосовуваного обладнання. При визначенні значень швидкості різання, подачі та глибини різання використовуються нормативні та довідкові дані, наведені у спеціалізованій технічній літературі та галузевих рекомендаціях [4, 6].

Для більшості переходів режими різання приймаються за табличними значеннями з подальшим коригуванням з урахуванням стану верстатів, типу інструментального матеріалу, жорсткості технологічної системи та вимог до точності і шорсткості поверхонь. Такий підхід дозволяє забезпечити стабільність процесу обробки, зменшити зношування інструмента та підвищити продуктивність.

Для двох найбільш відповідальних і характерних переходів технологічного процесу режими різання визначаються шляхом аналітичного розрахунку. При цьому враховуються механічні властивості матеріалу чавуну СЧ20, умови різання, геометрія різального інструмента, а також потужність і кінематичні можливості обладнання. Аналітичний розрахунок дозволяє обґрунтувати вибір оптимальних параметрів різання та підтвердити їх відповідність вимогам щодо точності обробки і якості поверхні.

Операція 010, перехід 2 передбачає фрезерування площинної поверхні з номінальним розміром 205 мм. Обробка виконується торцевою фрезою з твердосплавними пластинами марки ВК8 діаметром 100 мм, кількість зубців фрези становить $Z_f = 8$.

Глибина різання приймається $t = 2,5$ мм, що відповідає умовам напівчистої обробки корпусної деталі з чавуну. Подача на зуб встановлюється $S_z = 0,2$ мм/зуб відповідно до довідкових даних [4]. Швидкість різання, яка характеризує окружну швидкість обертання фрези, визначається за аналічною залежністю з урахуванням матеріалу заготовки, інструмента та режиму обробки.

$$V = \frac{C_v D^q}{T^m t^x S_z^y B^u Z^p} K_v \quad (1)$$

де T – стійкість різального інструменту; для даного випадку приймається $T = 180$ хв відповідно до довідкових даних [4].

						МР.ПМКМ– 008.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			39

Параметри q, x, y, i, p – показники степеневі залежності, що характеризують вплив основних факторів режиму різання на швидкість різання та враховують умови обробки.

Коефіцієнт C_v є емпіричним коефіцієнтом, який залежить від матеріалу заготовки та інструмента; для обробки чавуну твердосплавним інструментом приймається $C_v = 332$ [22].

Показники степенів прийняті за нормативними рекомендаціями та становлять:

$$q = 0,2; x = 0,1; y = 0,4; i = 0,2; p = 0; m = 0,2 \text{ [4].}$$

Загальний коефіцієнт, що коригує швидкість різання з урахуванням реальних умов процесу обробки (жорсткість системи «верстат–пристрій–інструмент–деталь», стан поверхні заготовки, тип обробки та характер різання), визначається за відповідною формулою, наведеною у довідковій літературі.

$$K_v = K_{mv} K_{nv} K_{iv}$$

де K_{mv} – коефіцієнт, що враховує якість та фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу, зокрема його міцність, твердість і структурний стан;

K_{nv} – коефіцієнт, який характеризує стан поверхні заготовки та враховує спосіб її отримання (лиття, прокат, кування), наявність пригару, окалини або попередньої механічної обробки;

K_{iv} – коефіцієнт, що враховує матеріал різального інструмента, його зносостійкість і здатність працювати при заданих швидкостях різання (швидкорізальна сталь, твердий сплав тощо).

$$K_{mv} = K_n \left(\frac{750}{\delta_g} \right)^{mv}; K_n = 1, n = 1, \delta_g = 650 \text{ [4].}$$

$$K_{mv} = 1 \left(\frac{750}{650} \right)^1 = 1.15$$

$$K_{nv} = 0.5 \text{ [21]. Стор. 263. Табл.4; } K_{iv} = 0.65 \text{ [4].}$$

$$K_v = 1.15 \cdot 0.5 \cdot 0.65 = 0.37$$

$$V = \frac{332 \cdot 100^{0.2}}{180^{0.2} \cdot 2.5^{0.1} \cdot 0.2^{0.4} \cdot 50^{0.2}} \cdot 0.37 = 147 \text{ м/хв.}$$

Частоту обертання фрези визначаємо за формулою:

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

де D – діаметр фрези.

$$n = \frac{1000 \cdot 147}{\pi \cdot 1000} = 497 \text{ хв}^{-1}.$$

									Арк.
									40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МР.ПМКМ– 008.00.000 ПЗ				

Частоту обертання шпинделя приймаємо за можливостями верстата та з урахуванням безступеневого регулювання швидкості обертання, що дозволяє точно підібрати необхідний режим різання. Для даної операції приймається значення $n_{ст} = 497 \text{ хв}^{-1}$.

Основною складовою сили різання при фрезеруванні є колова (тангенціальна) сила різання P_z , Н, яка визначає навантаження на різальний інструмент і привід верстата. Значення колової сили різання визначається за відповідною аналітичною залежністю з урахуванням параметрів режиму різання, властивостей матеріалу заготовки та геометрії фрези і розраховується за формулою:

$$P_z = \frac{10 C_p t^x S_z^y B^n Z}{D^q n^w} K_{mp},$$

де Z – кількість зубів фрези;

n – частота обертання фрези, об/хв;

K_{mp} – коригувальний коефіцієнт, що враховує якість та механічні властивості оброблюваного матеріалу;

C_p – емпіричний коефіцієнт, який залежить від виду обробки та матеріалу заготовки; для даного випадку приймається $C_p = 825$.

Показники степенів у розрахунковій формулі становлять: $x = 1,0$; $y = 0,75$; $i = 1,1$; $q = 1,3$; $w = 0,2$, що відповідає рекомендаціям довідкової літератури [4] та забезпечує коректне визначення сили різання при фрезеруванні.

$$K_{mp} = \left(\frac{\delta}{750}\right)^n; n = 0.3 [4].$$

$$K_{mp} = \left(\frac{650}{750}\right)^{0.3} = 0.95.$$

$$P_z = \frac{10 \cdot 825 \cdot 2.5^{1.0} \cdot 0.2^{0.75} \cdot 50^{1.1} \cdot 8}{100^{1.3} \cdot 500^{0.2}} \cdot 0.95 = 2520 \text{ Н.}$$

Крутний момент на шпинделі визначаємо за формулою:

$$M_{кр} = \frac{P_z D}{2 \cdot 100}, = \frac{2520 \cdot 100}{2 \cdot 100} = 1260 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

де D – діаметр фрези

Потужність різання (ефективна) визначаємо за формулою:

$$N_e = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{2520 \cdot 147}{1020 \cdot 60} = 6 \text{ кВт.}$$

									Арк.
									41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МР.ПМКМ= 008.00.000 ПЗ				

Основний (машинний) час виконання даного переходу визначається з урахуванням довжини робочого ходу інструмента, режимів різання та кінематичних параметрів верстата. Розрахунок основного часу переходу виконується за загальноприйнятою аналітичною залежністю, яка враховує подачу, частоту обертання інструмента та кількість його робочих елементів, і визначається за формулою:

$$T_o = \frac{L}{n \cdot S_{xв}} = \frac{440}{497 \cdot 0,2} = 4,4 \text{ хв.}$$

Операція 010, перехід 9 передбачає центрування десяти отворів відповідно до програмної розмітки. Обробка виконується центрувальним свердлом діаметром Ø2 мм із швидкорізальної сталі Р6М5. Глибина різання приймається рівною $t = 0,5D$, що для даного інструмента становить $t = 1$ мм.

Подача на оберт встановлюється $S_{об} = 0,1$ мм/об згідно з довідковими даними [4, стор. 277, табл. 25]. Швидкість різання для операції центрування визначається за аналітичною формулою з урахуванням матеріалу заготовки, типу різального інструмента та прийнятих режимів обробки.

$$V = \frac{C_v P^q}{T^m S^y t^x} K_v,$$

де $C_v = 7,0$; $q = 0,4$; $y = 0,7$; $m = 0,2$ [21]. $T = 8 \text{ хв}$ [21].

$$V = \frac{7 \cdot 2^{0,4}}{8^{0,2} \cdot 0,1^{0,7} \cdot 1} \cdot 0,75 = 22,75 \text{ м/хв.}$$

Загальний коефіцієнт на швидкість різання, який враховує фактичні умови різання визначаємо за формулою:

$$K_v = K_{mv} K_{uv} K_{lv}$$

де K_{mv} – коефіцієнт на матеріал, що оброблюється; K_{uv} – коефіцієнт на інструментальний матеріал; K_{lv} – коефіцієнт, який враховує глибину свердлення.

$$K_{mv} = K_c \left(\frac{750}{m_e} \right)^{mv}; \quad K_c = 1; \quad mv = 1 \quad [4].$$

$$K_{mv} = 1,15; \quad K_{uv} = 0,65 \quad [21]; \quad K_{lv} = 1 \quad [21]. \quad K_v = 1,15 \cdot 0,65 = 0,75.$$

Частота обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 v}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 22,8}{\pi \cdot 2} = 1362,8 \text{ хв.}^{-1} \quad n = 1360 \text{ хв.}^{-1}$$

Крутний момент і осьову силу розраховуємо за формулами:

$$M_{кр} = 10 C_m D^q S^y K_p; \quad P_0 = 10 C_p D^q S^y K_p,$$

де C_m , C_p , q , y – коефіцієнти.

$$C_m = 0,0345; \quad q = 2,0; \quad x = 0; \quad y = 0,8; \quad C_p = 68; \quad q = 1,0; \quad y = 0,7 \quad [4].$$

						МР.ПМКМ= 008.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			42

Таблиця - Параметри режимів різання за окремими операціями та переходами

№ операції, перехід	Опис операції	Глибина обробки	Подача, м/хв	Швидкість основного руху, м/хв	Частота обертів, об/хв	Потужність різання, кВт	Норма часу на одиницю, Тшт, хв
1	2	3	4	5	6	7	8
п. 2 п. 3 п. 4 п. 5 п. 6 п. 7 п. 8 п. 9 п. 10 п. 11 п. 12 п. 13	005 Токарна з ЧПК	2,5 2,5 2,5 2,5 2,0 1,8 2,5 1,9 2,0 1,5	680 680 38 720 35 30 30 32 34 30	251 251 60 147 100 22,75 20,0 12,0 10,0 12,0	500 500 300 500 280 360 300 270 250 250	9,4 9,4 2,6 6 3,5 4,2 3,4 2,4 4 3,5	T ₀ =0,07 T ₀ =0,07 T ₀ =12 T ₀ =0,31 T ₀ =1,1 T ₀ =14 T ₀ =5 T ₀ =21 T ₀ =6 T ₀ =15
п. 3 п. 4 п. 5 п. 6 п. 7 п. 8 п. 10 п. 11 п. 12 п. 13 п. 14	010 Універсальна обробка на оброблювальному центрі	1,3 4 3 1 3,15 3	24 17 370 0,1 0,2 0,18	30 32 42,0 22,7 20 27	600 750 267 1360 1010 1500	4,0 3,8 0,66 0,03 0,4 0,31	T ₀ =0,8 T ₀ =0,7 T ₀ =1,5 T ₀ =0,44 T ₀ =0,2 T ₀ =0,16 T ₀ =0,4 T ₀ =1,6 T ₀ =1,0 T ₀ 0,88 T ₀ 0,086
п. 2 п. 3 п. 4 п. 5 п. 6 п. 7	015 Універсальна обробка на оброблювальному центрі	2 2 2,5 2 2,3 1,5	30 28 34 25 30 10	251 251 28,0 20,0 24,0 24,5	500 500 340 270 300 780	2,4 3,0 3,1 2,7 2,8 1,7	T ₀ =6,0 T ₀ =1,2 T ₀ =0,1 T ₀ =1,5 T ₀ =18,2 T ₀ =1,86
п. 2 п. 3 п. 4 п. 5	020 Внутрішньо- шліфувальна	0,08 0,04 0,08 0,04	25 10 25 10	20 28 24 20	270 300 240 300	1,7 1,0 1,8 1,2	T ₀ =1,4 T ₀ =1,6 T ₀ =1,2 T ₀ =1,6

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МР.ПМКМ= 008.00.000 ПЗ

Арк.

44

2.3 Аналіз точності обробки

Проведемо аналіз точності обробки поверхні діаметром 40 мм із припуском +0,046 мм. Визначимо основні похибки, що впливають на точність розточування цієї поверхні:

1. Похибки:

а) Похибка, обумовлена геометричною неточністю верстата.

$$\Delta_b^D = \Delta_b' + \Delta_b'', \text{мм}$$

- Δ_b' – похибка форми, обумовлена радіальним биттям шпинделя, $\Delta_b' = 10 \cdot 0,6 = 6$ мм (12, с. 58, табл. 35);
- Елементарні похибки Δ_b'' – похибка форми, зумовлена непаралельністю напрямних верстата відносно осі шпинделя, $\Delta_b'' = \left(\frac{10}{100} \cdot 21 \right) 0,6 = 1,26$ мм, що впливає на точність обробки.

$$\Delta_b^D = 6 + 1,26 = 7,26 \text{ мм}; \quad \Delta_b^R = \frac{7,26}{2} = 3,63 \text{ мм}.$$

б) похибка настановлення Δ_H : $\Delta_H^R = 6$ мм – визначає неточність, що виникає через встановлення та налаштування деталі на верстаті.

в) динамічна похибка обумовлена коливаннями верстата під час обробки та впливає на точність поверхні. :

$$\Delta_y^R = 10 \cdot C_p \cdot S^{y_{p_y}} \cdot V^{II_{p_y}} \cdot K_{p_y} \cdot (t_{\max}^{x_{p_y}} - t_{\min}^{x_{p_y}}) \cdot \omega,$$

де C_p – коефіцієнт, який враховує вплив конкретного фактора на загальну похибку обробки. $C_p = 243$;

y_{p_y} , II_{p_y} , x_{p_y} – показники степеня, що використовуються при розрахунках для визначення впливу факторів на похибку., $y_{p_y} = 0,6$; $II_{p_y} = -0,3$; $x_{p_y} = 0,9$.

S – подача під час обробки, $S = 0,1$ мм/об ;

V – швидкість різання заготовки, $V = 243,5$ м/хв.

t_{\max} – Максимальна глибина різання при тонкому розточуванні – граничне значення глибини зрізу, яке забезпечує точність обробки та стабільність технологічного процесу.

$$t_{\max} = \frac{2Z_{\max}}{2} = \frac{0,173}{2} = 0,0865 \text{ мм}$$

									Арк.
									45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МР.ПМКМ= 008.00.000 ПЗ				

t_{min} – Мінімальна глибина різання при тонкому розточуванні – найменше значення глибини зрізу, при якому забезпечується необхідна точність обробки та якість поверхні.

$$t_{min} = \frac{2Z_{min}}{2} = \frac{0,099}{2} = 0,0495 \text{ мм}$$

K_p – поправочний коефіцієнт, що враховує вплив сили різання на технологічний процес..

$$K_{p_y} = K_{m_{p_y}} \cdot K_{\varphi_{p_y}} \cdot K_{j_{p_y}} \cdot K_{\lambda_{p_y}},$$

де K_{m_p} – коеф., що враховує матеріал заготовки

$K_{\varphi_{p_y}}$, $K_{j_{p_y}}$, $K_{\lambda_{p_y}}$ – коеф., що враховують геометричні параметри різця,
 $K_{\varphi_{p_y}} = 0,5$, $K_{j_{p_y}} = 1,0$, $K_{\lambda_{p_y}} = 1,0$

$$K_{m_{p_y}} = \left(\frac{\sigma_b}{75} \right)^{P_{p_y}}$$

де P_p – показник степеня, $P_p = 1,35$; $K_{m_{p_y}} = \left(\frac{61}{75} \right)^{1,35} = 0,757$;

$$K_{p_y} = 0,757 \cdot 0,5 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,378;$$

Визначаємо податливість ω за наступною формулою:

$$\omega = \frac{y}{p} \text{ мкм/Н,}$$

де y – максимальне значення під дією сили p , $y=25$ мм; p – сила прикладання, $p=544$ Н

$$\omega = \frac{25}{544} = 0,04596 \text{ мкм/Н}$$

$$\Delta_y^R = 10 \cdot 243 \cdot 0,1^{0,6} \cdot 243,5^{-0,3} \cdot 0,378 \cdot (0,0863^{0,9} - 0,0495^{0,9}) \cdot 0,04596 =$$

$$= 0,089 \text{ мкм} \approx 0,09 \text{ мкм}$$

Похибка миттєвого налаштування: – неточність, що виникає під час оперативного встановлення або регулювання деталі на верстаті.:

$$\Delta_{mH}^R = 1,2 \sqrt{\Delta_H^R{}^2 + \Delta_y^R{}^2} + \Delta_b^R;$$

$$\Delta_{mH}^R = 1,2 \sqrt{6^2 + 0,09^2} + 3,63 = 10,83 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{mH}^D = 2 \cdot 10,83 = 21,66 \text{ мкм}$$

1. Систематичні похибки:

а) Похибка, обумовлена розмірними спрощеннями геометрії різця:

$$\Delta_i^R = U_0 \left(1 + \frac{V \cdot \tau}{1000} \right) \text{ мкм}$$

де U_0 – відносне розмірне спрощування геометрії різця, $U_0=3$ мкм/км

									Арк.
									46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МР.ПМКМ= 008.00.000 ПЗ				

τ – біжучий час, хв.

$$\Delta_i^R = 3 \left(1 + \frac{243\tau}{1000} \right) \text{мкм}$$

б) Температурна похибка обробки – відхилення розмірів деталі, що виникає через теплове розширення матеріалу під час процесу різання:

$$\Delta_T = 120 \cdot \frac{L_p}{F} \cdot V^{0,23} \cdot S^{0,45} \cdot t^{0,7} \cdot \frac{T_0}{T_0 + T_{пер}} \left(1 - e^{-\frac{4\tau}{\tau_m}} \right)$$

де L_p – виліт різця, $L_p = 100$ мм;

F – площа поперечного січення державки різця, $F = 530,23$ мм²;

T_0 – основний час обробки, $T_0 = 0,19$ хв.

$T_{пер}$ – час перерв між обробкою, $T_{пер} = 0,64$ хв.

τ_m – константа, змінюється в межах від 12 до 24 хв., приймаємо $\tau_m = 16$ хв.

$$\Delta_T = 120 \cdot \frac{100}{530,23} \cdot 24,35^{0,23} \cdot 0,1^{0,45} \cdot 0,0865 \cdot \frac{0,19}{0,19 + 0,64} \cdot \left(1 - e^{-\frac{4\tau}{16}} \right) = 1,172 \cdot \left(1 - e^{-\frac{\tau}{4}} \right), \text{мкм}$$

Відомості про розраховані систематичні похибки узагальнено в Таблиці 1

Таблиця 1 – Отримані результати розрахунку систематичної похибки

τ , хв	0,25	0,5	1,0	1,5	2	4	6	8	10	12	14	16	20	40	60	80
Δ_i^R	3,183	3,365	3,73	4,196	4,46	5,92	7,38	8,84	10,3	11,76	13,23	14,69	17,61	32,22	46,83	61,49
Δ_T^R	0,071	0,138	0,259	0,366	0,46	0,74	0,91	1,01	1,08	1,11	1,137	1,15	1,16	1,17	1,17	1,17
$\Delta_{сист}^D = 2(\Delta_T^R - \Delta_i^R)$	-6,224	-6,454	-7,66	-6,22	-8	-10,36	-12,94	-15,66	-18,44	-21,3	-24,18	-27,08	-32,9	-62,1	-94,3	-120,6

Технологічна стійкість становить – $T_{техн.} = 14,22$ хв.

Екон. стійкість – $T_{екон.} = 16$ хв.

Оскільки: $T_{техн.} < T_{екон.}$, то $\Delta_{сум} = T = 0,046$ мм.

Настояваний розмір розраховуємо за формулою:

$$D_{настр} = D_{\max} - \frac{\Delta_{MH}^D}{2},$$

де $D_{\max} = 62,046$ мм – макс. діаметр отвору,

$$D_{настр} = 62,046 - \frac{0,0216}{2} = 62,0352 \text{ мм}$$

Час роботи інструменту до вимушеної заміни розраховується за формулою:

					МР.ПМКМ– 008.00.000 ПЗ											Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата												47

2.4 Проектування керуючої програми обробки на верстаті з ЧПК

Проектування керуючої програми для верстата з числовим програмним керуванням (ЧПК) є ключовим етапом підготовки технологічного процесу обробки деталей. Правильна розробка програми забезпечує точність, повторюваність, економічність і безпечність виробництва.

Основні принципи проектування програми

1. Визначення технологічного процесу:

- На початковому етапі необхідно визначити тип обробки (фрезерування, токарна обробка, свердління, розточування, шліфування тощо), матеріал заготовки, розміри та допуски.
- Враховуються вимоги до якості поверхні, допустимі похибки та режим різання.

2. Побудова системи координат:

- Вибирається робоча координатна система (G54–G59) та режим програмування: абсолютний (G90) або відносний (G91).
- Встановлюється початкова точка відліку для точного позиціонування інструмента.

3. Вибір інструментів і режимів різання:

- Обираються типи інструментів (фрези, свердла, токарні різці), їх розміри та матеріал.
- Розраховуються оптимальні режими різання: швидкість різання (V), подача (S), глибина зрізу (t).
- Встановлюється послідовність зміни інструментів та параметри їх компенсації.

Структура керуючої програми

Керуюча програма складається з блоків команд (N-блоків), кожен з яких описує конкретний етап обробки:

- Блоки переміщення: G0 – швидке переміщення без різання, G1 – лінійний рух з робочою швидкістю, G2/G3 – кругові рухи.
- Блоки керування інструментом: M3/M4 – увімкнення шпинделя за або проти годинникової стрілки, M5 – вимкнення, M6 – зміна інструмента.
- Блоки керування охолодженням: M8 – увімкнення, M9 – вимкнення.
- Компенсації: G41/G42 – бічна компенсація інструмента, G43 – довжина інструмента.

					МР.ПМКМ– 008.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

- Закінчення програми: M2/M30 – завершення циклу обробки та повернення верстата в початковий стан.

Алгоритм розробки програми

1. Аналіз деталі та креслення: визначаються контури обробки, критичні розміри та допустимі похибки.
2. Побудова траєкторії інструмента: визначається оптимальна послідовність переміщень та обробки, мінімізація непотрібних переходів.
3. Розрахунок режимів різання: вибір швидкості, подачі та глибини різання на основі матеріалу заготовки та інструмента.
4. Програмування циклів обробки: застосовуються стандартні цикли свердління, розточування, нарізання різьби тощо.
5. Введення вимірювань та контрольних точок: автоматичне або напівавтоматичне вимірювання для контролю точності.
6. Симуляція програми: перевірка правильності коду, оцінка безпечності та прогнозування якості обробки на програмному симуляторі (наприклад, SprutCAM, MasterCAM, Siemens NX).
7. Внесення корективів: оптимізація траєкторії, корекція режимів різання та компенсаторів інструмента.

Використовувати стандартизовані блоки коду для повторюваних операцій. Перед запуском на верстаті обов'язково виконати віртуальну симуляцію.

Забезпечити наявність коментарів у програмі для легкого розуміння та коригування.

Контролювати стан інструмента і змінювати його за необхідності для підтримки стабільної точності.

Проектування керуючої програми є комплексним процесом, що включає технічне та алгоритмічне забезпечення. Правильна розробка забезпечує:

1. високу точність та якість обробки,
2. ефективне використання інструменту,
3. безпеку роботи верстата,
4. оптимізацію часу виробництва.

					MP.ПМКМ= 008.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

%

(Початок програми обробки отворів)

N1 G40 G17 G49 G80 (Скидання компенсацій, вибір площини XY, скасування циклів)

N2 G54 G90 (Вибір робочої координатної системи, абсолютне програмування)

N3 T8 M6 (Вибір інструмента 8 та його заміна)

N4 G43 H8 (Компенсація довжини інструмента H8)

N5 G0 X37.94 Y-18.35 S1277 M3 (Переміщення до початкової позиції, включення шпинделя)

N6 Z41.5 (Підняття інструмента)

N7 Z1. (Опускання до точки початку різання)

N8 G1 X37.94 Y-18.35 Z-2 F160 M8 (Лінійне різання з подачею F160, включення охолодження)

N9 X1.896 Y-18.35

N10 X0.0 Y-18.35

N11 G2 X0.0 Y18.35 I0.0 J18.35

N12 G1 X1.896 Y18.35

N13 X37.94 Y18.35

N14 X37.94 Y18.35 Z1.

N15 G0 Z41.5

N16 Y-18.35

N17 Z-1.

N18 G1 X37.94 Y-18.35 Z-4.

N19 X1.896 Y-18.35

N20 X0.0 Y-18.35

N21 G2 X0.0 Y18.35 I0.0 J18.35

N22 G1 X1.896 Y18.35

N23 X37.94 Y18.35

N24 X37.94 Y18.35 Z-1.

N25 G0 Z41.5

N26 Y-18.35

N27 Z-3.

N28 G1 X37.94 Y-18.35 Z-6.

N29 X1.896 Y-18.35

N30 X0.0 Y-18.35

N31 G2 X0.0 Y18.35 I0.0 J18.35

N32 G1 X1.896 Y18.35

N33 X37.94 Y18.35

N34 X37.94 Y18.35 Z-3.

N35 G0 Z41.5

N36 Y-18.35

					МР.ПМКМ= 008.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

N37 Z-5.
 N38 G1 X37.94 Y-18.35 Z-8.
 N39 X1.896 Y-18.35
 N40 X0.0 Y-18.35
 N41 G2 X0.0 Y18.35 I0.0 J18.35
 N42 G1 X1.896 Y18.35
 N43 X37.94 Y18.35
 N44 X37.94 Y18.35 Z-5.
 N45 G0 Z41.5
 N46 Y-18.35
 N47 Z-7.
 N48 G1 X37.94 Y-18.35 Z-10.
 N49 X1.896 Y-18.35
 N50 X0.0 Y-18.35
 N51 G2 X0.0 Y18.35 I0.0 J18.35
 N52 G1 X1.896 Y18.35
 N53 X37.94 Y18.35
 N54 X37.94 Y18.35 Z-7.
 N55 G0 Z41.5
 N56 M9 (Вимкнення охолодження)
 N57 G0 X25.871 Y-31.76 S1277 M3
 N58 Z-0.167
 N59 G1 X25.871 Y-31.76 Z-3.167 F102 M8
 N60 G41 X18.101 Y-9.483 D8
 N61 X10.001 Y-9.5
 N62 X0.0 Y-9.5
 N63 G2 X0.0 Y9.5 I0.0 J9.5
 N64 G1 X10. Y9.5
 N65 X18.101 Y9.483
 N66 G40
 N67 X25.871 Y31.76
 N68 X25.871 Y31.76 Z-0.167
 N69 G0 Z41.5
 N70 Y-31.76
 N71 Z-4.833
 N72 G1 X25.871 Y-31.76 Z-7.833
 N73 G41 X18.101 Y-9.483
 N74 X10.001 Y-9.5
 N75 X0.0 Y-9.5
 N76 G2 X0.0 Y9.5 I0.0 J9.5
 N77 G1 X10. Y9.5

					МР.ПМКМ= 008.00.000 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

N78 X18.101 Y9.483
N79 G40
N80 X25.871 Y31.76
N81 X25.871 Y31.76 Z-4.833
N82 G0 Z41.5
N83 Y-31.76
N84 Z-9.5
N85 G1 X25.871 Y-31.76 Z-12.5

...

N256 M9 (Вимкнення охолодження)

N257 M30 (Кінець програми та повернення верстата в початковий стан)

%

Розроблена керуюча програма для обробки отворів на верстаті з ЧПК забезпечує високий рівень точності та повторюваності операцій. Програма побудована на основі мови G-коду, що дозволяє чітко визначати траєкторії руху інструмента, подачу, швидкість різання, включення та вимкнення шпинделя й охолодження, а також компенсацію інструменту.

В ході проектування програми були враховані такі технічні аспекти:

Використання абсолютної та відносної системи координат забезпечує точне позиціонування інструмента та контроль розмірів оброблюваних отворів.

Застосування циклів лінійного та кругового різання дозволяє виконати складні контури з мінімальними похибками.

Інтеграція команд M-коду для зміни інструменту та керування охолодженням забезпечує оптимальні режими обробки та подовжує ресурс різця.

Ретельне коментування кожного блоку коду сприяє простоті подальшого аналізу та модифікації програми.

Проведена симуляція програми в системі PowerMill підтвердила її коректність та відповідність проектним вимогам. Програма дозволяє реалізувати обробку отворів із високою точністю, зменшити втрати матеріалу, підвищити продуктивність та надійність виробничого процесу.

Таким чином, розроблена керуюча програма є ефективним інструментом автоматизації виробництва та може бути використана як основа для подальшого програмування верстатів з ЧПК у багатофункціональних технологічних процесах.

					МР.ПМКМ= 008.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

2.5. Нормування технологічного процесу

Нормування технологічного процесу є одним із ключових елементів організації виробництва, що забезпечує ефективне використання обладнання, інструменту та робочої сили. Воно полягає у визначенні оптимальних режимів обробки, тривалості операцій, розмірів припусків, а також послідовності виконання технологічних переходів. Правильне нормування дозволяє підвищити продуктивність, знизити витрати матеріалів і часу, забезпечити стабільну якість обробки та відповідність готових виробів встановленим стандартам.

У цьому підрозділі розглядаються методи визначення норм часу, основні показники продуктивності та підходи до оптимізації технологічного процесу для багатофункціональних верстатів із ЧПК. Нормування також сприяє плануванню виробничих ресурсів і раціональному розподілу завдань між робочими місцями. Воно дозволяє передбачити й усунути можливі втрати часу та неефективні операції, підвищуючи загальну економічну ефективність виробництва. Крім того, застосування сучасних методів нормування є основою для автоматизації та цифровізації виробничих процесів.

Операція 010 Універсальна обробка на оброблювальному центрі VF1 фірми «HAAS»

Інструмент змінюється 11 раз і 3 рази проведемо ділительний оберт стола $3 \times 0.1 = 0.3$ хв.

$$T_{ост} = 11 \times 14 + 0.3 = 2.56 + 0.3 = 2.86 \text{ хв.}$$

$$T_x = \left(\frac{200}{7000} + 0.04 \right) + 11 \times 2 = 7.17 \text{ хв.}$$

$$T_{e.a.} = 2.86 + 7.17 \text{ хв} = 10 \text{ хв.}$$

$$T_{o.a.} = 82 \text{ хв.}$$

$$T_a = 82 + 10 = 92 \text{ хв.}$$

$$T_{e.n.} = 0.25 + 1.45 + 8.2 = 9.9 \text{ хв.}$$

$$T_{ум} = (92 + 1.39 \cdot 9.9) \left(1 + \frac{4 + 2.5}{100} \right) = 112.635 \text{ хв.}$$

$$T_{n.z.} = 7 + 3 + 3 + 4 + 1 + (1 \times 11) = 29 \text{ хв.}$$

$$T_{ум.к} = 112.635 + 29/22 = 114.635 \text{ хв.}$$

Визначаємо норми часу на інші операції та заносимо їх у таблицю 2.4,1

					МР.ПМКМ= 008.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Таблиця 2.4,1 – Нормування технологічного процесу

Номер операції	Назва операції	Обладнання	T_0 , хв.	T_D , хв.	$T_{шт}$, хв.	$T_{об.от}$, хв.	$\frac{T_{шт}}{П}$, хв.	$T_{шт.к}$, хв
1	2	3	4	5	6	7	8	9
005	Токарна з ЧПК	Mazak Quick Turn 200	0,86	2,2	17,9	2,4	19/22	19,59
010	Універсальна обробка на оброблювальному центрі	VF1 фірми «HAAS»	2,87	10	113,7	3,5	29/22	145,64
015	Універсальна обробка на оброблювальному центрі	VF1 фірми «HAAS»	1,4	2,7	20,5	2,6	20/22	24,71
020	Шліфувальна	Внутрішньо-шліфувальний Studer S20 Favorit	3,4	4,2	48,2	5,6	24/22	52,4

Отримані результати демонструють важливість застосування відповідних нормативів і стандартів для підвищення продуктивності та якості виробничих процесів. Зазначено, що впровадження сучасних методів нормування дозволяє не лише оптимізувати організацію виробництва, але й скоротити матеріальні та трудові витрати. Крім того, підкреслено практичну цінність отриманих даних для промислового застосування та їх потенційне використання для подальшого вдосконалення технологічних процесів і підвищення ефективності виробництва.

									Арк.
									55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МР.ПМКМ= 008.00.000 ПЗ				

3. ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ОСНАСТКИ

3.1. Проектування верстатного пристрою

Проектування верстатного пристрою є одним із ключових етапів створення технологічної оснастки для обробки деталей на верстатах з числовим програмним керуванням (ЧПК). Метою цього процесу є розробка надійної та функціональної системи, здатної забезпечити точне позиціонування, стабільну фіксацію та безпечне утримання оброблюваних деталей протягом усіх етапів обробки.

Ефективний верстатний пристрій повинен поєднувати високу механічну стійкість із можливістю швидкої та точної регулювання під різні типи та розміри деталей. Правильне проектування такого пристрою не лише підвищує точність і повторюваність обробки, але й сприяє зменшенню часу переналагодження верстата, оптимізації використання інструменту та підвищенню загальної продуктивності виробництва.

У цьому підрозділі розглядаються основні принципи проектування верстатного пристрою, його конструктивні особливості, вимоги до надійності та адаптивності, а також критерії оцінки ефективності для використання у сучасному високотехнологічному виробництві.

Основні характеристики верстатного пристрою

При проектуванні верстатного пристрою для ЧПК слід враховувати ряд ключових характеристик, що визначають його ефективність і надійність:

Надійність фіксації деталей

Верстатний пристрій повинен забезпечувати стійке та безпечне утримання деталей у процесі обробки, запобігаючи зміщенню або вібраціям, які можуть вплинути на точність обробки. Особлива увага приділяється матеріалам та конструкції затискачів, щоб уникнути деформації оброблюваної деталі.

Універсальність та адаптивність

Пристрій повинен мати можливість швидкого переналаштування під різні розміри та форми деталей, включаючи плоскі, круглі та складні геометричні об'єкти. Це дозволяє зменшити час переналагодження верстата та підвищити продуктивність виробництва.

Точність і повторюваність

Високоточне позиціонування деталей є обов'язковою умовою для забезпечення якості обробки. Верстатний пристрій повинен гарантувати мінімальні відхилення та стабільність параметрів у серійних операціях.

Швидкість налаштування

					МР.ПМКМ= 008.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Проектування передбачає легкість регулювання положення деталей, швидку зміну конфігурацій та інструментів, що зменшує час простою та оптимізує виробничий процес.

Сумісність із ЧПК

Пристрій повинен легко інтегруватися із системою числового програмного керування, забезпечуючи можливість автоматизованого управління фіксацією деталей та інструментів.

Міцність та довговічність

Важливим аспектом є вибір матеріалів та конструкційних рішень, які забезпечують тривалу експлуатацію без втрати характеристик точності та надійності.

Види верстатних пристроїв

Верстатні пристрої можна класифікувати за принципом дії, формою та призначенням:

1. Фіксуючі зажими

Використовуються для прямого закріплення деталей на робочому столі або патроні верстата. Можуть бути ручними або автоматичними.

2. Втулки та адаптери

Призначені для утримання циліндричних деталей або заготовок складної геометрії. Вони забезпечують центрування та рівномірне розподілення навантажень під час обробки.

3. Системи швидкої фіксації

Забезпечують швидке встановлення та заміну деталей, що важливо для серійного виробництва та мінімізації часу простою верстата.

4. Модульні пристрої

Складаються з набору змінних елементів, що дозволяють комбінувати різні типи фіксації для обробки різноманітних деталей без повного переналаштування оснастки.

5. Автоматизовані системи закріплення

Інтегруються із ЧПК та системами автоматизації виробництва, що дозволяє програмно керувати фіксацією деталей та підвищує безпеку та продуктивність обробки.

3.1.1. Вибір установчих елементів, схеми базування та способу закріплення деталі

Відповідно до технологічного процесу на операції 010 виконуються фрезерування, розточування та свердлування. Найбільші силові навантаження на верстатний пристрій виникають під час чорнового фрезерування, що

					МР.ПМКМ= 008.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

визначає підвищені вимоги до жорсткості та надійності базування і закріплення заготовки.

Вибір технологічних баз полягає у визначенні таких поверхонь деталі, установка на які забезпечує реалізацію раціональної схеми базування, мінімальну похибку обробки та стабільне положення заготовки відносно робочих органів верстата. Коректно обрані бази дозволяють зменшити витрати часу і ресурсів на досягнення заданої точності.

При призначенні баз доцільно керуватися принципами єдності, постійності та обґрунтованої зміни баз на різних етапах обробки. Саме від вибору баз залежать точність розмірів і взаємного розташування поверхонь, конструктивна складність пристрою та загальна продуктивність технологічного процесу.

Вихідними даними для вибору баз є робоче креслення деталі, технічні умови, тип заготовки, стан її поверхонь і вимоги до автоматизації. Для кожної операції базування визначається з урахуванням конкретних завдань, що впливають із вимог креслення.

У даному пристрої базування заготовки здійснюється по двох циліндричних поверхнях отворів і опорній підшві основі із застосуванням схеми двох установчих пальців, один з яких виконаний зрізаним. Така схема забезпечує однозначну фіксацію заготовки, зручна для реалізації та придатна для подальшого графічного подання у вигляді схем базування і закріплення деталі.

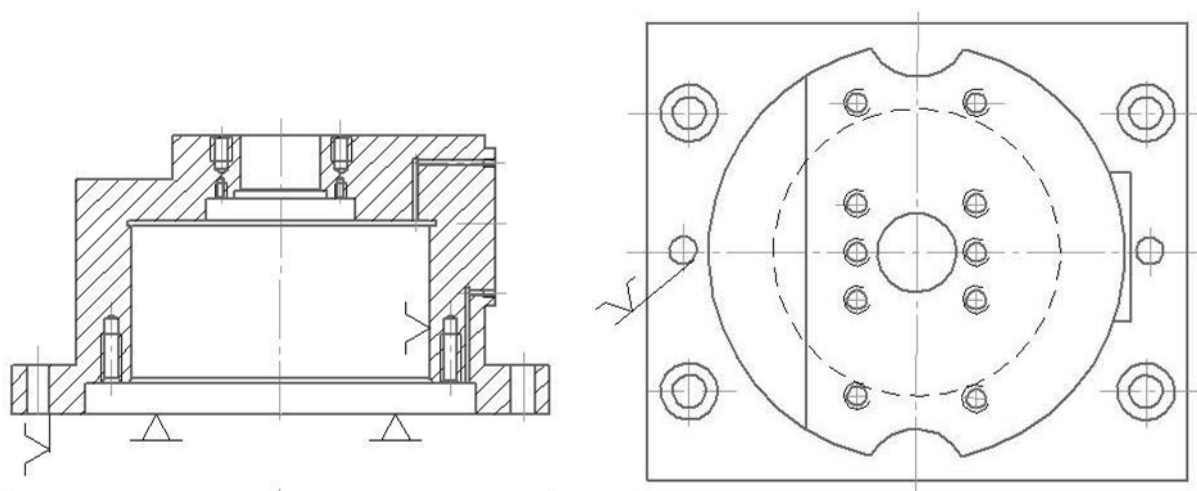


Рис. 2.1 – Схема базування заготовки деталі «Корпус» (I-042.8.H72.00)

заготовка» та гарантує стабільність положення заготовки при дії сил різання, особливо під час чорнових режимів обробки.

3.1.2. Визначення розрахункових зусиль закріплення заготовки та параметрів приводу верстатного пристрою.

Враховуючи, що під час фрезерування оброблюваної площини основна складова сили різання діє у напрямку, протилежному силам тертя між заготовкою та установочними елементами, розрахунок затискного механізму доцільно виконувати з урахуванням найбільш навантажених режимів обробки. Саме ці умови є визначальними для забезпечення надійного утримання заготовки у пристрої без її зміщення або проковзування.

Розрахунок затискного механізму здійснюється на основі параметрів режимів фрезерування, прийнятих для даної операції, із застосуванням загальноприйнятої розрахункової методики, наведеної у джерелі [10]. Такий підхід дозволяє обґрунтовано визначити необхідне зусилля затиску, яке гарантує стабільність положення заготовки протягом усього процесу обробки та забезпечує виконання вимог щодо точності й безпеки технологічного процесу.

Рівняння рівноваги моментів сил, які прикладені до заготовки:

$$k \cdot P_z \cdot 102 = 3W \cdot f \cdot 75,$$

де k – коефіцієнт запасу; P_z – сили різання.

Значення колової складової сили при фрезеруванні визначається за розрахунковою залежністю:

$$P_z = \frac{10C_p t^x S_z^y B^n Z}{D^q n^w} K_{mp}.$$

де Z – число зубів фрези; n – частота обертання фрези об/хв.; K_{mp} – коефіцієнт, що враховує особливості та якість оброблюваного матеріалу;

$C_p = 825$, $x = 1.0$, $y = 0.75$, $u = 1.1$, $q = 1.3$, $w = 0.2$ [4].

$$K_{mp} = \left(\frac{\delta}{750}\right)^n; n = 0.3. \quad K_{mp} = \left(\frac{650}{750}\right)^{0.3} = 0.95.$$

$$P_z = \frac{10 \cdot 825 \cdot 2.5^{1.0} \cdot 0.2^{0.75} \cdot 50^{1.1} \cdot 8}{100^{1.3} \cdot 500^{0.2}} 0.95 = 2520 \text{ Н.}$$

									Арк.
									60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МР.ПМКМ= 008.00.000 ПЗ				

W – сила затиску; $f = 0,16$ – коеф. тертя;

Коефіцієнт запасу k визначаємо за формулою:

$$k = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 \geq [2,5]$$

де k_0 – коеф. гарантованого запасу

$k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6$ – Коефіцієнти, які враховують такі фактори: збільшення сили різання під час чорнової обробки; вплив затупленого інструменту; нерівномірність процесу різання; нестабільність затискного зусилля; незручність розташування рукоятки; а також наявність моментів, що прагнуть повернути заготовку.

$$k_0 = 1,5; k_1 = 1,0; k_2 = 1,2; k_3 = 1,0; k_4 = 1,3; k_5 = 1,0; k_6 = 1,0.$$

$$k = 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,3 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 2,39.$$

Розрахунок зусилля затиску здійснюємо за такою формулою:

$$W = \frac{k \cdot P_z \cdot 102}{3f \cdot 75} = \frac{2,39 \cdot 2520 \cdot 102}{3 \cdot 0,16 \cdot 75} = 17064H.$$

3.1.3. Визначення ключових параметрів приводу пристрою

Для забезпечення надійної роботи верстатного пристрою важливим етапом є визначення основних параметрів його приводу. Цей розрахунок дозволяє підібрати необхідну потужність, крутний момент та швидкість переміщення робочих органів, забезпечуючи ефективне та безпечне закріплення заготовки під час обробки. У ході аналізу враховуються режими різання, характер навантажень на механізм, а також динамічні та статичні сили, що діють на привід. Правильне визначення цих параметрів є запорукою стабільної роботи пристрою та точності обробки деталей.

Розмір діаметра пневмокамери для плоскої гумової мембрани при подачі повітря у штокову порожнину обчислюється за формулою:

$$D_k = \sqrt{4Q/\pi \cdot p + d_{um}^2}$$

де Q - зусилля, що діє на шток пневмокамери; p - робочий тиск повітря в пневмосистемі $p = 0,4MPa$.; d_{um} - діаметр штока $d = 16mm$.

Для цієї схеми фіксації зусилля на шток пневмокамери відповідає величині зусилля затиску. $Q = W = 1133H$.

$$D_k = \sqrt{4 \cdot 17064 / 0,4 \cdot 3,14 + 16^2} = 233mm.$$

									Арк.
									61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МР.ПМКМ= 008.00.000 ПЗ				

Вибираємо найближчий більший стандартний розмір пневмокамери:

$$D_{\kappa} = 235 \text{ мм.}$$

Фактичне максимальне зусилля на шток пневмокамери визначається за формулою:

$$Q_{\phi} = \frac{\pi}{4} [D_{\kappa}^2 - d_{\text{шт}}^2] p,$$

де D_{κ} - діаметр пневмокамери, $D_{\kappa} = 235$ мм; $d_{\text{шт}}$ - діаметр штока пневмокамери, $d_{\text{шт}} = 36$ мм; $P = 0,63$ МПа – максимальний тиск у мережі.

У результаті отримуємо фактичне зусилля, що діє на шток пневмокамер.

$$Q_{\phi} = \frac{3,14}{4} [235^2 - 36^2] 0,63 = 27165 \text{ Н.}$$

3.1.4. Розрахунок міцності елементів пристрою

Для забезпечення надійної та безпечної роботи верстатного пристрою необхідно перевірити його конструктивні елементи на міцність. Цей розрахунок дозволяє оцінити здатність деталей витримувати робочі навантаження, сили різання та затискні зусилля без виникнення деформацій або пошкоджень.

Розглянемо найбільш критичну ланку пристрою – різьбове з'єднання між тягою та штоком, піддаване максимальному навантаженню на зріз. Найбільш напруженими в цьому з'єднанні є витки різьби на тязі. Проведемо перевірку міцності різьбових елементів на зріз за наступною формулою:

$$\tau_{зр} = \frac{F}{\pi \cdot D_1 \cdot k \cdot H_p \cdot k_m} \leq [\tau_{зр}],$$

де $F = 27165$ Н сила на штокові пневмокамери;

$k = 0,87$ коефіцієнт жорсткості різьбового з'єднання метричного типу;

$k_m = 0,6$ коефіцієнт, що враховує нерівномірний розподіл навантаження по витках різьби.

D_1 – внутрішній діаметр різьби М10 становить $D_1 = 8,376$ мм

H_p – довжина робочих витків становить $H_p = 25$ мм

$$[\tau_{зр}] = 0,3 \cdot \sigma_m = 0,3 \cdot 320 = 96 \text{ МПа.}$$

$$\tau_{зр} = \frac{27165}{3,14 \cdot 8,376 \cdot 0,87 \cdot 25 \cdot 0,6} = 78 \text{ МПа} \leq [\tau_{зр}],$$

Міцність різьбового з'єднання М10 на зріз перевірена та підтверджена. Розрахунки показують, що витки різьби здатні витримати прикладене навантаження без руйнування чи пластичної деформації, що гарантує надійне

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МР.ПМКМ– 008.00.000 ПЗ				62

функціонування з'єднання в умовах робочого процесу. Таким чином, конструкція цього елемента пристрою відповідає вимогам міцності та безпеки експлуатації.

3.1.5. Перевірка точності пристрою

Для запропонованої схеми обробки та базування заготовки в пристрої умова забезпечення необхідної точності обробки визначається за відомою методикою [10] за наступною формулою::

$$\varepsilon_{np} \leq T - k \sqrt{(k_1 \varepsilon_{\delta})^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{уст}^2 + \varepsilon_{зн}^2 + (k_2 \cdot \omega)^2},$$

де ε_{δ} – похибка встановлення заготовки; у нашому випадку базування проводиться за допомогою установчих пальців і розраховується за формулою: $\varepsilon_{\delta} = 0,5T_d = 0,5 \cdot 0,045 = 0,025$ мм;

T - допуск на розмір який виконується, $T = 0,045$ мм;

$k = 1,2$; $\varepsilon_3 = 0,07$ – похибка закріплення

$\varepsilon_{уст}$ - похибка встановлення пристрою на верстаті. $\varepsilon_{уст} = \frac{L_{дет} \cdot S_{max}}{l}$,

$L_{дет} = 90$ мм; $S_{max} = 0,07$ мм; $l = 500$ мм – відстань між шпонками пристрою.

$$\varepsilon_{уст} = \frac{90 \cdot 0,07}{500} = 0,012 \text{ мм}$$

$\varepsilon_{зн} = 0,04$ мм – похибка зношування базових елементів;

$K_1 = 0,8$, $K_2 = 0,6$ – коефіцієнти; $\omega = 0,1$ – точність оброблення на верстаті.

$$\varepsilon_{np} \leq 0,17 - 1,2 \sqrt{(0,8 \cdot 0,0225)^2 + 0,07^2 + 0,04^2 + 0,012^2 + (0,6 \cdot 0,1)^2} = 0,047 \text{ мм.}$$

Отже, розрахункова величина похибки базування, яку формує даний пристрій, виявилася меншою за допустимий допуск, встановлений для оброблюваної деталі. Це свідчить про те, що конструкція пристрою забезпечує належну точність встановлення та фіксації заготовки, що, у свою чергу, гарантує високий рівень точності при виконанні всіх операцій обробки. Таким чином, запропонована схема базування і закріплення повністю відповідає технологічним вимогам і дозволяє отримати деталі із заданими розмірними характеристиками без перевищення допустимих похибок.

						МР.ПМКМ= 008.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			63

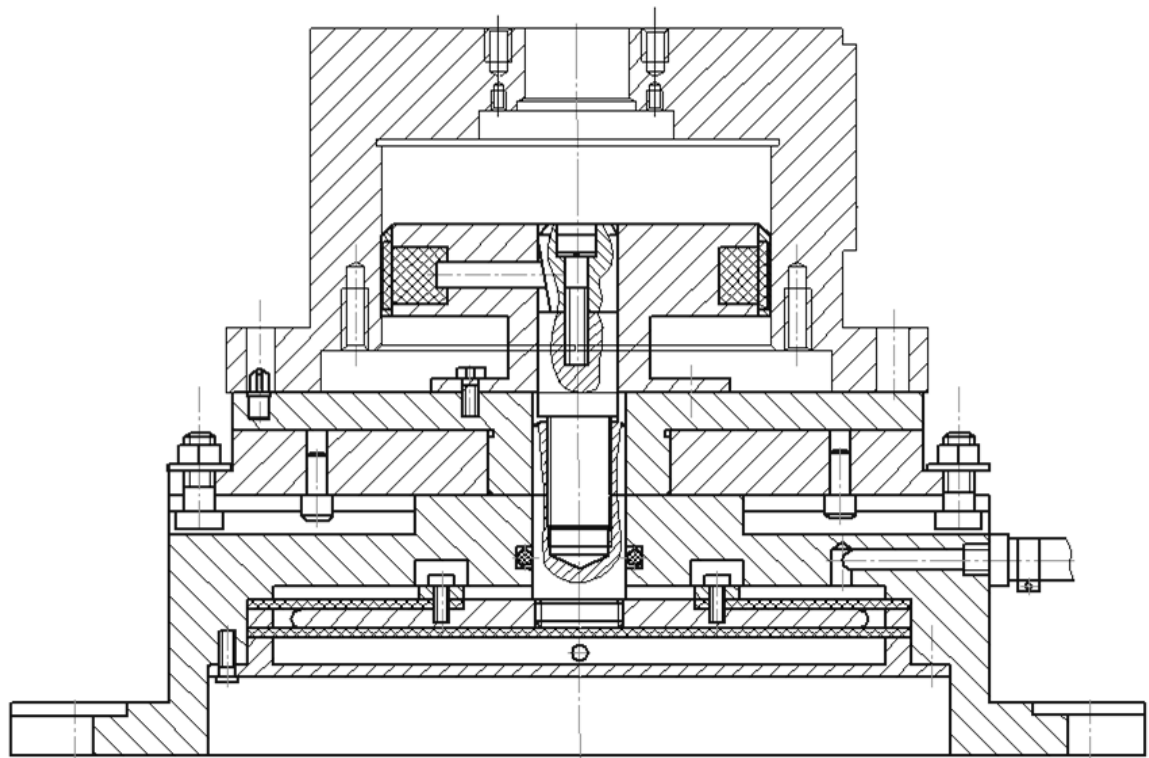


Рис. 2.3. - Конструктивна схема пристрою

3.1.6. Підготовка технічних умов для пристрою, розробка його констрування та докладний опис принципу роботи.

Пристрій повинен відповідати певним габаритним та функціональним вимогам, що забезпечують його сумісність із верстатом моделі VF1. Габарити конструкції повинні дозволити вільне переміщення та позиціонування інструменту, а також зручне встановлення та надійне закріплення корпусу пристрою на столі верстата. Закріплення корпусу здійснюється через спеціальні проушини із застосуванням болтів з гайками та Т-подібних пазів, виготовлених у столі верстата. Для точного орієнтування пристрою на столі передбачено використання двох призматичних шпонок, що встановлюються у центральний Т-подібний паз столу. Конструкція закріплення повинна виключати самовільне ослаблення та зміщення корпусу під час експлуатації, забезпечуючи стабільність позиції заготовки протягом всього процесу обробки.

Пристрій повинен передбачати можливість налаштування розмірів безпосередньо на верстаті, що забезпечує швидке й точне регулювання під різні типи заготовок.

Конструктивно пристрій (рис. 3.3) складається з базового корпусу, у якому розташована пневмокамера, та змінної наладки. Наладка кріпиться до

					МР.ПМК _М – 008.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

корпуса болтами та орієнтується за допомогою двох циліндричних шпонок для забезпечення стабільного та точного розташування.

Базування деталі у пристрої здійснюється по площині, зрізаному пальцю та розтискній оправці. Закріплення заготовки працює наступним чином: після встановлення деталі на оправку та палець стиснене повітря, подане з пневмомережі, діє на мембрану пневмокамери. Мембрана переміщує шток із клином вниз, розпираючи сухарики, що створює необхідне затискне зусилля для надійного утримання деталі.

Після цього виконується обробка необхідних поверхонь заготовки. По завершенні операції розподільник перемикається, мембрана разом із штоком рухаються вгору, оправка розтискається, оброблена деталь знімається, а на її місце встановлюється наступна заготовка, і цикл повторюється. Така послідовність забезпечує високу продуктивність та точність обробки при автоматизованому або напівавтоматизованому режимі роботи.

Основна технічна вимога до пристрою:

Перпендикулярність осі штока пневмокамери до площини основи не повинна перевищувати 0,1 мм на 100 мм довжини, що гарантує точність базування та стабільність затискного зусилля.

Додатково конструкція передбачає можливість модернізації: наприклад, інтеграцію датчиків тиску для контролю затиску, а також адаптацію під різні розміри та форми заготовок, що підвищує універсальність пристрою.

3.2 Розробка контрольного пристрою

3.2.1 Розробка контрольно-вимірювального пристрою для перевірки непаралельності поверхонь деталі.

У сучасному машинобудуванні підвищення точності та ефективності контролю деталей забезпечується широким застосуванням контрольно-вимірювальних пристроїв (КВП).

КВП являють собою комплекс елементів – базуючих, затискаючих, передаючих та вимірювальних, які забезпечують правильне положення деталі, її надійне закріплення та точне зняття показань.

За допомогою таких пристроїв перевіряють:

- лінійні розміри (діаметри отворів і валів, довжини, висоти, глибини);
- взаємне розташування поверхонь;
- відхилення від геометричної форми;
- нелінійні властивості (пружність, твердість, герметичність);
- працездатність складальних вузлів та машин у реальних або наближених умовах.

					МР.ПМКМ= 008.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

Основні вимоги до конструкції КВП: точність і продуктивність вимірювань, технологічність виготовлення, зносостійкість та зручність експлуатації. При цьому конструкція має забезпечувати повне виконання контрольних операцій, залишаючись економічно ефективною та надійною у виробничих умовах.

3.2.2. Розробка схеми вимірювання

Вимірювання непаралельності поверхонь носить відносний характер і проводиться з використанням еталонної базової точки. На певній відстані від цієї точки на площині знімаються показання індикаторної головки, що дозволяє зафіксувати різницю положень контрольованих поверхонь. Знаючи величину базової відстані між точками вимірювання, можна виконати розрахунок кута або величини непаралельності між поверхнями.

Такий підхід забезпечує точність вимірювань незалежно від абсолютних розмірів деталі і дозволяє враховувати можливі похибки установки. Крім того, розроблена схема дає змогу проводити серійні вимірювання з високою повторюваністю, контролювати відхилення в межах допусків та оперативно оцінювати якість виготовлених деталей. Використання індикаторної головки в поєднанні з базовою точкою створює надійну систему контролю, яка зручна в експлуатації та сумісна з різними типами деталей і конфігурацій поверхонь.

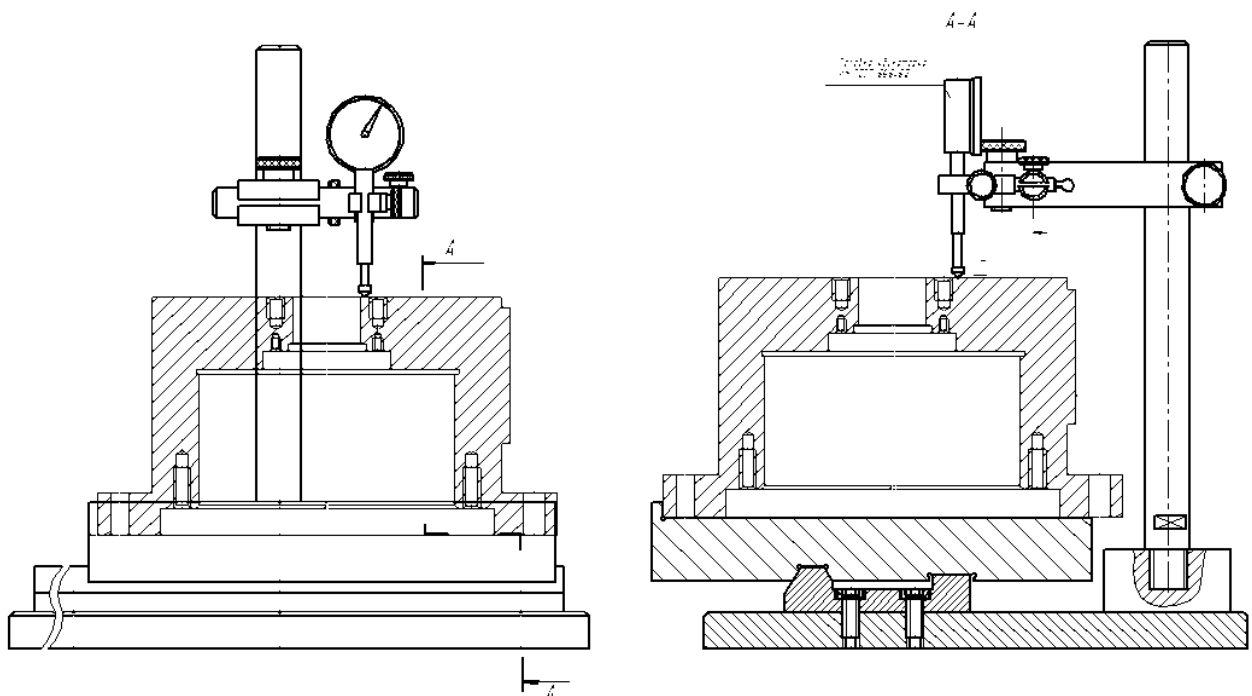


Рис. – Схема проведення вимірювань

					MR.ПМКМ= 008.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

3.2.3. Розрахунок пристрою на точність

Одним із ключових етапів проектування контрольно-вимірювального пристрою є оцінка його точності. Цей розрахунок дозволяє визначити, наскільки конструкція пристрою забезпечує відповідність встановлених допусків та вимог щодо контролю геометричних параметрів деталей. При цьому враховуються похибки базування, закріплення заготовки, вплив пружних деформацій елементів пристрою та точність вимірювальної системи. Правильне визначення цих параметрів є запорукою надійності та відтворюваності результатів контролю.

При розрахунку контрольно-вимірювального пристрою на точність визначається допустима похибка вимірювання за такою формулою:

$$\varepsilon_{\text{доп}} = 0,3 \cdot T = 0,3 \cdot 68 = 20,4 \text{ мкм},$$

де T – допуск на контрольований розмір, $T = 68$ мкм.

Обчислюємо фактичну похибку вимірювань:

$$\varepsilon_{\phi} = \sqrt{\varepsilon_{\delta}^2 + \varepsilon_{np}^2 + \varepsilon_{прил}^2 + \varepsilon_{зн}^2}$$

де ε_{δ} – похибка базування деталі, $\varepsilon_{\delta} = 0$ (технологічна база співпадає з конструкторською);

ε_{np} – похибка виготовлення пристрою, $\varepsilon_{np} = 0,006$ мм;

$\varepsilon_{зн}$ – похибка зношення пристрою, $\varepsilon_{зн} = 0,006$ мм;

$\varepsilon_{прил}$ – похибка контрольно-вимірювального приладу:

$$\varepsilon_{прил} \approx \frac{Ц}{2},$$

де $Ц$ – ціна поділки контрольно - вимірювального приладу.

Для перевірки параметрів биття та співвісності застосовуємо індикатор годинникового типу відповідно до ДСТУ, з ціною поділки $Ц = 0,01$ мм.

$$\varepsilon_{прил} \approx \frac{0,01}{2} = 0,005 \text{ мм}. \quad \varepsilon_{\phi} = \sqrt{0^2 + 0,006^2 + 0,005^2 + 0,006^2} = 0,0098$$

Таким чином, фактична похибка вимірювання знаходиться в межах допустимого значення: $\varepsilon_{\phi} < \varepsilon_{\text{доп}}$.

3.2.4. Опис роботи контрольного пристрою

Деталь встановлюється на площину столика до упору, що забезпечує її стабільне та однозначне положення. Для проведення вимірювань індикаторна головка підводиться до контрольованої поверхні та калібрується на нульове значення («0»), що дозволяє зафіксувати вихідну точку відліку.

					МР.ПМКМ– 008.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

Після цього столик з закріпленою деталлю переміщується на задану величину, а індикаторна головка фіксує зміщення контрольованої поверхні відносно базової. Різниця показань індикатора дозволяє визначити величину непаралельності поверхонь. Такий метод забезпечує точне відстеження відхилень, дозволяє контролювати допуски та робить вимірювальний процес надійним і відтворюваним для серійного контролю деталей.

					МР.ПМК _М – 008.00.000 ПЗ	Арк.
						68
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

4. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

Дослідження впливу технологічного закріплення на напружено-деформований стан деталі при механічній обробці

Мета, актуальність та постановка наукового дослідження

У сучасних умовах середньосерійного машинобудівного виробництва підвищені вимоги до точності та стабільності геометричних параметрів корпусних деталей зумовлюють необхідність урахування напружено-деформованого стану (НДС), що формується в процесі механічної обробки. Одним із ключових факторів, який суттєво впливає на НДС, є схема технологічного закріплення деталі у верстатному пристрої.

Метою даного науково-дослідного підрозділу є встановлення кількісного взаємозв'язку між схемами технологічного закріплення корпусної деталі «Корпус И-042.8.Н72.00» та її напружено-деформованим станом шляхом чисельного моделювання методом скінченних елементів..

Актуальність дослідження полягає у можливості використання результатів чисельного аналізу для обґрунтованого вибору технологічних баз і схем закріплення на етапі проектування технологічного процесу, що дозволяє зменшити деформації, підвищити точність та знизити виробничий брак.

Об'єкт, предмет та методи дослідження

Об'єктом дослідження є корпусна деталь «Корпус И-042.8.Н72.00», виготовлена з сірого чавуну СЧ20, яка має складну просторову форму, систему отворів і посадочних поверхонь.

Предметом дослідження є напружено-деформований стан корпусної деталі, що виникає під дією експлуатаційних і технологічних навантажень за різних схем технологічного закріплення.

У роботі використано такі методи дослідження:

- метод скінченних елементів;
- чисельне статичне моделювання;
- порівняльний аналіз результатів;
- графічна інтерпретація розрахункових даних.

Теоретичні основи аналізу напружено-деформованого стану

Напружено-деформований стан твердого тіла описується системою рівнянь теорії пружності, які включають рівняння рівноваги, геометричні співвідношення та фізичні залежності.

Рівняння рівноваги у відсутності масових сил мають вигляд:

					МР.ПМКМ– 008.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

$$\begin{cases} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} = 0, \\ \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} = 0, \\ \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} = 0. \end{cases}$$

Для оцінки міцності використовується еквівалентне напруження за Мізесом:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\frac{1}{2} [(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2] + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}.$$

Максимальні переміщення визначаються з розв'язку системи рівнянь МСЕ та є критерієм оцінки технологічної точності.

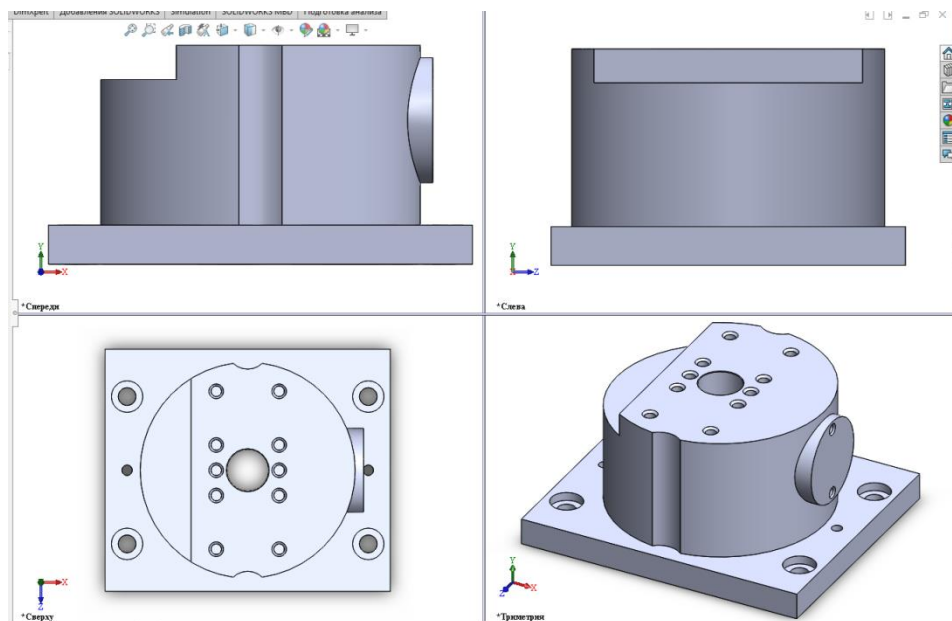
Побудова чисельної моделі в SolidWorks Simulation

На першому етапі дослідження було створено тривимірну параметричну модель корпусу відповідно до робочого креслення. Модель включає всі функціонально значущі елементи: посадочні отвори, опорні площини, ребра жорсткості.

Матеріал моделі — чавун СЧ20 з такими механічними характеристиками:

- модуль пружності $E = 1,1 \cdot 10^{11}$ Па;
- коефіцієнт Пуассона $\nu = 0,26$;
- границя міцності $\sigma_b \approx 200$ МПа.

Скінченно-елементна сітка сформована з використанням тетраедричних елементів з локальним згущенням у зонах отворів і переходів перерізів.



Рис– Скінченно-елементна модель корпусу И-042.8.Н72.00

									Арк.
									70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МР.ПМКМ– 008.00.000 ПЗ				

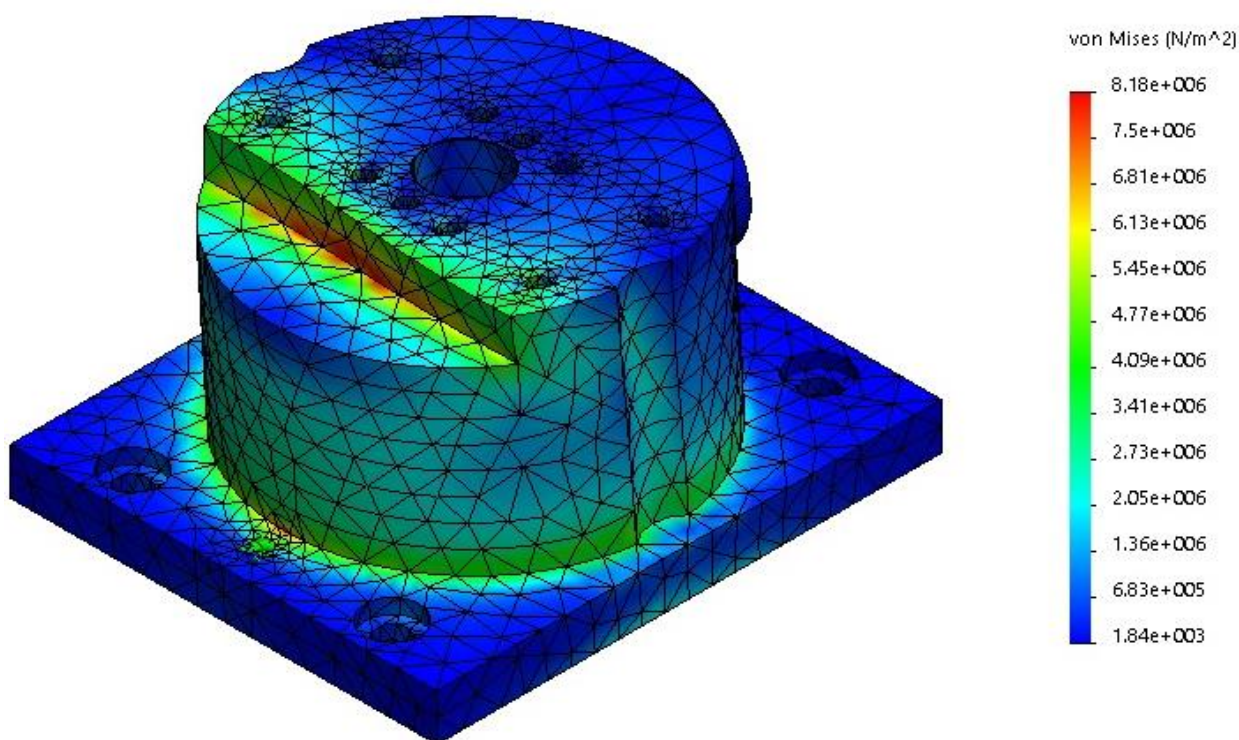
Моделювання схем технологічного закріплення

У межах чисельного експерименту розглянуто чотири схеми технологічного закріплення:

1. жорстке базування за трьома взаємно перпендикулярними площинами;
2. базування за двома площинами та циліндричним отвором;
3. закріплення з урахуванням пружності опор;
4. оптимізована схема закріплення з мінімально необхідними обмеженнями ступенів свободи.

Для кожної схеми задавалися відповідні граничні умови, що імітують контакт деталі з елементами верстатного пристрою.

Результати чисельного аналізу напружено-деформованого стану



						MP.ПМКМ= 008.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			71

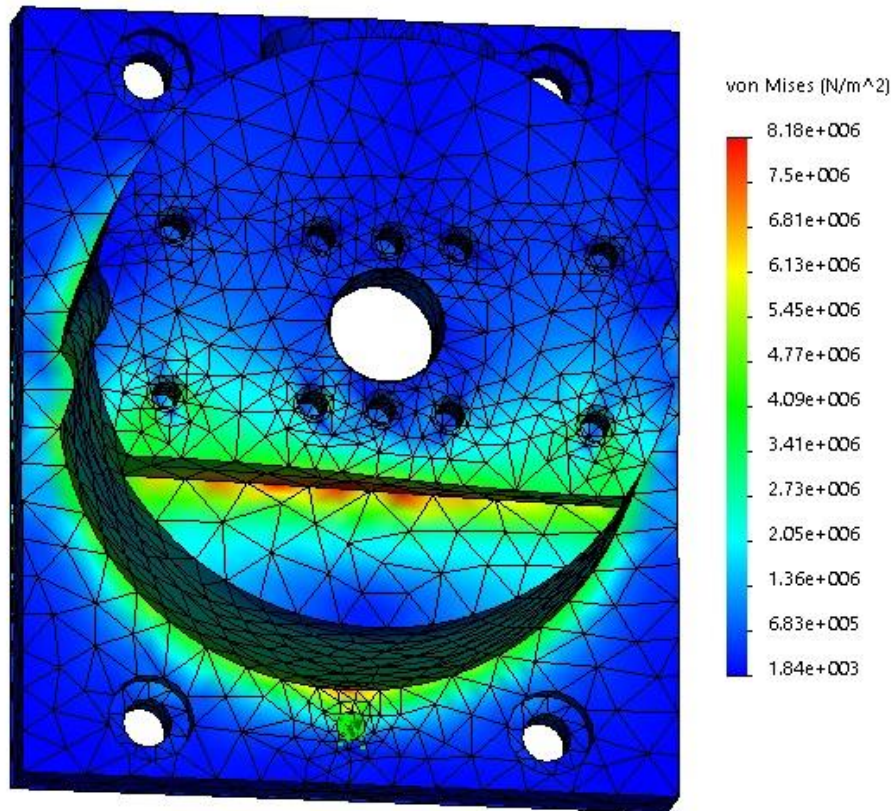
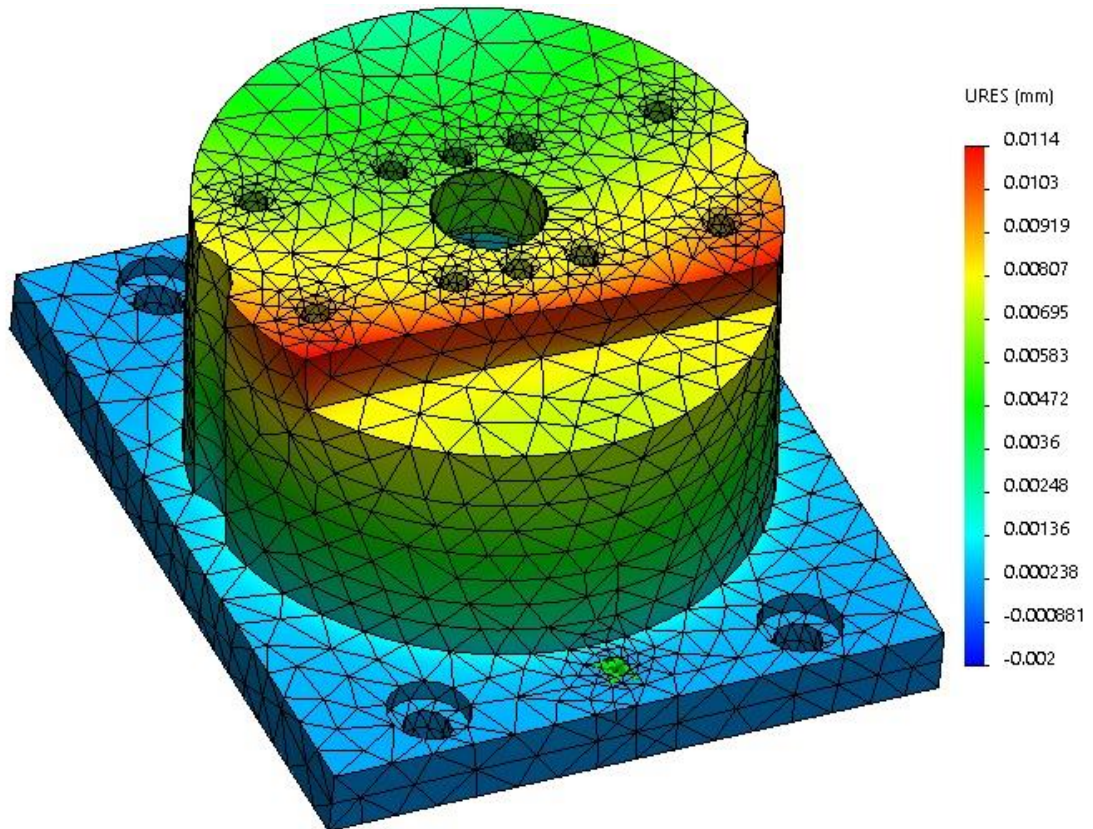


Рис 4.1. - Поле еквівалентних напружень корпусу при жорсткому закріпленні.



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

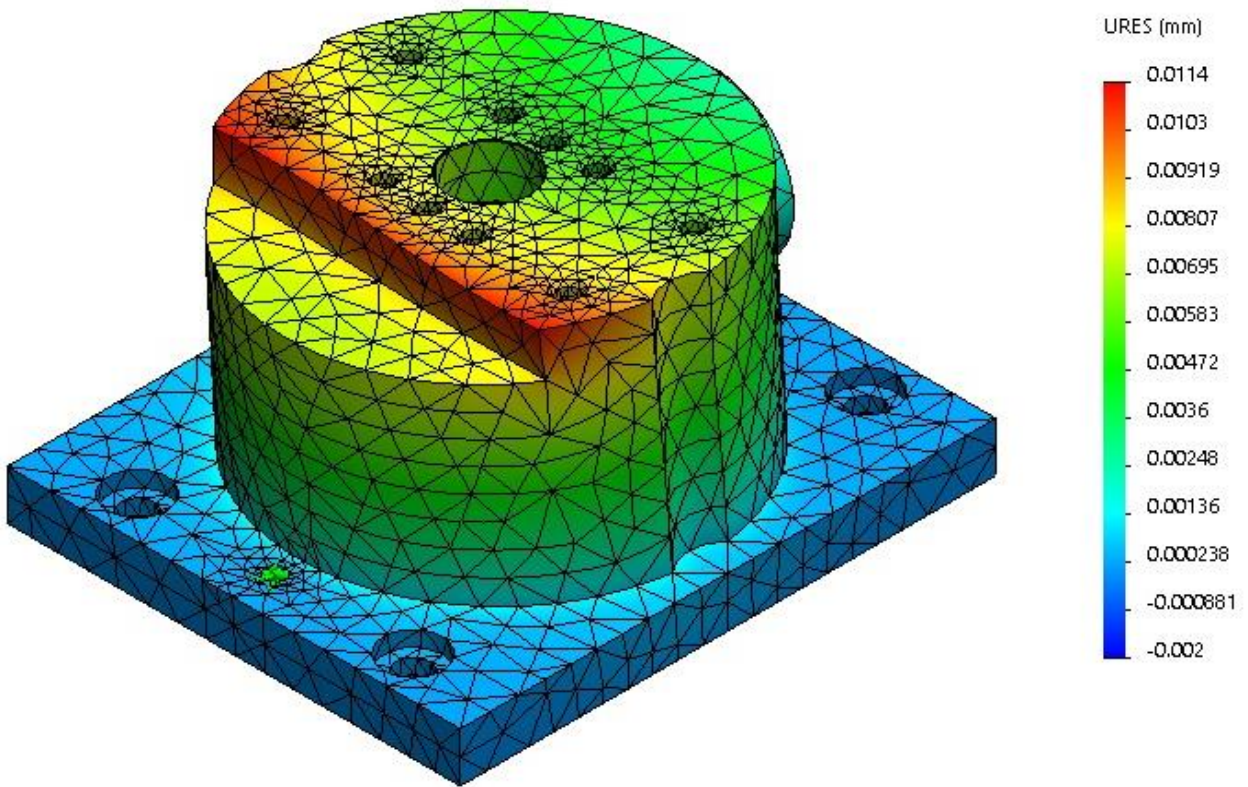
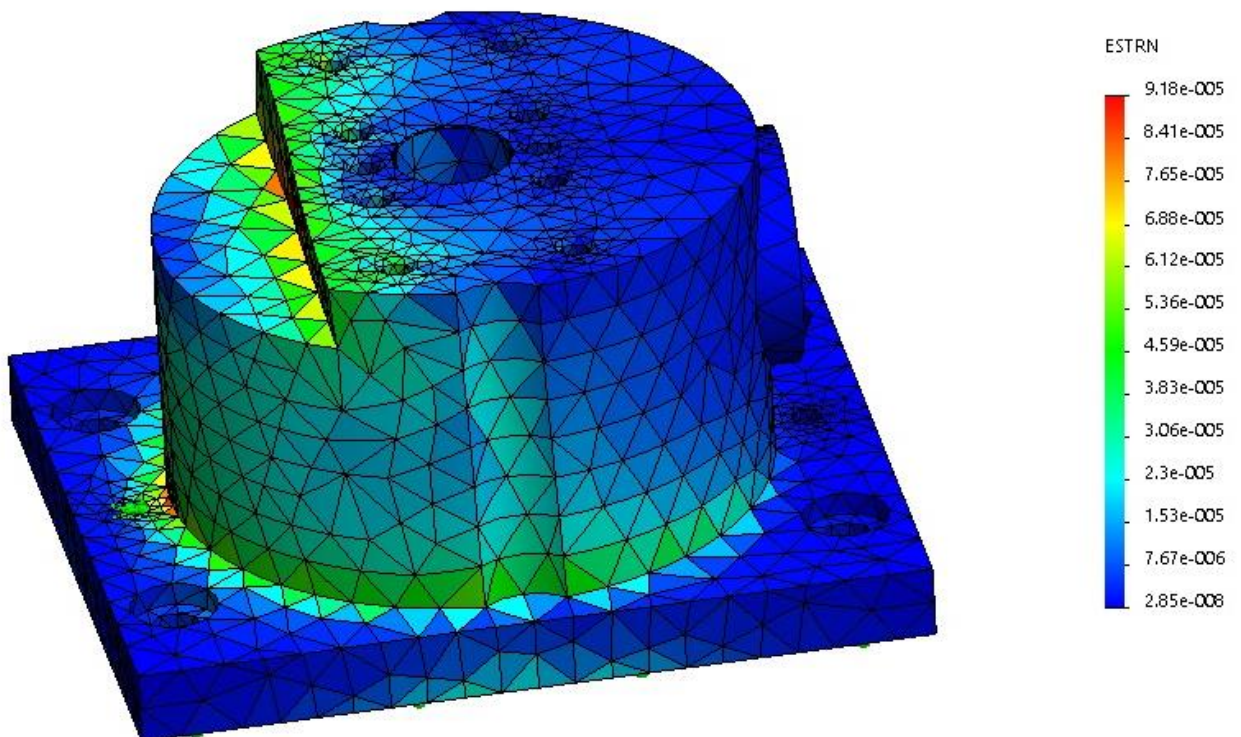


Рис. 4.2. - Переміщення при жорсткому закріпленні



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

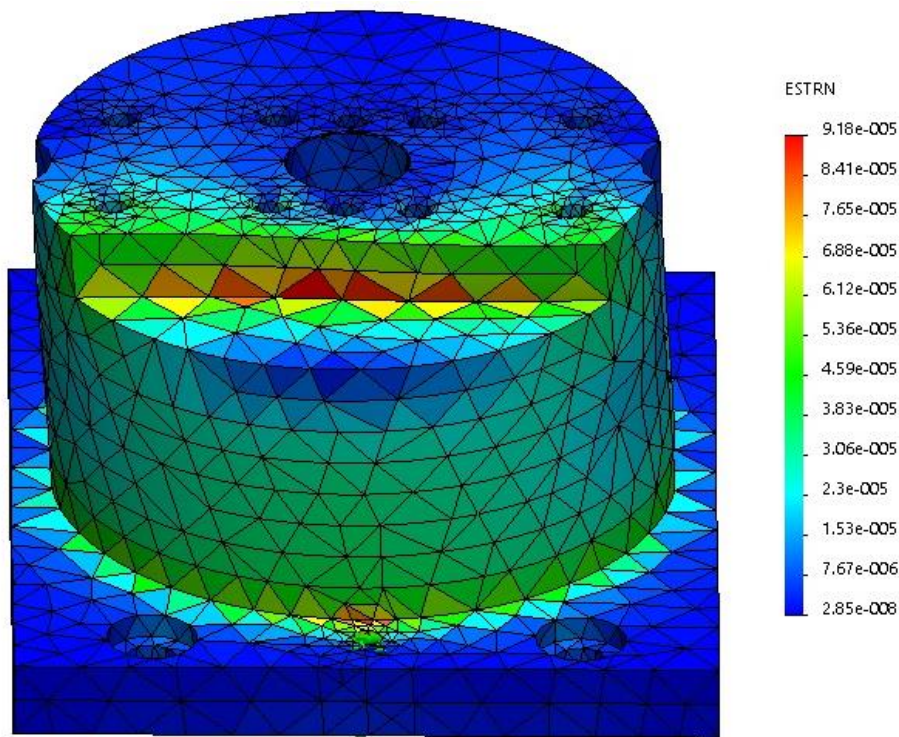


Рис. 4.3. - Деформації при жорсткому закріпленні

Графічний аналіз впливу технологічного закріплення

На основі чисельних результатів побудовано графіки залежностей.

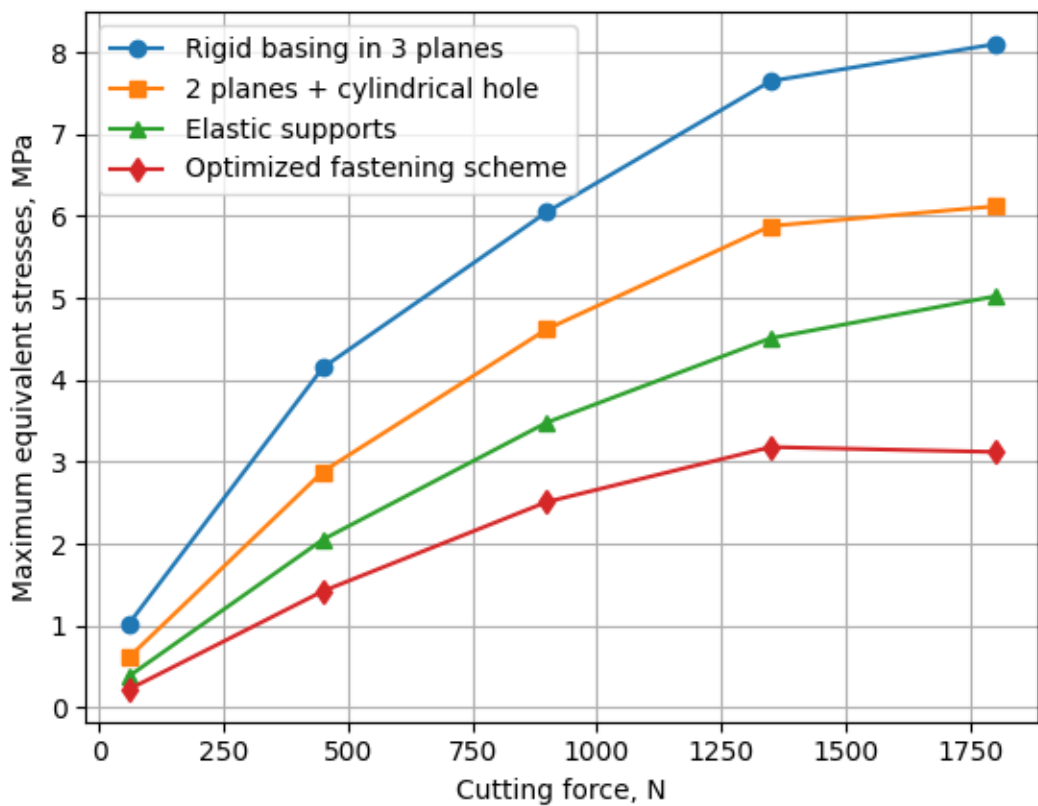


Рис. 4.4. - Залежність еквівалентних напружень від сили різання при механічній обробці

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

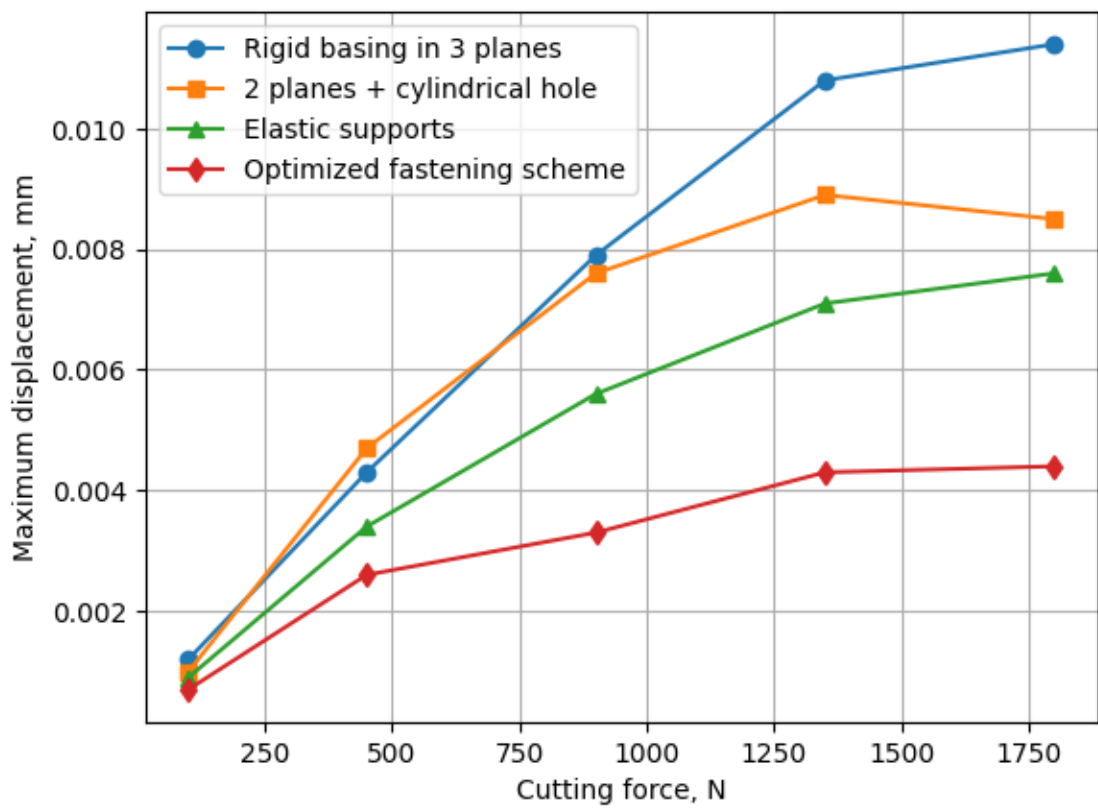


Рис. 4.5. - Залежність переміщень від сили різання при механічній обробці

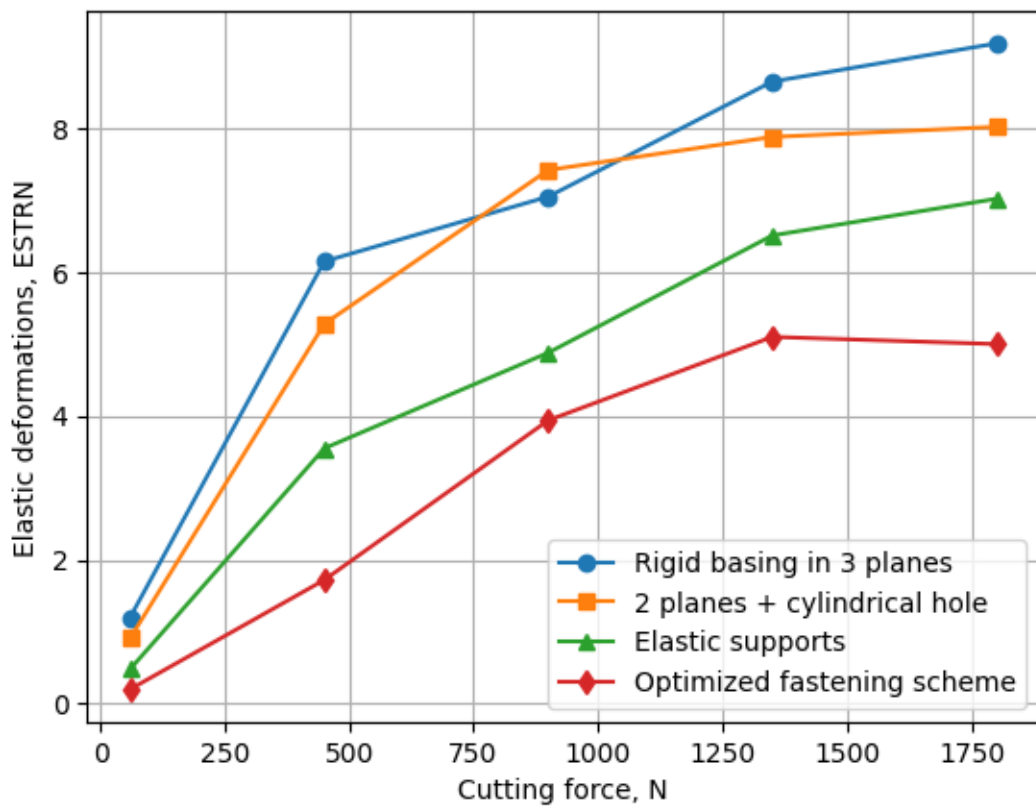


Рис. 4.6. - Залежність пружних деформацій від сили різання при механічній обробці

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Аналіз результатів

Отримані результати підтверджують, що надмірно жорстке закріплення призводить до підвищеного рівня внутрішніх напружень та деформацій після зняття деталі з пристрою. Оптимізована схема закріплення забезпечує зниження максимальних переміщень більш ніж на 50 % порівняно з традиційним жорстким базуванням.

Це безпосередньо впливає на точність взаємного розташування отворів і опорних поверхонь корпусу.

Висновок. Отже виконано комплексне чисельне дослідження напружено-деформованого стану (НДС) корпусі. Шляхом імітаційного моделювання проаналізовано поведінку заготовки під дією сил різання та реакцій опор, що дозволило оцінити вплив різних варіантів технологічного закріплення на кінцеву точність обробки.

Доведено високу ефективність та доцільність застосування методу скінченних елементів (МСЕ) для задач технологічної підготовки виробництва.

Використання САЕ-систем дозволило ще на етапі проектування виявити зони концентрації напружень та критичних переміщень, які виникають при традиційних схемах базування, та обґрунтувати переваги оптимізованої схеми. Зокрема, встановлено, що раціональний вибір точок прикладання затискних зусиль і сил різання та крутних моментів дозволяє мінімізувати пружні деформації корпусу, забезпечуючи стабільність розмірних параметрів.

Отримані результати є вагомим підґрунтям для вдосконалення технологічних процесів виготовлення корпусних деталей у середньосерійному виробництві. Впровадження запропонованих рекомендацій дозволить знизити ймовірність браку, скоротити час на налагодження обладнання та підвищити загальну точність механічної обробки без додаткових матеріальних витрат на проведення натурних експериментів.

					МР.ПМКМ= 008.00.000 ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Клименко Г. П., Андронов О. Ю. Технологія машинобудування : підручник. Краматорськ : ДДМА, 2019. 412 с.
2. Жарков Ю. В., Тищенко В. Г. Проектування технологічних процесів механічної обробки деталей машин : навч. посіб. Одеса : ОНПУ, 2018. 320 с.
3. Без'язичний В. Ф. Основи технології машинобудування : підручник для вузів. Київ : Кондор, 2017. 560 с.
4. Металорізальні інструменти : підручник / Ю. М. Кузнецов та ін. ; за ред. Ю. М. Кузнецова. Київ : ТОВ «Кондор», 2016. 456 с.
5. Загальномашинобудівні нормативи часу для технічного нормування робіт на металорізальних верстатах. Середньосерійне та великосерійне виробництво. Київ : Техніка, 2015. 240 с.
6. Панчук В. Г., Карпик Р. Т., Пітулей Л. Д., Лукань Т. В., Панчук А.Г. Магістерська робота П - 14. Магістерська робота: методичні вказівки. - Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2018.- 35 с.
7. Грабченко А. І., Крочко В. В. САПР технологічних процесів : навч. посіб. Харків : НТУ «ХП», 2017. 216 с.
8. Карачун В. В., Пастушенко М. Г. Автоматизація розрахунків та проектування у середовищі SolidWorks : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 180 с.
9. Крижанівський В. А. Проектування технологічних процесів у середовищі САПР : підручник. Кропивницький : ЦНТУ, 2021. 340 с.
10. Сторож Б. Д., Карпик Р. Т. Розрахунок пристроїв на точність: навч. Посібник / Під ред. Карпика Р. Т. - Івано-Франківськ, «Факел», 1999. - 216 с., іл.
11. Сторож Б.Д., Карпик Р.Т., Гордєєв А.І. Точність верстатних пристроїв машинобудівного виробництва: Навчальний посібник. – Івано-Франківськ; Хмельницький: ХНУ, 2014. – 230с.
12. Кочергін А. І. Технологія виготовлення корпусних деталей : навч. посіб. Львів : Новий Світ-2000, 2020. 248 с.
13. Руденко П. О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні : навч. посіб. Київ : Центр учбової літератури, 2019. 312 с.
14. Ступницький В. В. Моделювання технологічних систем у машинобудуванні : навч. посіб. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2017. 336 с.
15. Висоцький Є. С., Кирилович В. А. Технологічне забезпечення точності обробки на верстатах з ЧПК : навч. посіб. Житомир : ЖДТУ, 2015. 296 с.
16. Богуславський В. А., Стрелков С. П. Точність механічної обробки деталей машин : навч. посіб. Дніпро : Журфонд, 2016. 244 с.

					МР.ПМКМ= 008.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

ДОДАТКИ

										ДСТУ 3.1404-86			Форма 1		САПР	
Дубл.																
Взам.																
Подл.																
ТехноПро												5	1			
Разроб.	Добровольський В. О.															
Перевір.	Костюк Н. О.															
Т.Контр.	Костюк Н. О.															
Н.контр.						Корпус И-042.8.Н72.00										
М 1	Чавун СЧ20 ДСТУ 1050-85															
	Код	ЕВ	МД	ЕН	Н.розх.	КВМ	Код заготовки	Профіль і розміри					КД	МЗ		
М 2			30,48				Відливка	Складний						28,4		
А	Цех	Діл.	РМ	Опер.	Код, найменування операції					Позначення документу						
Б	Код, найменування обладнання					СМ	Проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт	Тпз	Тшт
Р				ПИ	D або B	L	T	i	S	N	V	O	To/хв.	Tд/хв.		
A01	4	1		003	Транспортна											
02																
B03	Електрокар ЕК-2							2						2	6	
04																
O05	1	Транспортувати заготовки на ділянку мехобробки.										5	1			
06																
T07	ВИ. Піддон															
08																
A09	4	1	1	004	Слюсарна											
10																
B11	Верстак слюсарний							3						1	4	
12																
O13	1	Запиляти і зачистити місця литників, виштовхувачів, запиляти облой, базові поверхні.										3	1			
O14	Притупити ДСТУрі кромки в місцях обробки.															
15																
T16	РИ. Шабер слюсарний ТУ2-035-365-84															
17																
A18																
19																
20																
21																
22																
23																
КТП																

Дубл.																				
Взам.																				
Подл.																				

2

Корпус И-042.8.Н72.00

А	Цех	Діл.	РМ	Опер.	Код, найменування операції	Позначення документу
---	-----	------	----	-------	----------------------------	----------------------

Б	Код, найменування обладнання				СМ	Проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт	Тпз	Тшт
---	------------------------------	--	--	--	----	-------	---	----	----	------	----	----	-----	-----	-----

Р		ПИ	D або B	L	T	i	S	N	V	O	To/хв.	Тд/хв.
---	--	----	---------	---	---	---	---	---	---	---	--------	--------

01																				
402	1	2	005	Токарна з ЧПК																
03																				
Б04				Токарний з ЧПК Mazak Quick Turn 200			3								1	17,67	19,57			
05																				
Т06				ПР. Кулачки сирі 01.01.203.; ПР. Окуляри 012-72 ДСТУ12.6.013-85; ПР. Щітка ЩТР ОСТ17830-80																
07				Токарна з ЧПК																
08				1. Закріпити заготовку у пристрої.																
09				2. Виконати попереднє точіння поверхонь 1-9.																
10				3. Провести попередню обробку поверхонь 1 та 4.																
11				4. Додатково виконати попереднє точіння поверхні 4.																
12				5. Здійснити остаточне точіння поверхонь 1-9, а також обробити фаски 10 і 11 за один прохід.																
13				6. Виконати центрування 2 отворів 12, 6 отворів 13, 4 отворів 14, одного отвору 15 та одного отвору 16.																
14				7. Просвердлити 2 отв. 12.																
15				8. Просвердлити 6 отв.13.																
16				9. Просвердлити 4 отв. 14.																
17				10. Розвернути 2 отвори 12.																
18				11. Просвердлити отв. 15 та 16.																
19				12. Нарізати різьбу в 6 отв. 13.																
20				13. Нарізати різьбу в 4 отв. 14.																
21				14. Зняти заготовку з верстата.																
22																				
Т23				РИ. 2102-0005 Різець прохідний ДСТУ 18877-86; РИ. 2140-0005 Різець прохідний ДСТУ 18882-86;																
24				СИ. Калібр-пробка 8136-0014 82Н7 ПР ДСТУ 14815-89; СИ. Калібр-пробка 8136-0114 НЕ																
25				ДСТУ 14816-89; СИ. Штангециркуль ШЦ-І 125 ДСТУ 166-80																
26																				
А27	4	1	3	Слюсарна																
Б28				Верстак слюсарний				3												3
О29	1			Зачистити заусенці і притупити ДСТУрі кромки після токарної обробки.											2					1
Т30				РИ. Шабер слюсарний ТУ2-035-365-84																

Дубл.																				
Взам.																				
Подл.																				

4

Корпус И-042.8.Н72.00

А Цех | Діл. | РМ | |Опер. | Код, найменування операції | Позначення документу

Б Код, найменування обладнання | СМ | Проф. | Р | УТ | КР | КОИД | ЕН | ОП | Кшт | Тпз | Тшт

Р | ПИ | D або B | L | T | i | S | N | V | |O | То/хв. | Тд/хв.

A01 4 | 1 | 6 | 015 | Універсальна обробка на оброблювальному центрі
 02
 B03 Оброблювальний центр моделі VF1 фірми «НААС» | | | 4 | | | | | | 21,3 24,77
 04
 T05 ПР. Окуляри 012-72 ДСТУ12.6.013-85; ПР. Пристрій спеціальний; ПР. Щітка ЩТР ОСТ17830-80
 06
 07 Універсальна обробка на оброблювальному центрі
 08 1.Закріпити заготовку в пристрої.
 09 2.Виконати попереднє фрезерування поверхні 1.
 10 3.Виконати остаточне фрезерування поверхні 1.
 11 4.Провести центрування 2 отворів 2 та 2 отворів 3.
 12 5.Просвердлити 2 отвори 2.
 13 6.Просвердлити 2 отвори 3.
 14 7.Нарізати різьбу в 2 отв. 2.
 15 8.Зняти деталь з верстата
 16
 17 РИ. Свердло 035-2300-1263 ОСТ2И20-1-80; РИ. Фреза 035-2223-0105
 18 ОСТ2-И62-2-75; РИ. Фреза 2214-0001 ДСТУ24359-80;
 T19 РИ. Мітчик М2-6Н 2620-1013 ДСТУ3266-81; СИ. Калібр-пробка різьбова М2-6Н 8221-3013
 20 ДСТУ17758-88
 21

A22 4 | 1 | 10 | | | Слюсарна | |

B24 Верстак слюсарний | | | 3 | | | | | | | 1 | 2

O26 1 Зачистити заусенці і притупити гострі кромки після обробки. | 2 |

T28 РИ. Шабер слюсарний ТУ2-035-365-84

30

Дубл.																				
Взам.																				
Подл.																				

5

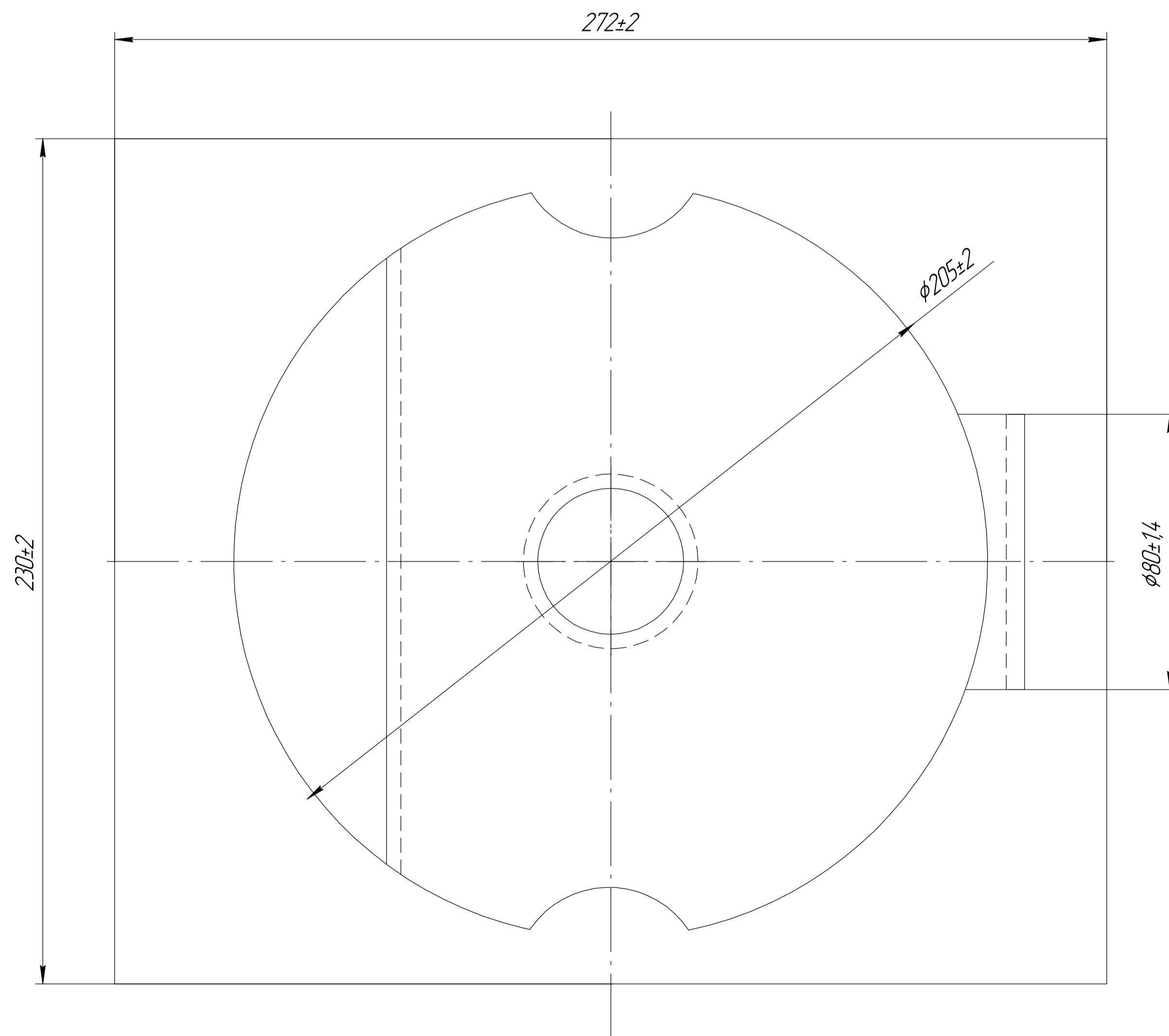
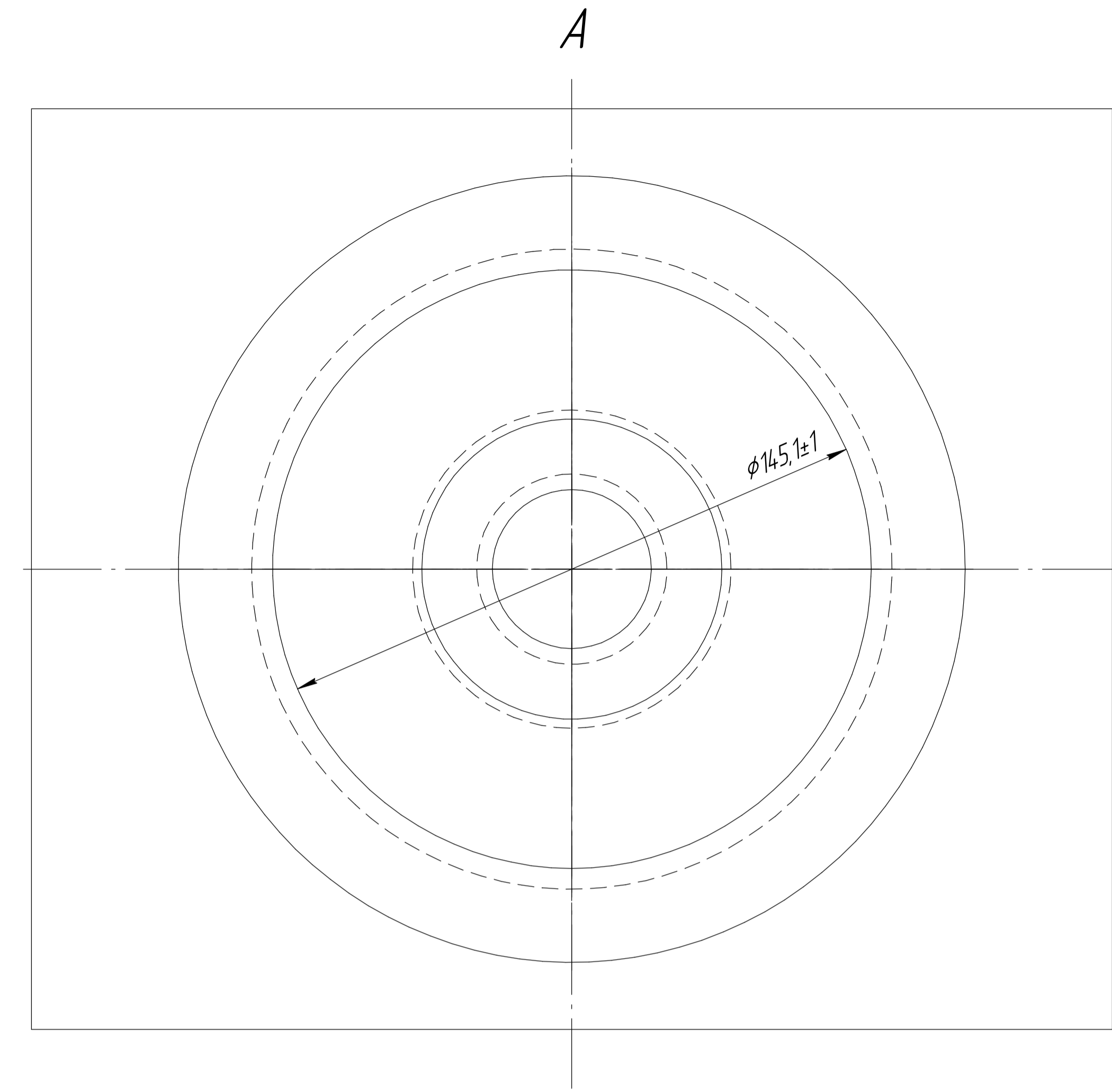
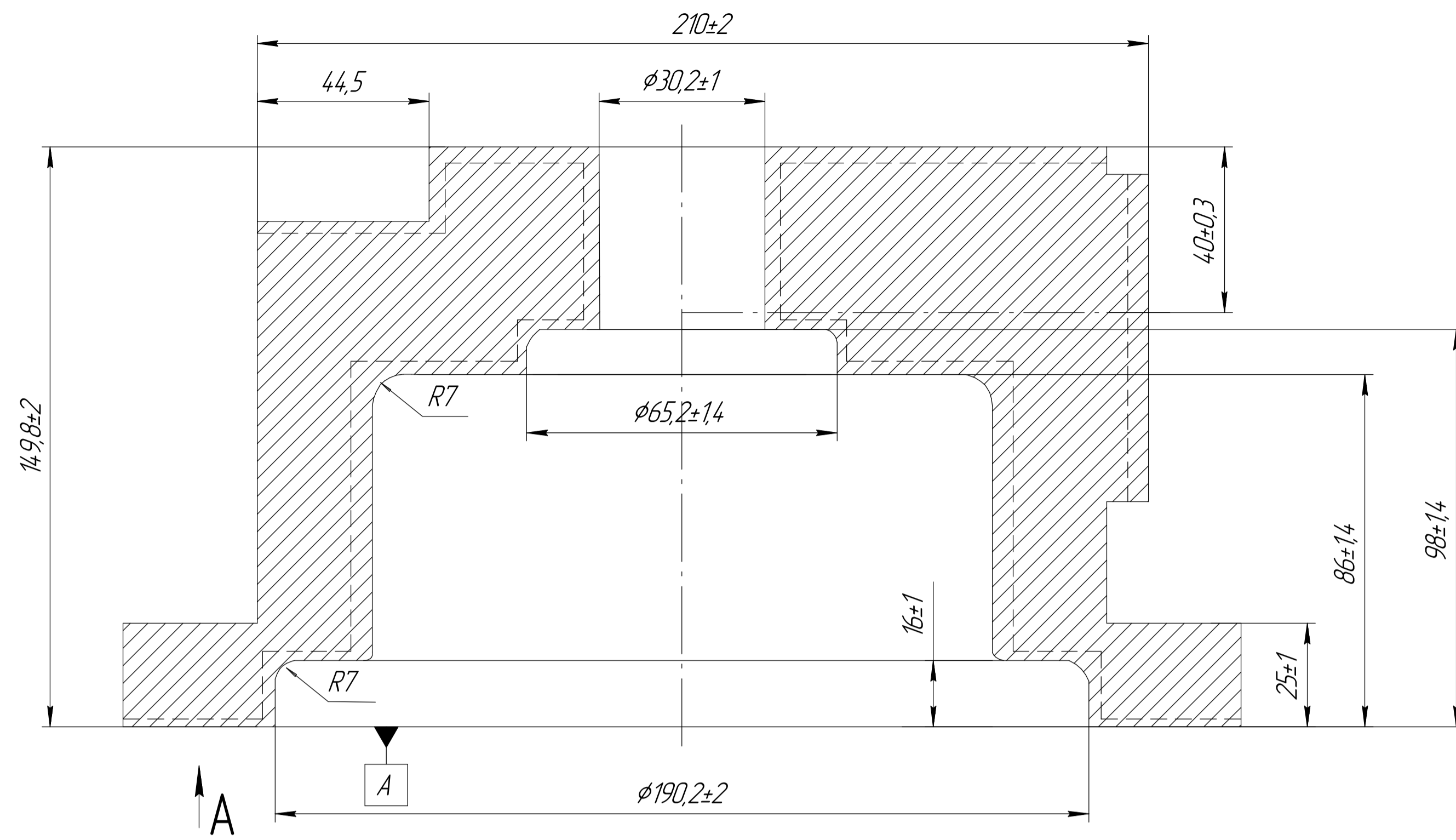
Корпус И-042.8.Н72.00

А Цех | Діл. | РМ | Oper. | Код, найменування операції | Позначення документу

Б Код, найменування обладнання | СМ | Проф. | Р | УТ | КР | КОИД | ЕН | ОП | Кшт | Тпз | Тшт

Р | ПИ | D або B | L | T | i | S | N | V | O | То/хв. | Тд/хв.

01	А	4		1		6		020		Внутрішньо-шліфувальна													
02																							
03	В	Внутрішньо-шліфувальний Studer S20 Favorit								4										27,3	39,77		
04																							
05	Т	ПР. Окуляри 012-72 ДСТУ12.6.013-85; ПР. Пристрій спеціальний; ПР. Щітка ЩТР ОСТ17830-80																					
06																							
07	Внутрішньо-шліфувальна																						
08	1. Встановити заготовку																						
09	2. Шліфувати пов. 1																						
10	3. Шліфувати пов. 2																						
11	Переустановити заготовку																						
12	4. Шліфувати пов. 1																						
13	5. Шліфувати пов. 2																						
14	6. Зняти деталь.																						
15																							
16	А	4		1		11		025		Контрольна													
17																							
18	Б	Стіл контролера										5											4
19																							
20	Т	ПР. Пристрій контрольний																					
21																							
22	О	1	Перевірити точність виконання розмірів та технічних вимог на виготовлення корпусу.																4				
23																							
24																							
25																							
26																							
27																							
28																							
29																							
30																							



1. Клас точності відливки – II за ДСТУ. Відливка повинна відповідати вимогам щодо точності розмірів, правильності форми та взаємного розташування поверхонь для корпусних деталей середньої складності.
2. Невказані ливарні нахили – 1..2°. Нахили застосовуються на всіх необроблюваних поверхнях з метою забезпечення нормального витягання моделі з форми.
3. Невказані ливарні радіуси – 4...5 мм. Радіуси використовуються на переходах внутрішніх і зовнішніх поверхонь для покращення заповнення форми та зниження концентрації напружень.
4. Матеріал відливки – чавун СЧ20 згідно з ДСТУ. Матеріал повинен відповідати встановленим механічним властивостям, забезпечувати добру литність і стабільність розмірів.
5. Якість поверхні. Поверхні відливки повинні бути очищені від пригару та залишків формувальної суміші. Не допускаються свищі, тріщини, усадкові раковини та інші дефекти, що виходять за межі припусків на механічну обробку.
6. Видалення ливничкової системи. Ливничкові та стоякові елементи повинні бути видалені без пошкодження припусків. Місця відділення – зачищені до рівня, що не ускладнює базування.
7. Геометрична стабільність. Жолоблення та викривлення повинні відповідати нормам II класу точності, забезпечуючи можливість надійного встановлення заготовки у технологічні пристрої без виправлення.
8. Маркування. На необроблюваній ділянці відливки наноситься позначення деталі та номер партії термостійкою фарбою або рельєфом.

				МР.ПМКМ - 008.00.000		
Зм.	Арк.	№ док.	Ліст.	Дата	Заготовка (методом лиття в піщано-глинисті форми з машинним формуванням)	
Разроб.	Добровольський В.О.	Костюк Н.О.				
Лектор		Костюк Н.О.			Лит.	Маса
Технік		Костюк Н.О.			30,5	11
Реценз.		Костюк Н.О.			Аркцих	Аркцих
Нконтр.		Костюк Н.О.			1	1
Затв.		Панчук В.Г.			ІФНТУНГ	
					СЧ 20 ДСТУ 8833:2019	
					зр. ПМКМ-24-1	

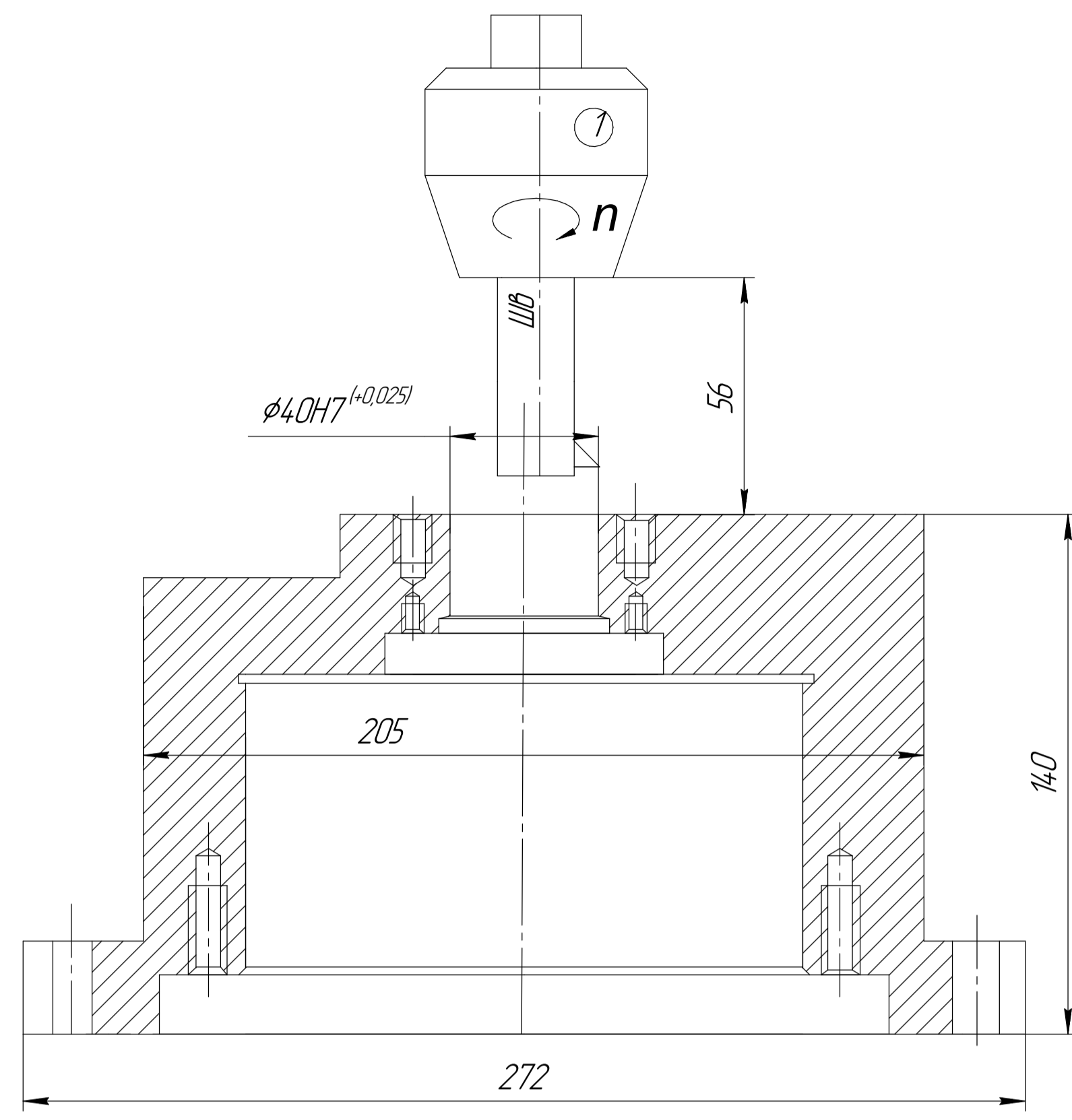


Рисунок 1 – Ескіз обробки

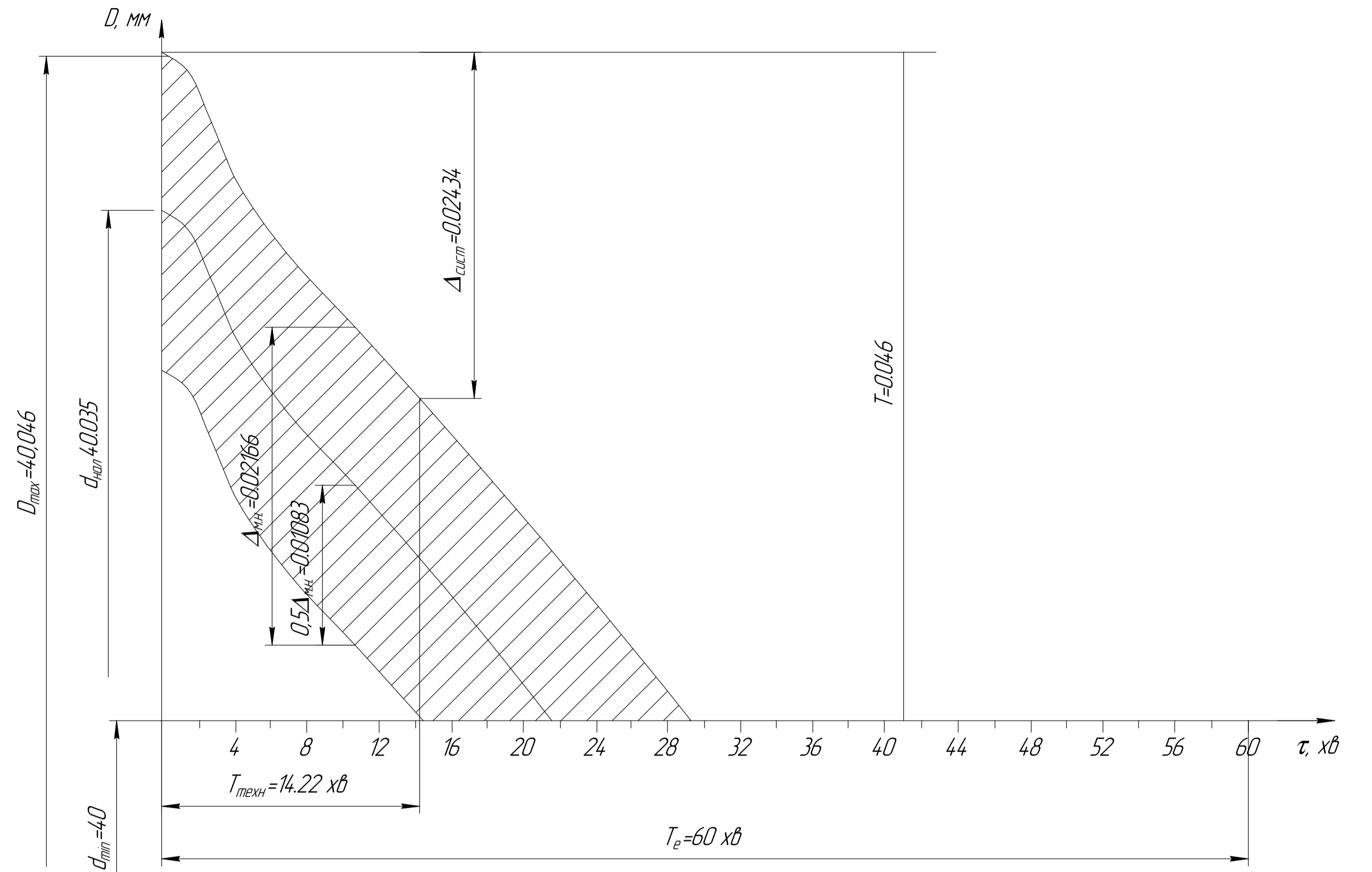


Рисунок 3 – Теоретична діаграма точності обробки

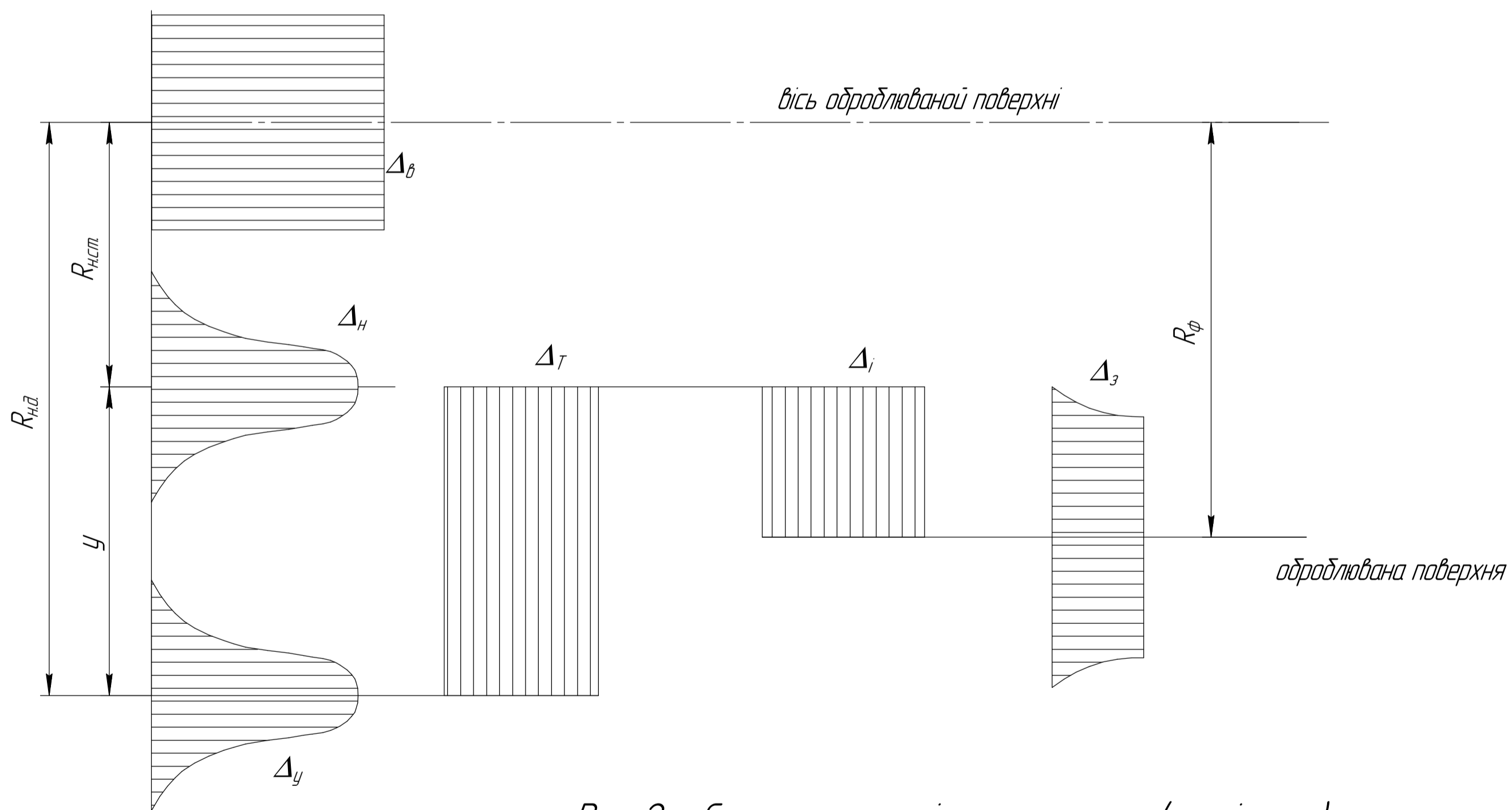


Рис. 2 – Схема технологічного ланцюга (розмірного)
 R_{ϕ} , $R_{н.ст.}$, $R_{н.д.}$ – відповідно радіус обробки (закриваюча ланка), статичного та динамічного налаштування
 y – постійна складова похибки від деформації системи ВПД під дією сил різання

Δ_{ϕ} – похибки форми від геометричної неточності (в радіальному напрямі)
 Δ_y – похибка під дією сили різання; Δ_n – похибка налагодження і Δ_r – похибка розмірного спрацювання; Δ_m – похибка від теплової деформації

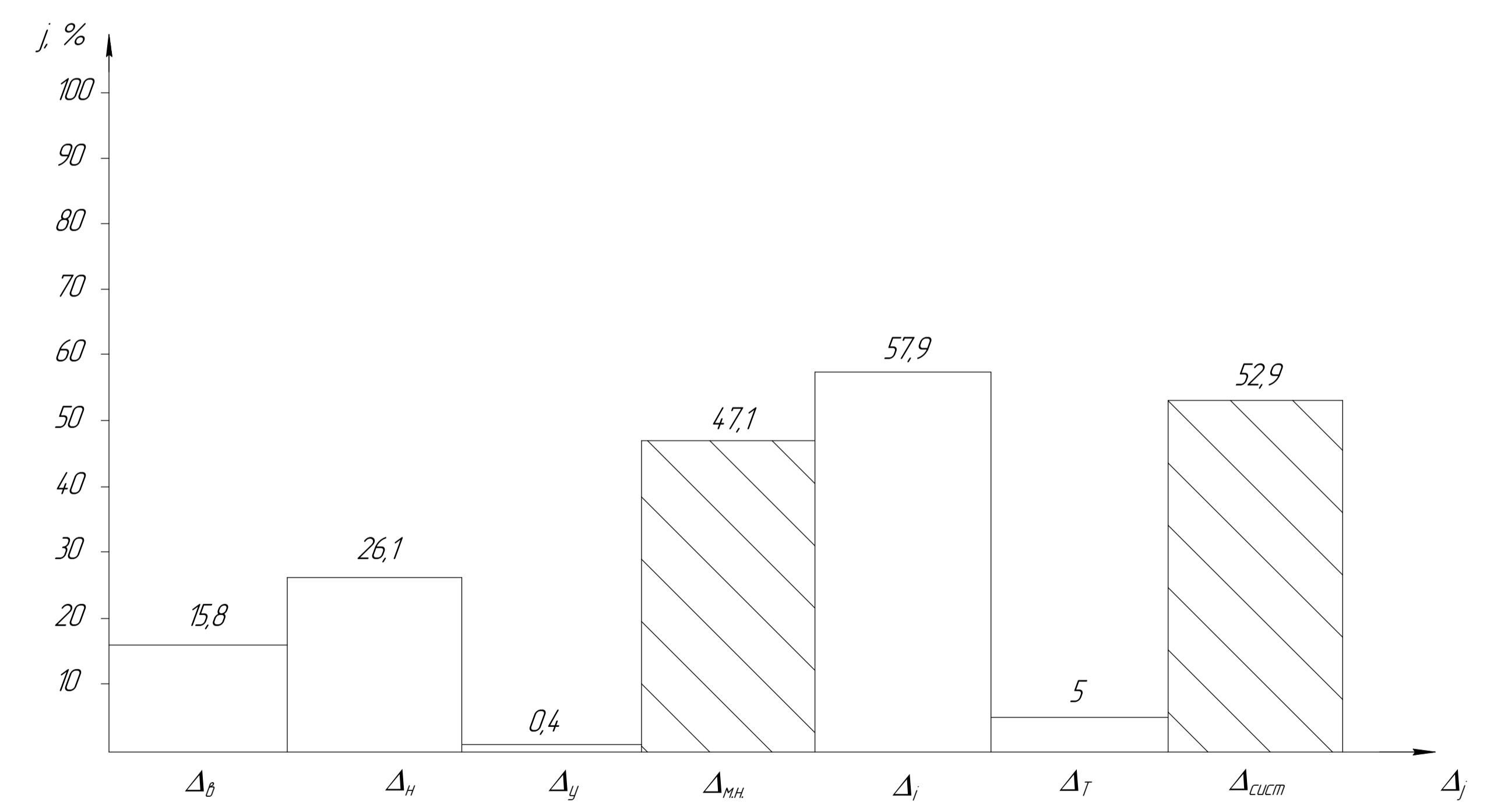
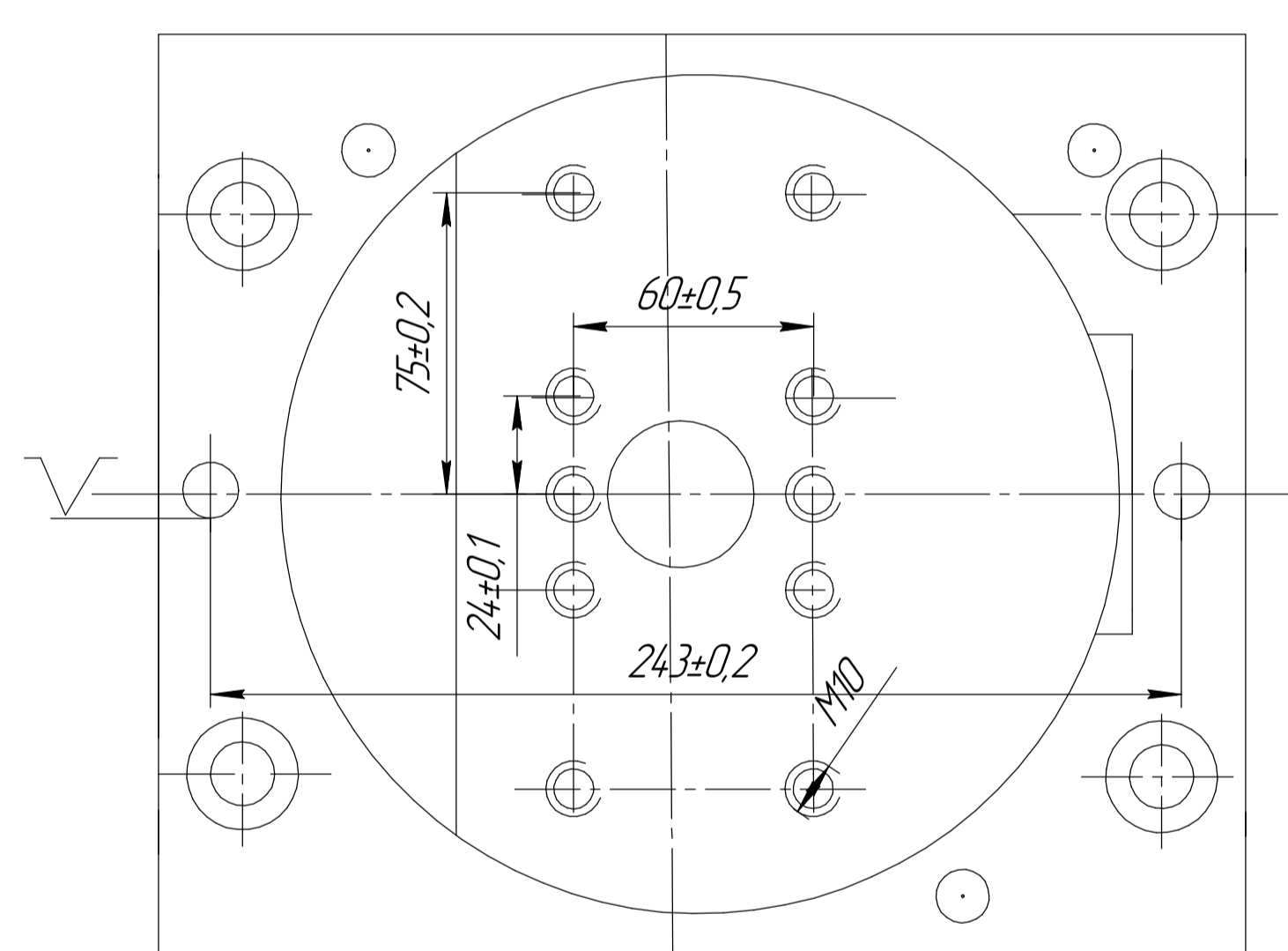
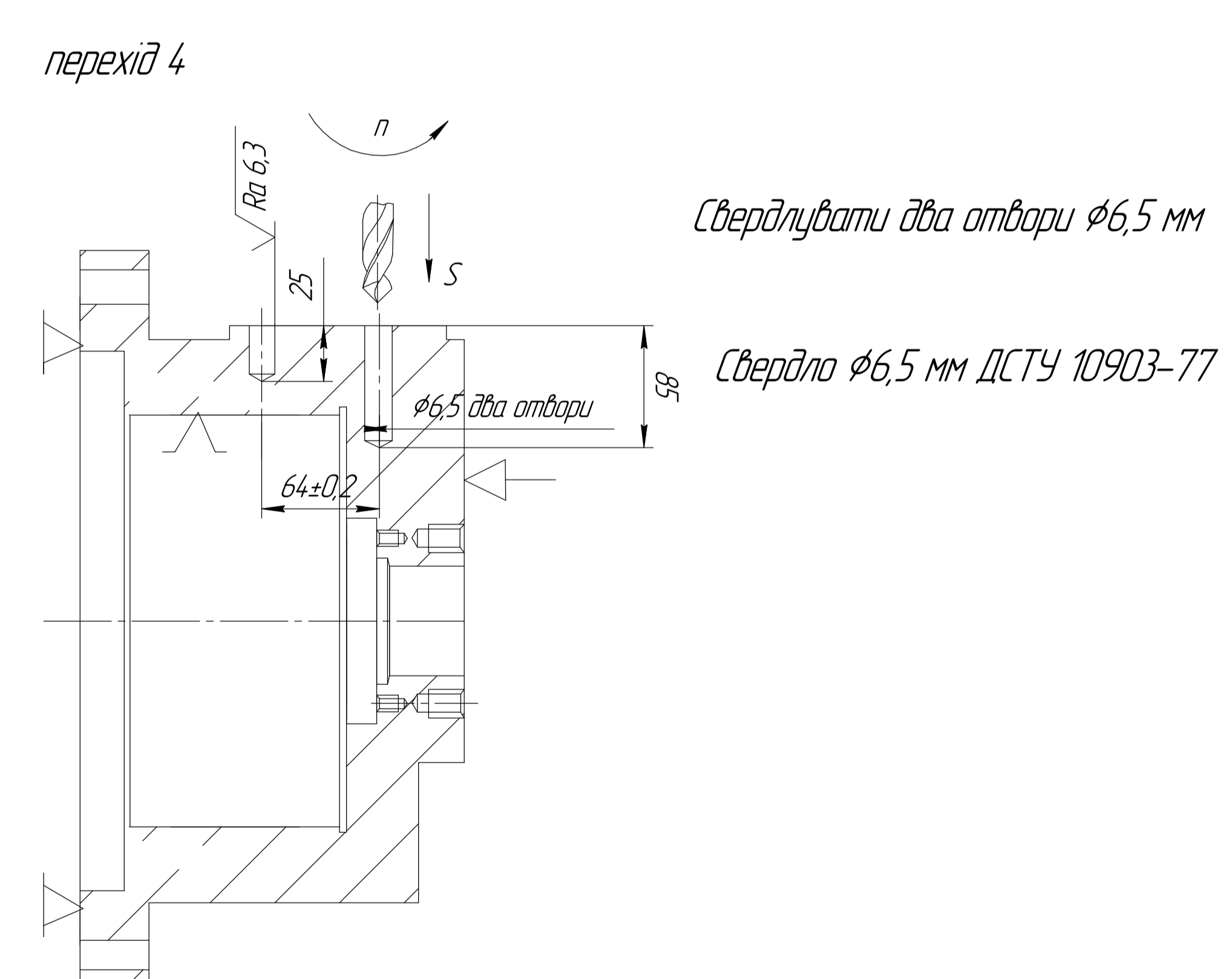
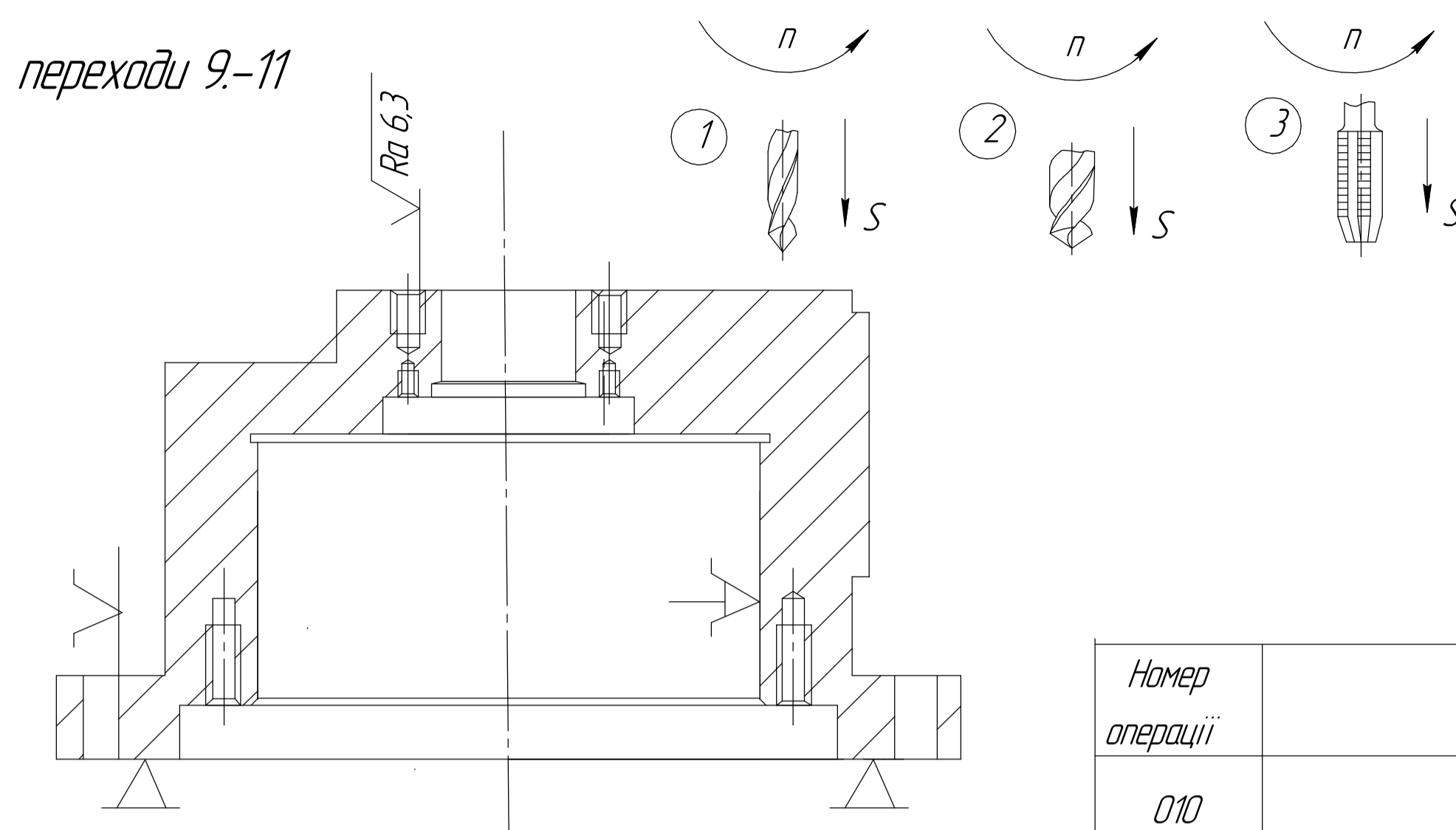
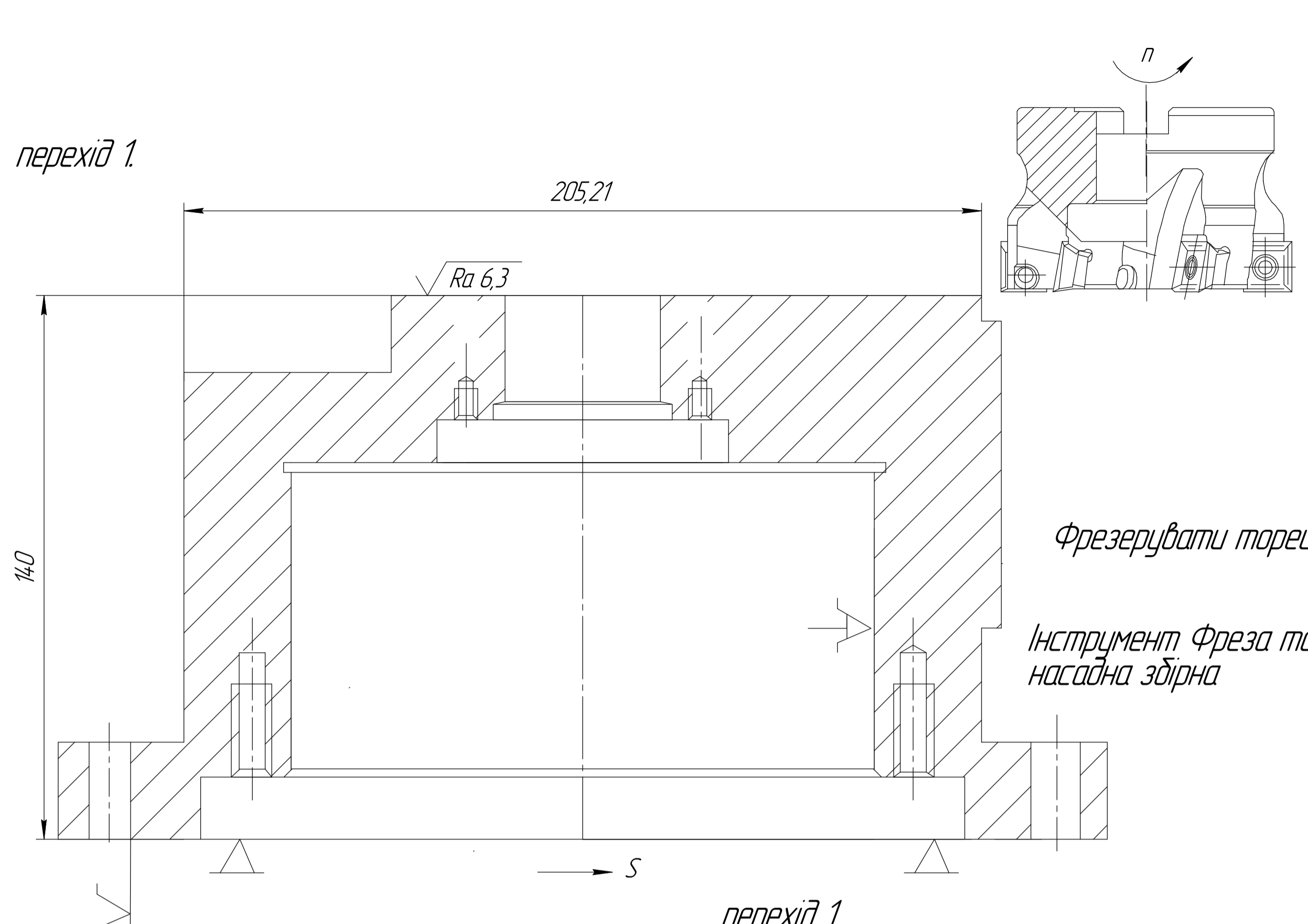


Рисунок 4 – Гістограма похибок обробки

МР.ПМЖМ - 008.00.000				Лист	Маса	Масштаб
Зм	Арх	№ док.	Підп	Дата		
Розроб		Добровольський В			-	1:1
Перев		Костюк Н.О.				
Т.контр		Костюк Н.О.				
Реценз						
Н.контр		Костюк Н.О.				
Затв		Панчук В.Г.				
Графічний аналіз точності обробки				Архив	Архив	1
-				ІФНТУНГ		
				зр. ПМЖМ-24-1		



Номер операції	Найменування операції	
010	Обробка на оброблювальному центрі	
Обладнання	Верстат	Оброблювальний центр моделі VF1 фірми «HAAS»
	Пристрій	Спецпристрій механізований

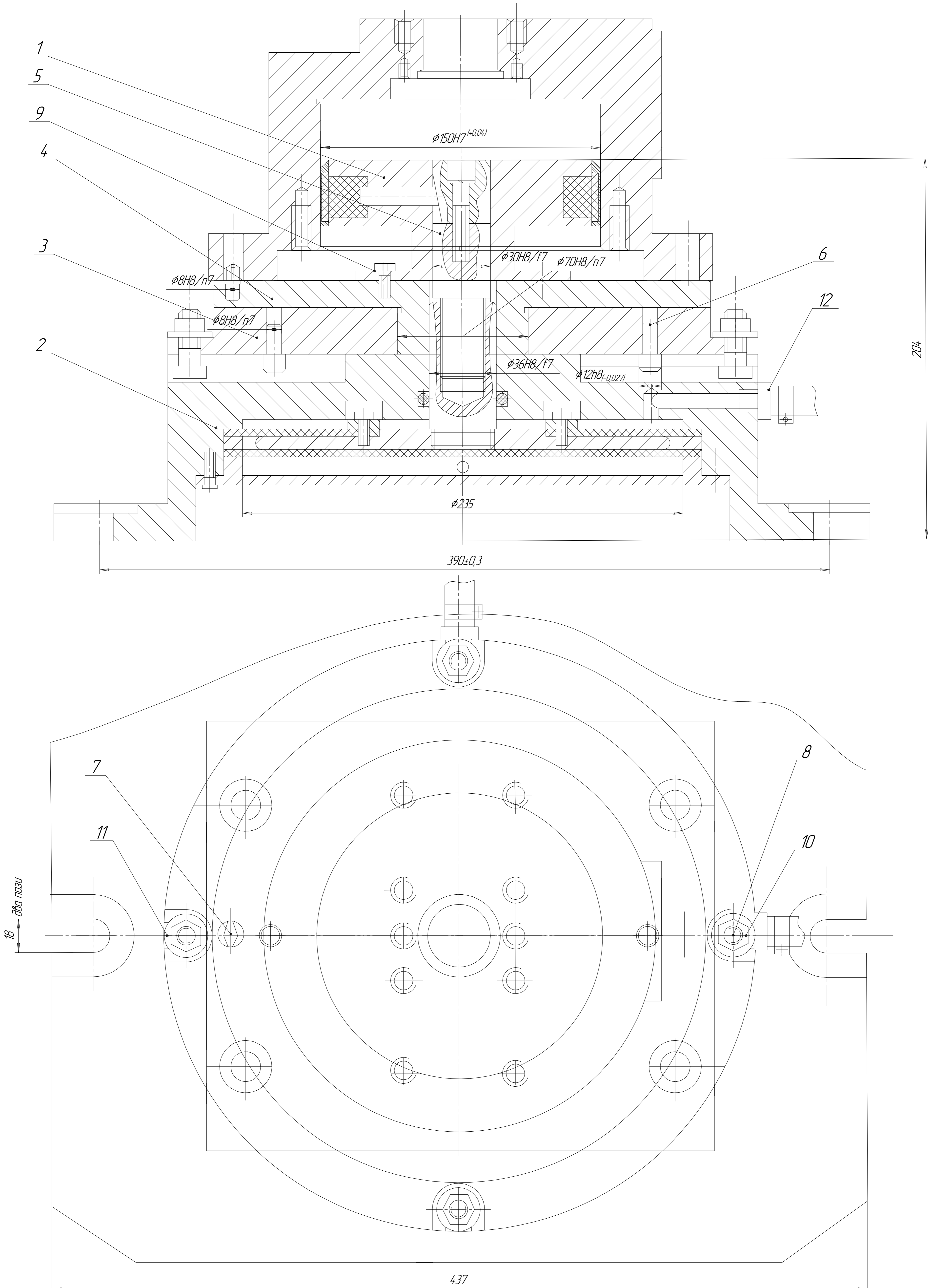
Інструмент	Розміри		ДСТУ
	L	l	
Свердло φ7,2	50	8	14952-75
Свердло φ12	80	55	17274-71
Мітчик M8			

Перехід	Інструм	Зміст переходу	Режими різання				
			t, мм	S, мм/об	V, м/хв	n, об/хв	T _M , хв
1	1	Свердлити два отвори	15	0,4	9,42	1000	0,012
2	2	Зняти дві фаски	1	0,02	12	710	0,93
3	3	Нарізати різьбу в двох отворах	15	15	2	60	0,4

Координати опорних точок									
Перехід	N точ.	x	y	z	Перехід	N точ.	x	y	z
	2	0	-70,5	-68		15	0	-70,5	23
	3	0	-70,5	23		16	-70,5	0	23
	4	-70,5	0	23		17	-70,5	0	-85
	5	-70,5	0	-68		18	-70,5	0	23
	6	-70,5	0	23	2	19	0	70,5	23
	7	0	70,5	23		20	0	70,5	-85
	8	0	70,5	-68		21	0	70,5	23
	9	0	70,5	23		22	70,5	0	23
	10	70,5	0	23		23	70,5	0	-85
	11	70,5	0	-68		24	70,5	0	23
	12	70,5	0	23					

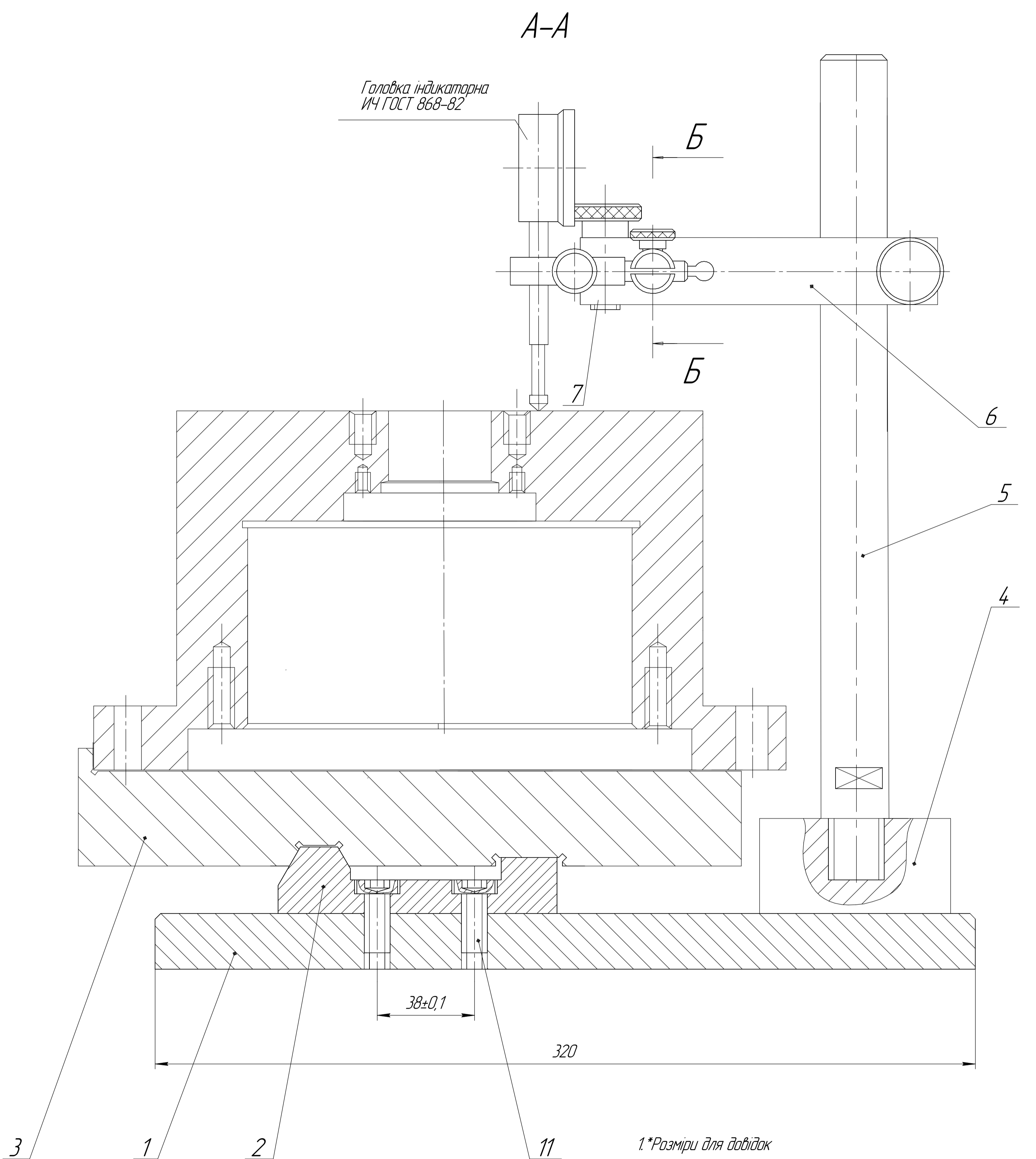
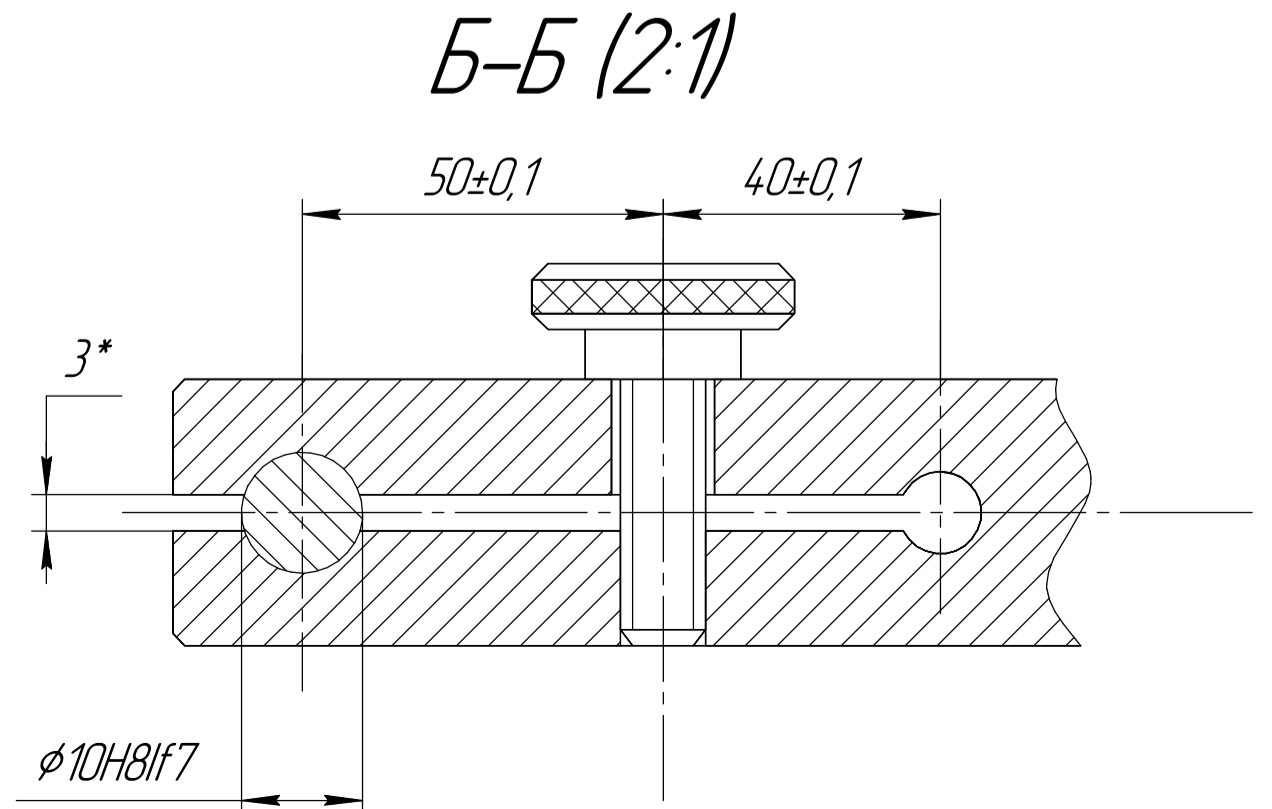
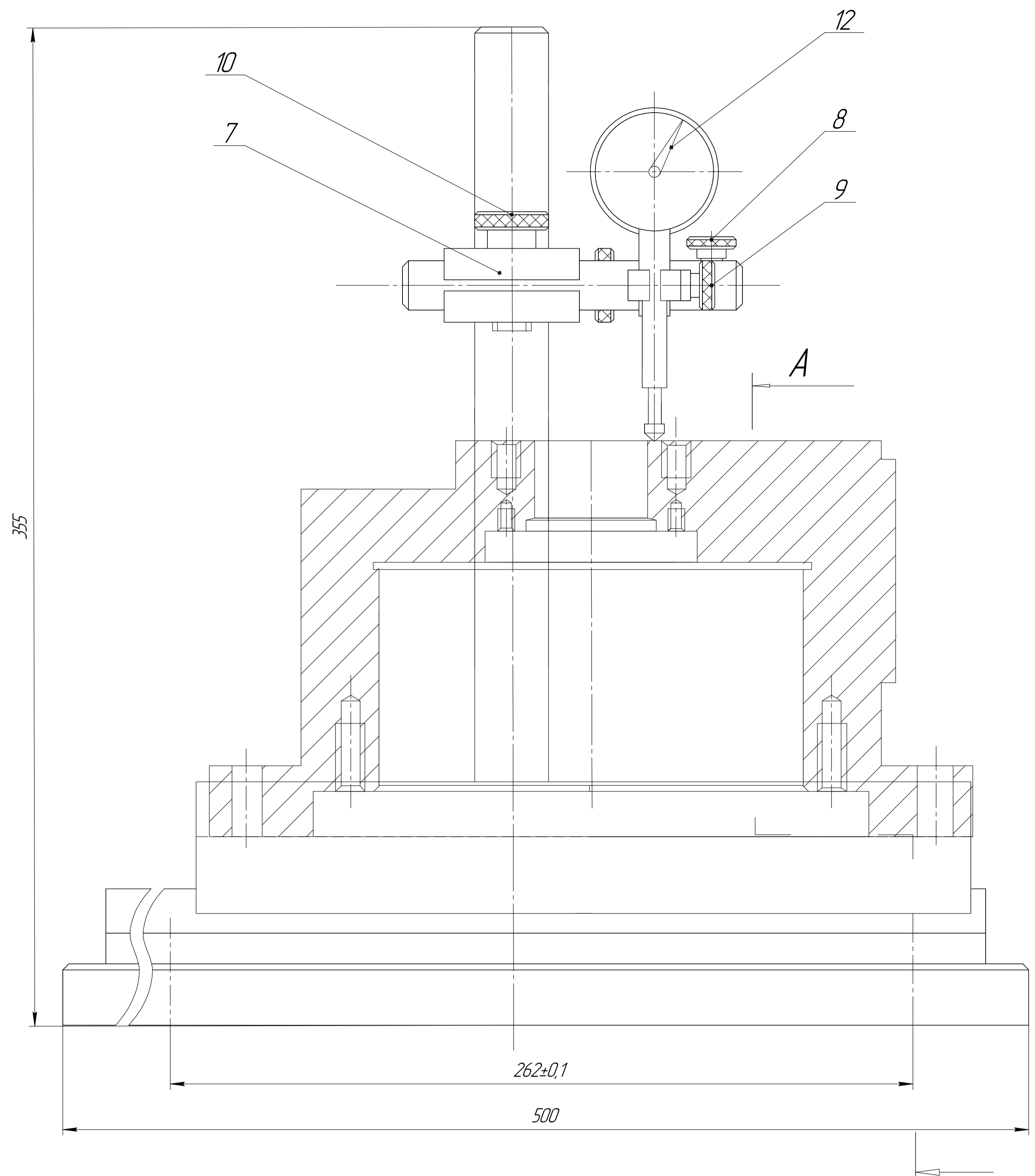
перехід 1								перехід 4							
Обробка на оброблювальному центрі моделі VF1 фірми «HAAS»	17	400	6,95	0,4	160	3,6	5,24	Обробка на оброблювальному центрі моделі VF1 фірми «HAAS»	17	400	6,95	0,4	160	3,6	5,24
Найменування та модель верстата	V ₁	n	t ₁	S ₁	S ₂	T _M	T _{шт.}	Найменування та модель верстата	V ₁	n	t ₁	S ₁	S ₂	T _M	T _{шт.}
	м/хв	об/хв	мм	мм/об	мм/хв	хв	хв		м/хв	об/хв	мм	мм/об	мм/хв	хв	хв

MR.ПМКМ - 008.00.000			
Карта наладки			
Зм. Арк.	№ докум.	Ліст.	Дата
Розроб.	Літобильський В.		
Перев.	Костюк Н.О.		
Т.контр.	Костюк Н.О.		
Реценз.	Костюк Н.О.		
Н.контр.	Ланчук В.Г.		
Затв.			
Літ.	Маса	Масштаб	
y	224	11	
Архив	Архив	1	
ІФНТУНГ			
зр. ПМКМ-24-1			



- 1. Обладнання верстат фрезерний з ЧПК;
- 2. Максимальне зусилля затиску 3879 Н;
- 3. * Розміри для довідок;
- 4. Неперпендикулярність осі штока до основи не більше 0,05 мм на 100 мм довжини.

					МР.ПМКМ - 008.00.000			
Зм.	Арж.	№ докум.	Підп.	Дата	Пристрій верстатний	Лист	Маса	Масштаб
Розроб.	Добровольський В.					8	2,5:1	
Лектор.	Костюк Н. О.					Аржув.	Архивув.	1
Т.контр.	Костюк Н. О.					ІФНТУНГ		
Реценз.	Костюк Н. О.					зр. ПМКМ-24-1		
Н.контр.	Костюк Н. О.							
Затв.	Панчук В. Г.							



- 1.*Разміри для довідок
- 2.Деталь поз.2 притерти до деталі поз.3.
- 3.Застосовувати для контролю паралельності поверхонь.
- 4.Точність вимірювання 0,02 мкм.

				МР.ПММ - 008.00.000			
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	Лист	Маса	Масштаб
Розроб		Дубровський В			12	11	
Перев		Костюк Н.О.			Архив		Архив
Т.контр.		Костюк Н.О.					1
Реценз.		Костюк Н.О.					ІФНТУНГ
Н.контр.		Панчук В.Г.					зр. ПММ-24-1
Затв.							

Дослідження впливу технологічного закріплення на напружено-деформований стан деталі при механічній обробці

МР.ПМЖ - 008.00.000

Метою дослідження є встановлення кількісного взаємозв'язку між схемами технологічного закріплення корпусної деталі та її напружено-деформованим станом шляхом чисельного моделювання методом скінченних елементів.

Актуальність дослідження полягає у можливості використання результатів чисельного аналізу для обґрунтованого вибору технологічних баз і схем закріплення на етапі проектування технологічного процесу, що дозволяє зменшити деформації, підвищити точність та знизити виробничий брак.

Об'єктом дослідження є деталь, виготовлена з сірого чавуну СЧ20, яка має складну просторову форму, систему отворів і посадочних поверхонь.

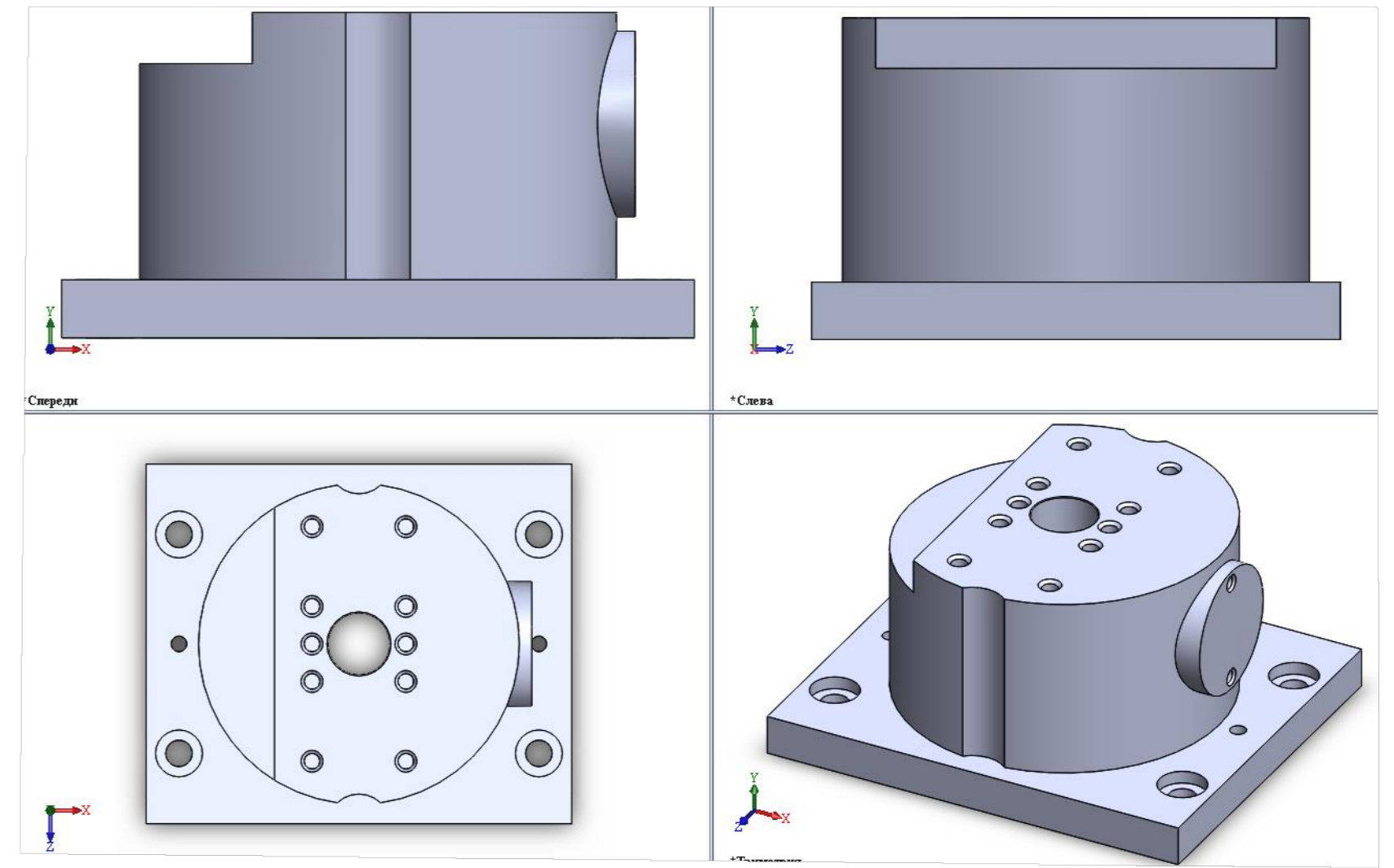
Предметом дослідження є напружено-деформований стан корпусної деталі, що виникає під дією експлуатаційних і технологічних навантажень за різних схем технологічного закріплення.

Матеріал моделі – чавун СЧ20 з такими механічними характеристиками: модуль пружності $1,1 \cdot 10^{11}$ Па; коефіцієнт Пуассона 0,26; границя міцності 200 МПа.

Скінченно-елементна сітка сформована з використанням тетраедричних елементів з локальним згущенням у зонах отворів і переходів перерізів.

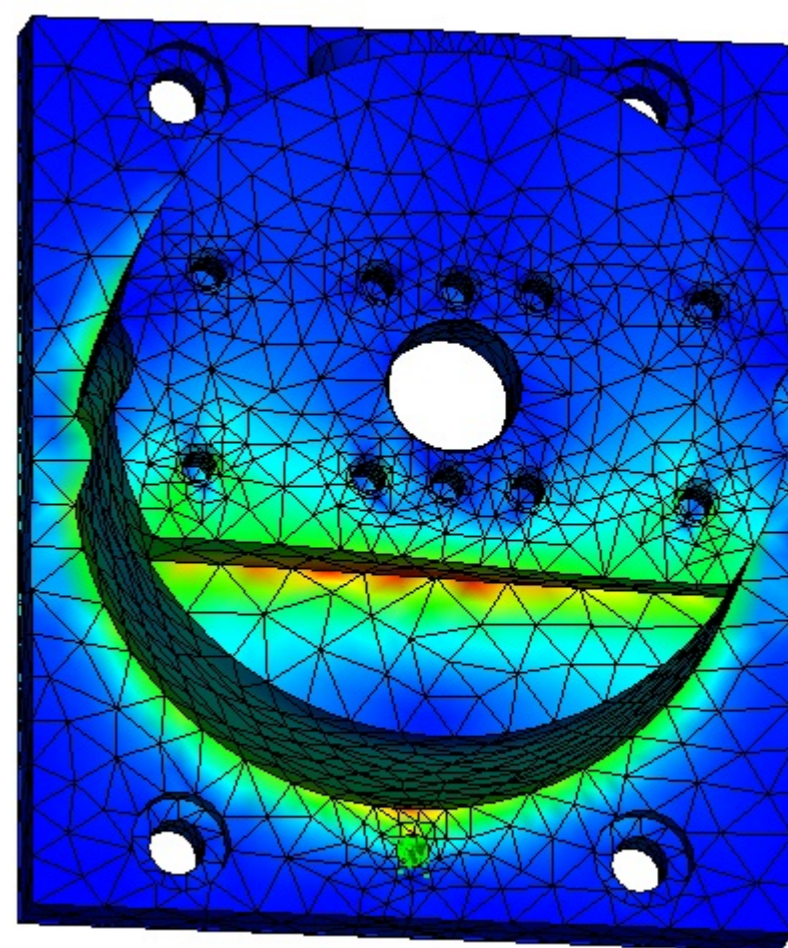
У роботі використано такі методи дослідження

- метод скінченних елементів;
- чисельне статичне моделювання;
- порівняльний аналіз результатів;
- графічна інтерпретація розрахункових даних.

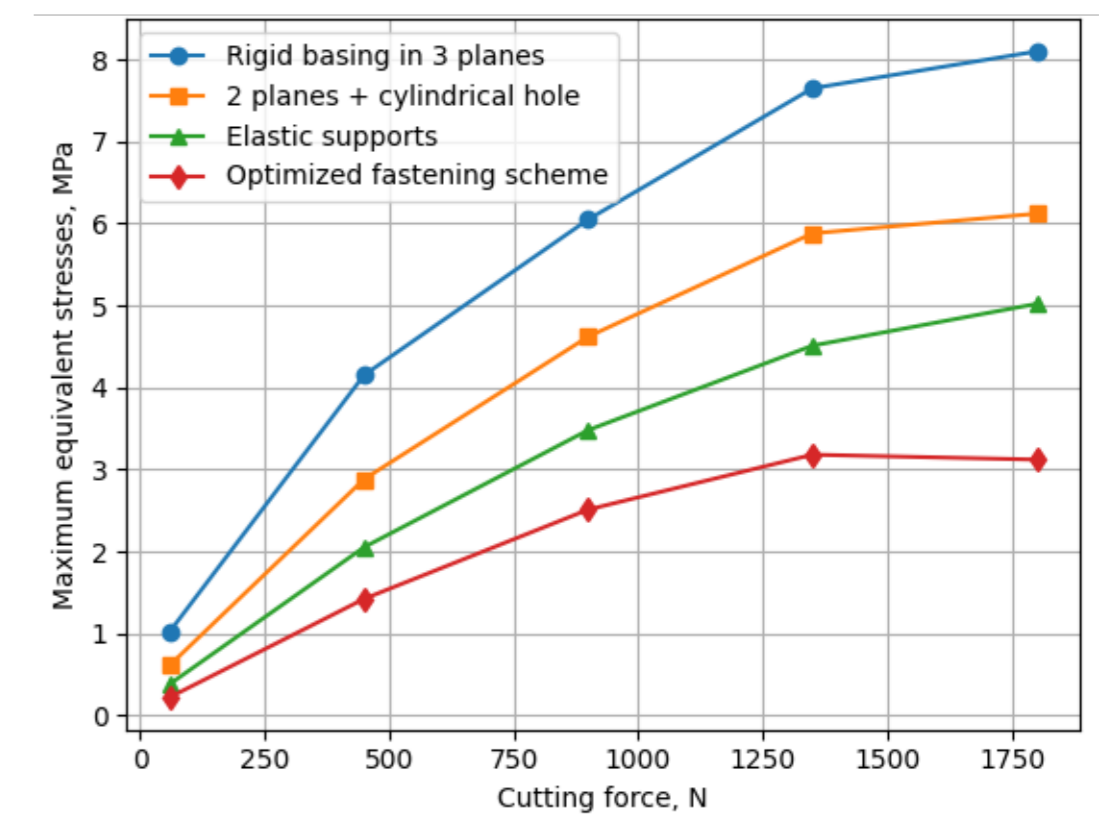
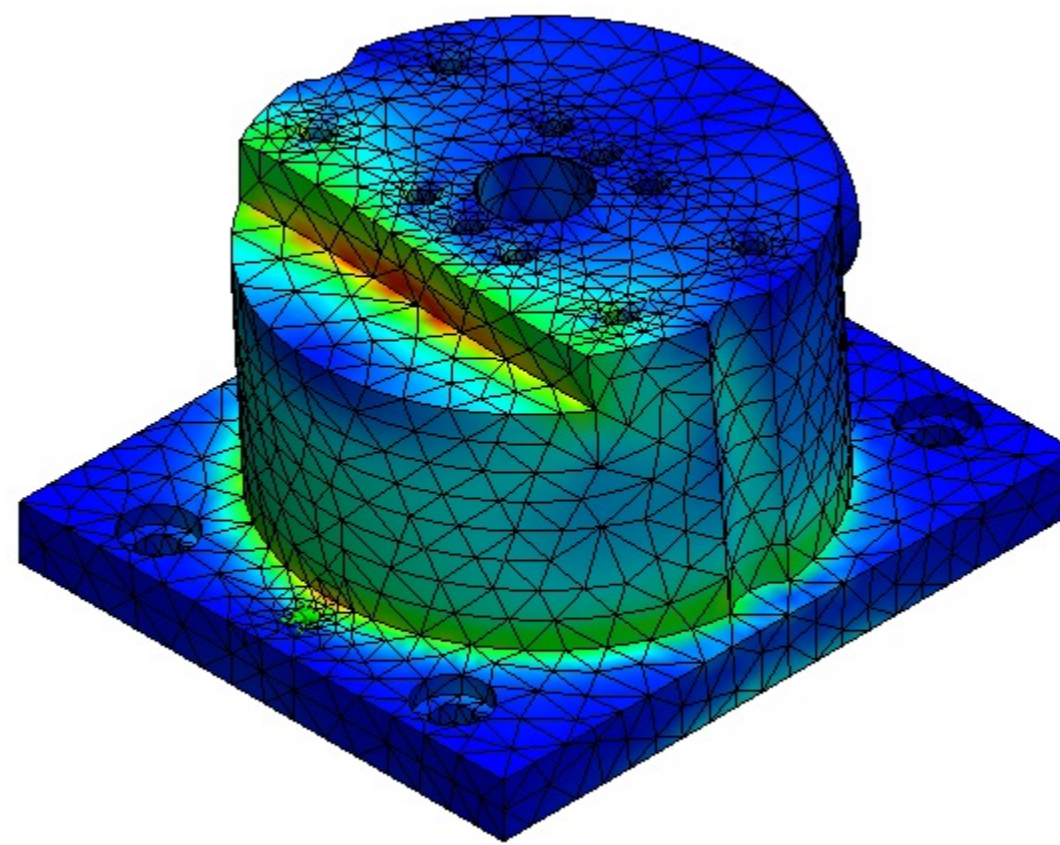


Параметрична 3D модель деталі Корпус

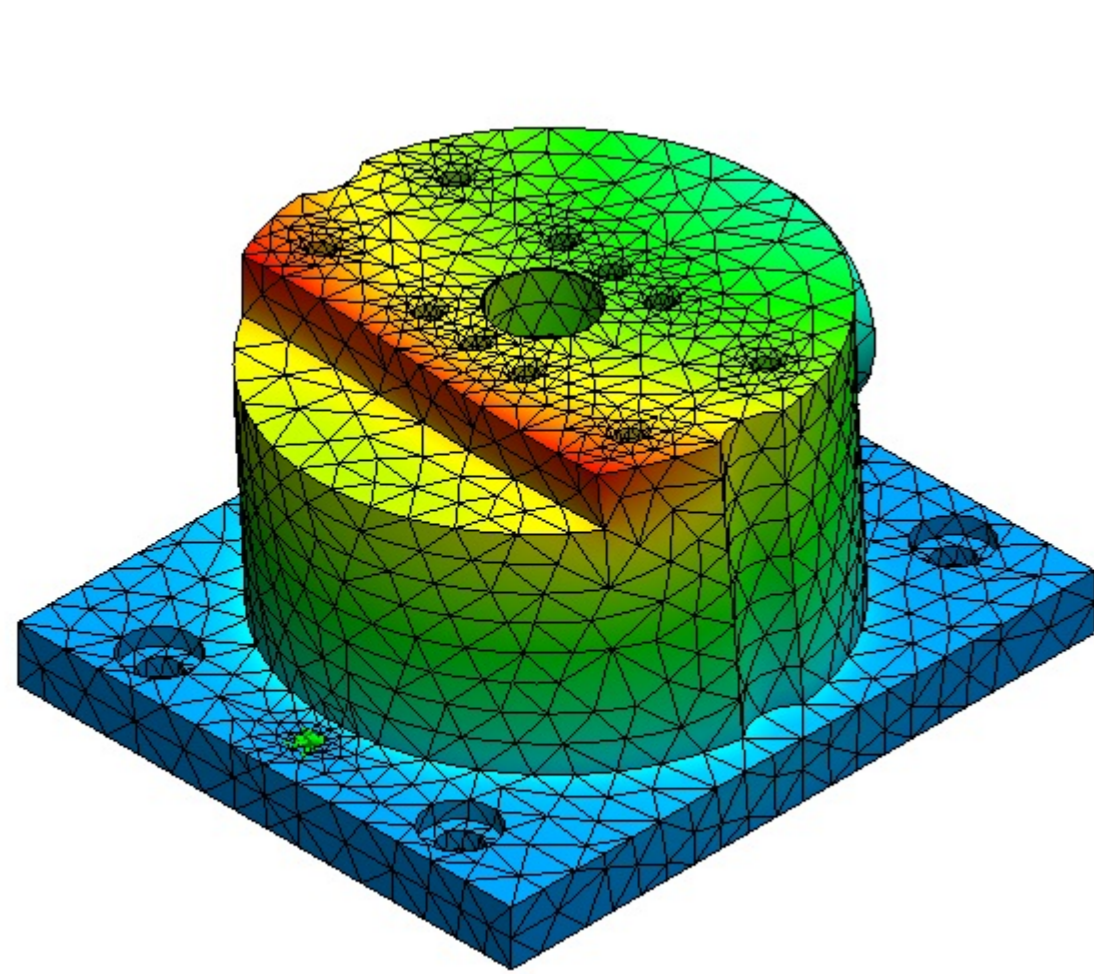
Результати впливу технологічного закріплення на напружено-деформований стан



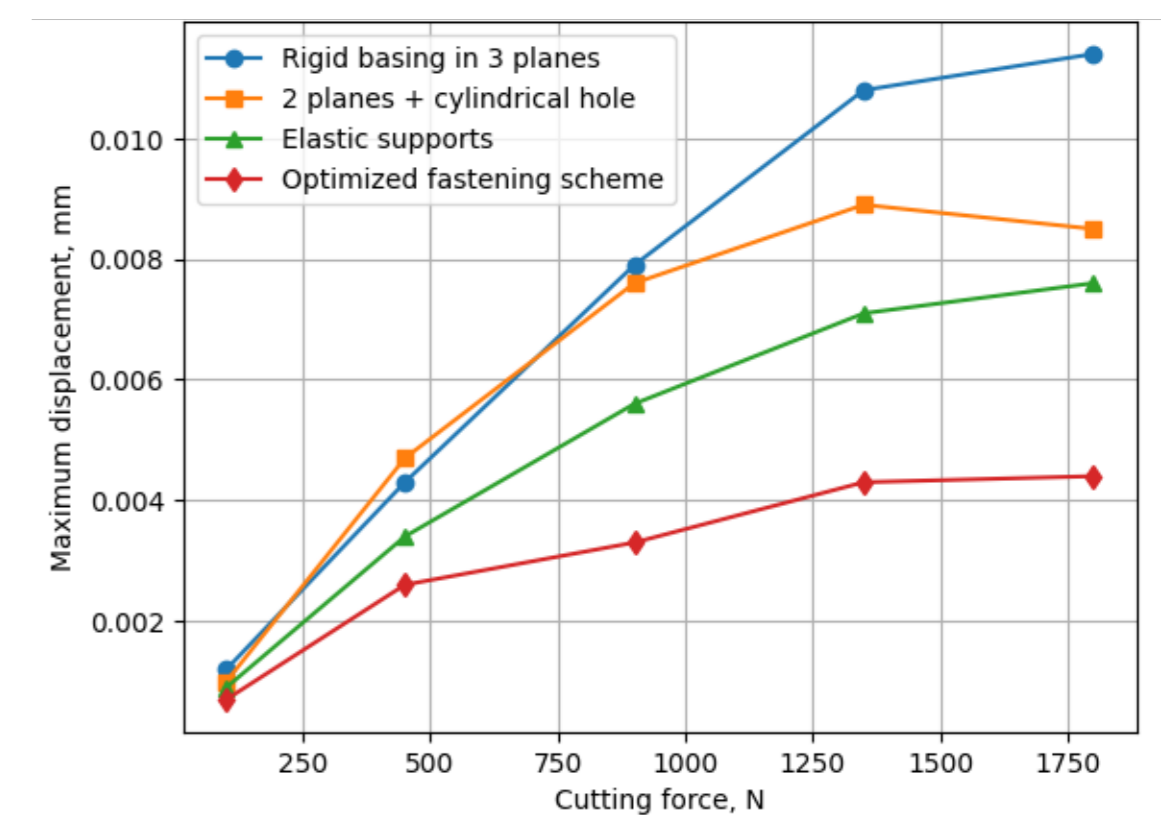
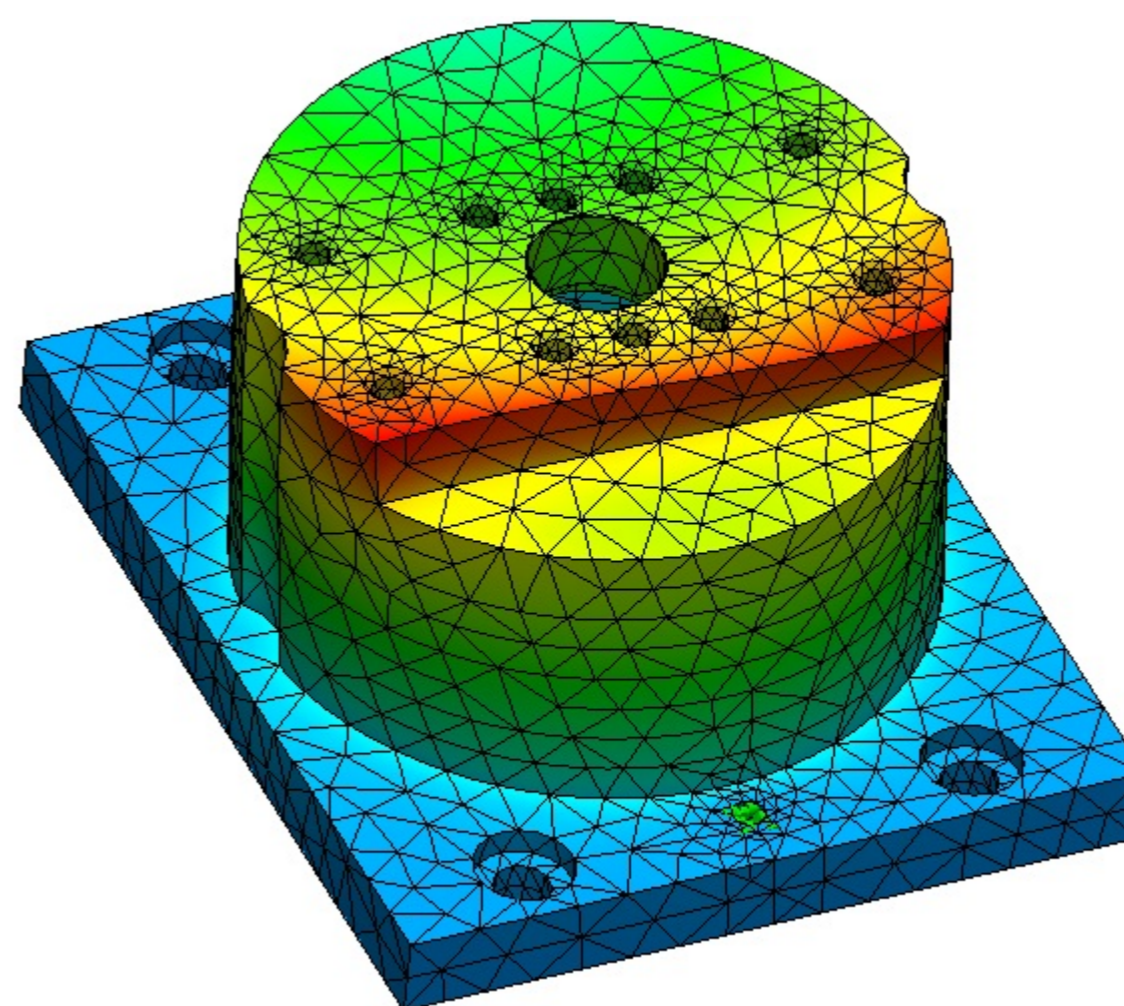
Поле еквівалентних напружень корпусу при жорсткому закріпленні



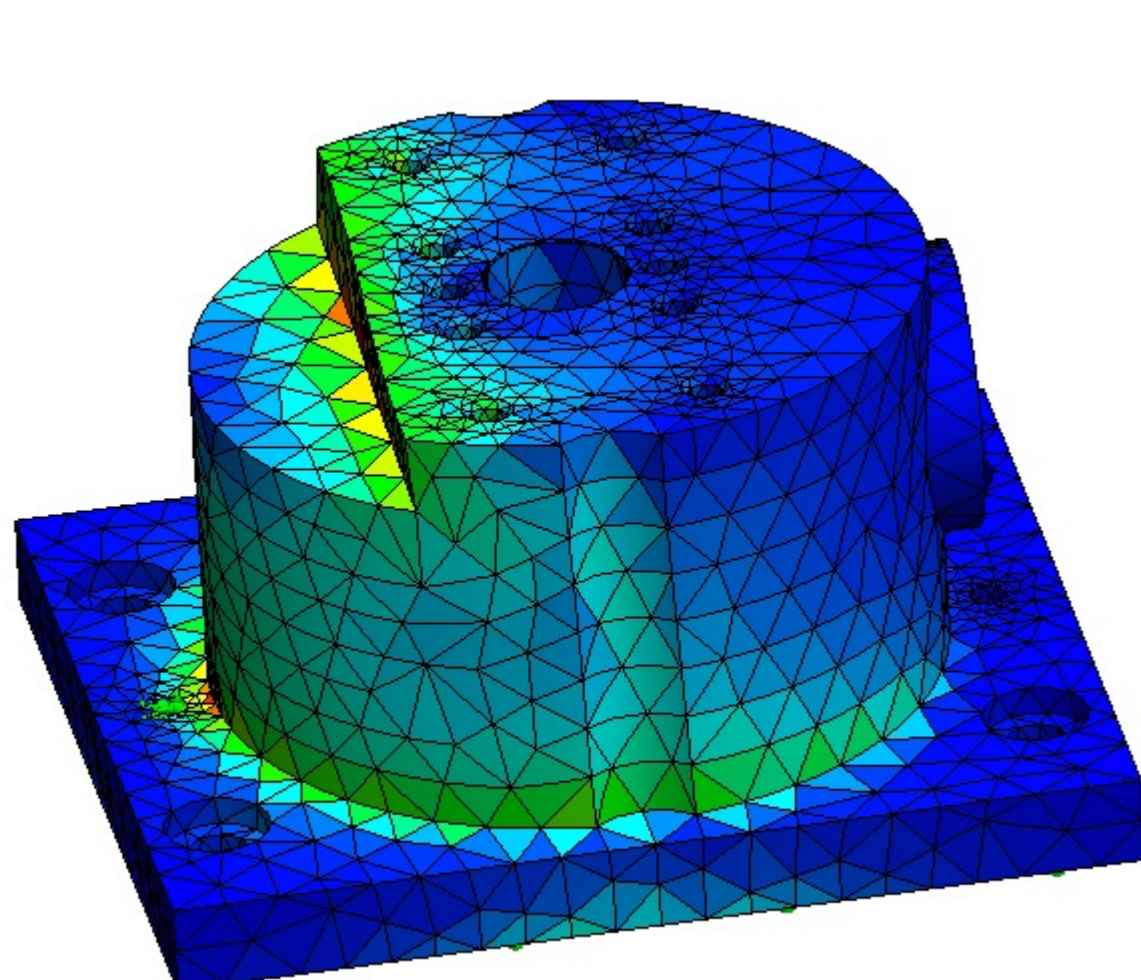
Залежність еквівалентних напружень від сили різання при механічній обробці



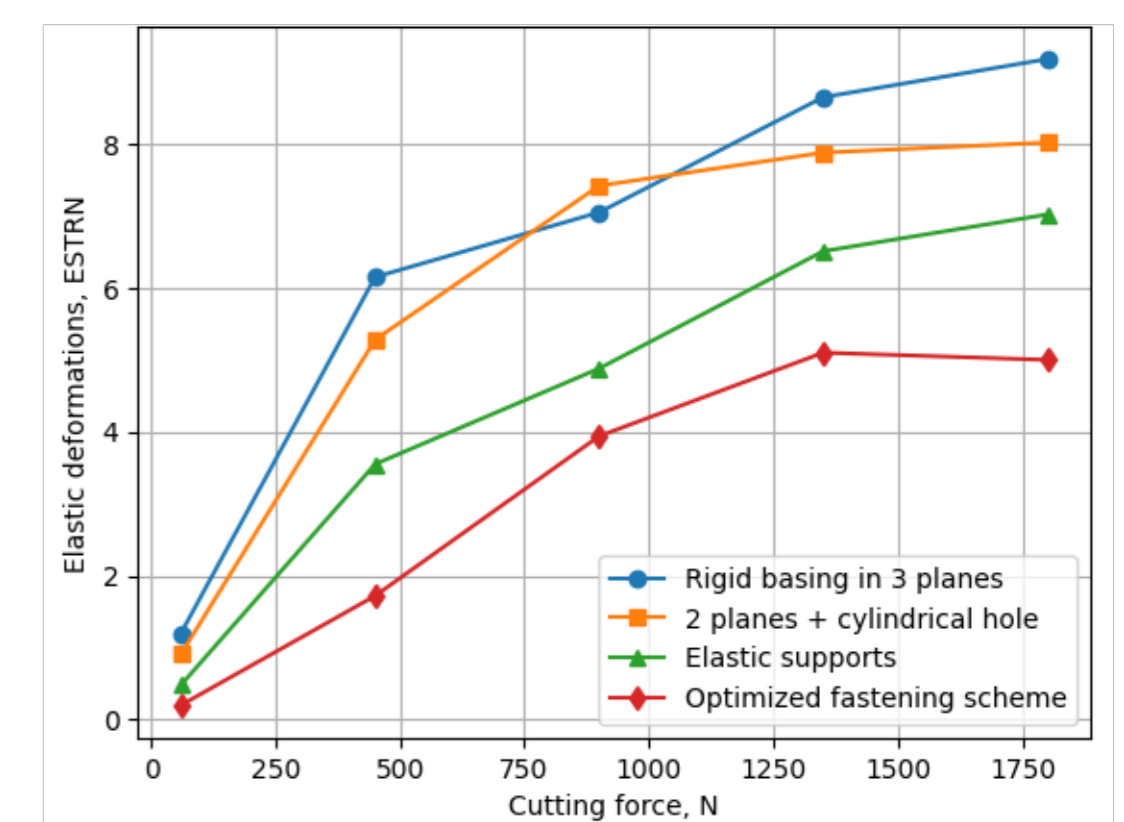
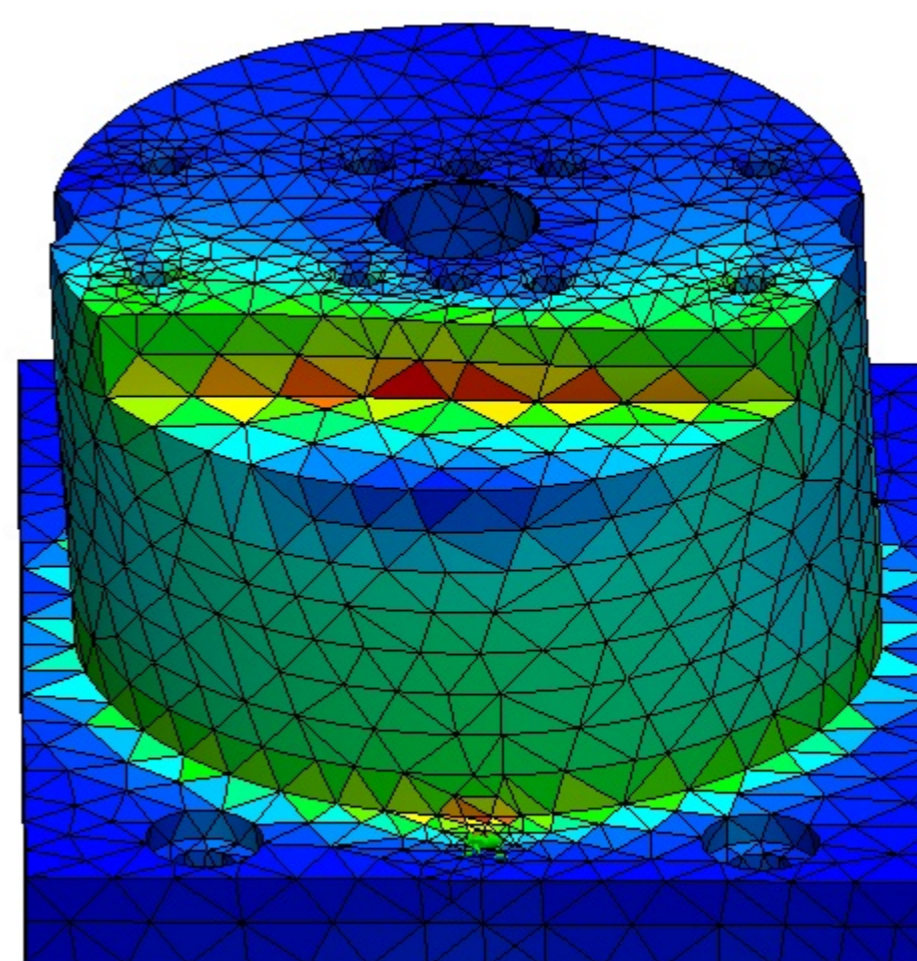
Переміщення при жорсткому закріпленні



Залежність переміщень від сили різання при механічній обробці



Деформації при жорсткому закріпленні



Залежність пружних деформацій від сили різання при механічній обробці

Отже виконано комплексне чисельне дослідження напружено-деформованого стану (НДС) корпусі. Шляхом імітаційного моделювання проаналізовано поведінку заготовки під дією сил різання та реакції опор, що дозволило оцінити вплив різних варіантів технологічного закріплення на кінцеву точність обробки.

Доведено високу ефективність та доцільність застосування методу скінченних елементів (МСЕ) для задач технологічної підготовки виробництва. Використання САЕ-систем дозволило ще на етапі проектування виявити зони концентрації напружень та критичних переміщень, які виникають при традиційних схемах базування, та обґрунтувати переваги оптимізованої схеми. Зокрема, встановлено, що раціональний вибір точок прикладання затискних зусиль і сил різання та крутних моментів дозволяє мінімізувати пружні деформації корпусу, забезпечуючи стабільність розмірних параметрів.

Отримані результати є вагомим підґрунтям для вдосконалення технологічних процесів виготовлення корпусних деталей у середньосерійному виробництві. Впровадження запропонованих рекомендацій дозволить знизити ймовірність браку, скоротити час на налагодження обладнання та підвищити загальну точність механічної обробки без додаткових матеріальних витрат на проведення натурних експериментів.

МР.ПМЖ - 008.00.000					Лист	Маса	Масштаб
Зм.	Арх.	№ док.	Підп.	Дата	Дослідження впливу технологічного закріплення на напружено-деформований стан деталі.	-	1:1
Розроб.	Лободзький В.					Архив	1
Лерев	Костюк Н. О.					ІФНТУНГ	
Т.контр.	Костюк Н. О.					зр. ПМЖ-24-1	
Реценз.	Костюк Н. О.						
Нхонтр.	Костюк Н. О.						
Затв.	Панчук В. Г.						