

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Інститут інженерної механіки та робототехніки
Кафедра комп'ютеризованого машинобудування

Ляхович Андрій Васильович
(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 621
(індекс)

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

Технологічний процес виготовлення деталі «Проміжна фланцева втулка ФВП.194.018-01» для умов середньосерійного типу виробництва.
(назва роботи)

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

131-Прикладна механіка
(шифр і назва спеціальності)

А. В. Ляхович
(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 та робототехніки

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**

Ляхович Андрій Васильович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Технологічний процес виготовлення деталі «Проміжна фланцева втулка ФВП.194.018-01» 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 Проміжна фланцева втулка ФВП.194.018-01, 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 наладки, 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)

Ляхович А.В.
(прізвище та ініціали).

Керівник роботи _____
(підпис)

Костюк Н. О.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

до магістерської кваліфікаційної роботи на тему: «Технологічний процес виготовлення деталі «Проміжна фланцева втулка ФВП.194.018-01» для умов середньосерійного типу виробництва»

Магістерська кваліфікаційна робота оформлена у вигляді пояснювальної записки обсягом 85 сторінок машинописного тексту. У роботі використано 24 ілюстрації та 16 таблиць. Перелік використаних джерел містить 22 найменування. Додаткова технічна документація представлена на 5 аркушах формату А4. Графічна частина роботи виконана на 6 аркушах формату А1. Об'єкт дослідження: Виробничий процес механічної обробки корпусних деталей складної конфігурації.

Об'єкт дослідження – технологічний процес механічної обробки деталей типу втулка..

Предмет дослідження: Удосконалення та оптимізація технологічного маршруту виготовлення деталі «Проміжна фланцева втулка ФВП.194.018-01» з метою забезпечення заданих показників якості та точності.

Мета та основні результати роботи. Основною метою магістерської кваліфікаційної роботи є розроблення раціонального технологічного процесу виготовлення деталі «Проміжна фланцева втулка ФВП.194.018-01», який забезпечує стабільне отримання продукції відповідно до вимог конструкторської документації. З урахуванням умов середньосерійного виробництва у роботі обґрунтовано оптимальне співвідношення між продуктивністю механообробки та економічною ефективністю процесу.

У процесі виконання роботи здійснено комплексний аналіз вихідних даних, що включає дослідження конструктивних особливостей деталі, аналіз існуючого базового технологічного процесу та методів отримання заготовок. На основі опрацювання нормативно-технічної документації та науково-технічних джерел розроблено новий варіант технологічного маршруту виготовлення деталі, в межах якого:

обґрунтовано вибір типу заготовки з метою зменшення обсягу знімання матеріалу та скорочення машинного часу;

виконано розрахунок міжопераційних припусків на обробку;

визначено оптимальні режими різання та розраховано технічно обґрунтовані норми часу для кожної операції механічної обробки.

Значну увагу приділено конструкторській частині роботи, спрямованій на підвищення продуктивності праці та забезпечення безпечних умов експлуатації обладнання. Спроектовано спеціальний верстатний пристрій, доцільність застосування якого підтверджена інженерними розрахунками, наведеними в пояснювальній записці. Для підвищення об'єктивності контролю якості розроблено контрольний пристрій, що мінімізує вплив суб'єктивного чинника під час перевірки готових деталей.

Наукова новизна та дослідження: У науково-дослідному розділі виконано аналіз напружено-деформованого стану заготовки. Проведено дослідження втомної міцності деталі «Проміжна фланцева втулка ФВП.194.018-01» за умов дії комбінованих навантажень.

Повний комплект технологічної документації, зокрема маршрутні та операційні карти, а також специфікації на спроектоване технологічне оснащення, наведено в додатках до роботи.

Практичне значення. Запропоновані технологічні та конструкторські рішення можуть бути безпосередньо впроваджені на машинобудівних підприємствах, що спеціалізуються на виготовленні корпусних деталей, та сприяють підвищенню економічної ефективності виробництва.

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

Студент: *Ляхович А.В.*

SUMMARY

of the Master's Qualification Thesis on the topic: "Technological Process for Manufacturing the Part 'Intermediate Flanged Bushing ФБП.194.018-01 under Medium-Scale Production Conditions'"

The master's qualification thesis is presented in the form of an explanatory note comprising 85 pages of typewritten text. The work contains 24 figures and 16 tables. The list of references includes 22 sources. Additional technical documentation is provided on 5 A4 sheets. The graphical part of the thesis consists of 6 A1 sheets.

Object of the study: the production process of machining housing-type parts with complex geometry.

Object of the study: the technological process of machining bushing-type parts.

Subject of research: improvement and optimization of the technological route for manufacturing the part "Intermediate Flanged Bushing ФБП.194.018-01" in order to ensure the specified quality and accuracy parameters

Purpose and main results of the work: The main purpose of the master's qualification thesis is to develop a rational technological process for manufacturing the part "Intermediate Flanged Bushing ФБП.194.018-01", which ensures stable production in compliance with the requirements of the design documentation. Taking into account the conditions of medium-scale production, the study substantiates an optimal balance between machining productivity and economic efficiency of the process.

During the execution of the work, a comprehensive analysis of the initial data was carried out, including an investigation of the design features of the part, analysis of the existing baseline technological process, and methods of obtaining blanks. Based on the study of regulatory, technical, and scientific sources, a new version of the technological manufacturing route was developed, within which:

the selection of the blank type was justified in order to reduce material removal volume and machining time;

interoperation machining allowances were calculated;

optimal cutting conditions were determined and technically justified time standards were calculated for each machining operation.

Considerable attention was paid to the design section of the thesis, aimed at increasing labor productivity and ensuring safe operating conditions of the equipment. A special machine fixture was designed, the feasibility of which is confirmed by engineering calculations presented in the explanatory note. To ensure objective quality control, a measuring fixture was developed that minimizes the influence of the subjective factor during inspection of finished parts.

Scientific novelty and research: In the research section, an analysis of the stress-strain state of the workpiece was performed. The fatigue strength of the part "Intermediate Flanged Bushing ФБП.194.018-01" under combined loading conditions was investigated.

The complete set of technological documentation, including route sheets, operation sheets, and specifications for the designed technological tooling, is provided in the appendices..

Practical significance: The proposed technological and design solutions can be directly implemented at machine-building enterprises specializing in the production of housing-type parts and contribute to increasing the economic efficiency of manufacturing.

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

Student: *Liakhovych A.V.*

ЗМІСТ

Вступ.....	8
1. КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ.....	10
1.1 Аналіз призначення і конструкції деталі.....	10
1.2 Аналіз технологічності конструкції деталі.....	16
1.3 Визначення річної програми та кількості деталей в партії.....	21
2. ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ...	24
2.1 Аналіз базового технологічного процесу і розробка маршрутної технології.....	24
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.....	36
2.2.1 Розрахунок припусків на механічну обробку і визначення технологічних розмірів.....	36
2.2.2 Розрахунок режимів різання і норм часу.....	38
2.3. Аналіз точності обробки.....	47
2.4 Проектування керуючої програми обробки на верстаті з ЧПК.....	53
3. ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ОСНАСТКИ.....	57
3.1 Проектування верстатного пристрою.....	57
3.1.1 Опис роботи пристрою.....	57
3.1.2 Розрахунок необхідних сил закріплення та приводу пристрою.....	57
3.1.3. Підбір виду затискача та визначення його конструктивних параметрів.....	60

					МР.ПМКМ– 018.00.000 ПЗ				
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Пояснююча записка	Літ.	Арк.	Аркушів	
Розроб.		Ляхович А. В.						6	
Перевір.		Костюк Н. О.							
Реценз.									
Н. Контр.		Костюк Н. О.							
Затверд.		Панчук В.Г.				ІФНТУНГ гр. ПМКМ-24-1			

3.1.4 Проводиться детальний розрахунок на міцність та зносостійкість для найбільш навантажених та рухомих елементів верстатного пристрою.....	61
3.1.5 Розрахунок опорних елементів на зносостійкість.....	62
3.2 Розробка контрольного пристрою.....	63
3.2.1 Призначення, будова та принцип роботи пристрою.....	63
3.2.2 Визначення похибки вимірювання.....	63
3.3 Проектування інструмента (спірального свердла Ø18мм).....	67
4. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА.....	70
Дослідження втомної міцності фланцевої втулки при комбінованому навантаженні	
5. ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	79
6. ДОДАТКИ.....	81
Креслення різального інструменту.....	82
Специфікації складальних креслень.....	84
7. ГРАФІЧНА ЧАСТИНА	
1. Деталь (лист формату A2)	
2. Заготовка (лист формату A2)	
3. Карта наладки (лист формату A1)	
4. Аналіз точності (лист формату A1)	
5. Верстатний пристрій (лист формату A1)	
6. Контрольний пристрій (лист формату A1)	
7. Науково-дослідна (лист формату A1)	
(Всього 6 листів формату A1)	

ВСТУП

Сучасний рівень розвитку машинобудівного виробництва висуває нові, більш жорсткі вимоги до технологій виготовлення продукції. В умовах ринкової економіки конкурентоспроможність підприємства визначається не лише високою якістю виробів, але й здатністю мінімізувати витрати на їх виробництво та скорочувати терміни виходу на ринок. Особливої актуальності ці питання набувають в умовах середньосерійного виробництва, де необхідно поєднувати гнучкість універсальних технологій з продуктивністю спеціалізованого обладнання. Саме тут прихований значний резерв підвищення ефективності через впровадження прогресивних методів обробки, сучасного інструменту та верстатів з числовим програмним керуванням.

Значну частку в номенклатурі виробів загального машинобудування складають деталі класу «тіла обертання», зокрема втулки та фланці складної конфігурації. Вони є відповідальними елементами конструкцій, що забезпечують точність базування, герметичність та надійність з'єднань вузлів машин. Виготовлення таких деталей часто пов'язане з низкою технологічних труднощів, викликаних високими вимогами до точності розмірів, форми та взаємного розташування поверхонь, а також необхідністю забезпечення специфічних фізико-механічних властивостей матеріалу.

У даній магістерській роботі розглядається технологічний процес виготовлення деталі «Проміжна фланцева втулка ФВП.194.018-01». Аналіз конструкторської документації свідчить про те, що ця деталь належить до категорії складних виробів, які вимагають застосування комбінованих методів обробки. Наявність жорстких допусків на радіальне биття та перпендикулярність торцевих поверхонь, високі вимоги до шорсткості посадочних місць, а також необхідність виконання термообробки створюють комплексне технологічне завдання. Вирішення цього завдання в рамках застарілих технологічних схем призводить до збільшення трудомісткості, появи браку та непродуктивних витрат часу на слюсарні та доводжувальні операції.

					МР.ПМКМ– 018.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тому розробка удосконаленого технологічного процесу для умов середньосерійного виробництва є своєчасним та необхідним кроком. Основна ідея роботи полягає у створенні такої технології, яка б дозволила максимально реалізувати можливості сучасного металорізального обладнання, забезпечити концентрацію операцій та підвищити точність обробки за рахунок зменшення похибок базування.

У роботі буде проведено детальний аналіз технологічності конструкції втулки, обґрунтовано вибір методу отримання заготовки, який дозволить підвищити коефіцієнт використання металу, та розроблено маршрут механічної обробки. Окрему увагу буде приділено розрахунку режимів різання, нормуванню технологічних операцій та проектуванню спеціального верстатного оснащення, що є критично важливим для забезпечення стабільності технологічного процесу. Реалізація запропонованих рішень дозволить не лише досягти необхідних показників якості згідно з кресленням, але й підвищити загальну техніко-економічну ефективність виготовлення даної деталі.

					МР.ПМКМ= 018.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ

1.1 Аналіз призначення і конструкції деталі

Деталь «Проміжна фланцева втулка» (креслення *ФВП.194.018-01*) є відповідальним елементом конструкції машинобудівного виробу і, судячи з назви та конструктивних особливостей, призначена для забезпечення точного з'єднання та центрування двох суміжних вузлів (ймовірно, корпусної частини та валу або іншої обертової деталі). Вона виконує роль проміжної ланки, яка може сприймати радіальні та осьові навантаження, а також слугувати корпусом для підшипників або ущільнень.

Конструктивна характеристика. З точки зору класифікації, дана деталь належить до класу «тіла обертання», підкласу «втулки з фланцем». Конструкція деталі є достатньо складною і включає наступні основні елементи:

1. Зовнішні поверхні: Основним базовим елементом є циліндрична поверхня фланця діаметром $\varnothing 320$ мм; Посадочна циліндрична шийка має діаметр $\varnothing 220H11$ (поле допуску за 11 квалітетом, система отвору), що свідчить про не надто жорсткі вимоги до посадки по зовнішньому діаметру; Загальна довжина деталі становить 190 мм, при цьому довжина посадочної частини — 75 мм, а товщина фланця — 25 мм.

2. Внутрішні поверхні: Основним конструкторським елементом є центральний наскрізний отвір ступінчастої форми. Найбільш точним є отвір діаметром $\varnothing 184H8$. Квалітет H8 вказує на високу точність виготовлення, що характерно для посадочних місць під підшипники кочення або ковзання.; Також наявна внутрішня розточка діаметром $\varnothing 205H11$ та $\varnothing 206$ (без вказання точності), що утворюють внутрішні порожнини, ймовірно, для розміщення мастила або полегшення конструкції.

3. Елементи кріплення та додаткові конструктивні особливості: На торці фланця розташовані 3 кріпильні отвори $\varnothing 18$ мм, рівномірно розподілені по колу діаметром $\varnothing 280$ мм. На ці отвори накладено допуск позиційного розташування $\varnothing 0.2$ мм (залежний допуск), що гарантує збираємість.; На

					МР.ПМКм= 018.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

протилежаючому торці передбачено 6 різьбових отворів М6-7Н, розташованих на діаметрі \varnothing 218 мм. Вони, ймовірно, слугують для кріплення кришки або фіксатора.; Характерною особливістю деталі є наявність радіального пазу шириною 20 мм, розташованого під кутом 30° до горизонтальної осі. Паз має складну геометрію і проходить через фланець, що вимагає застосування фрезерної обробки.

Вимоги до точності та якості поверхонь показує наявність високих вимог до якості виготовлення: *Шорсткість:* Найбільш відповідальні поверхні (посадочні отвори та торці) мають шорсткість Ra 1.6 та Ra 3.2 мкм. Інші оброблювані поверхні повинні відповідати Ra 6.3 мкм.; *Геометрична точність:* Допуск перпендикулярності торця фланця відносно базової осі А становить 0,04 мм.; Допуск радіального биття внутрішньої поверхні \varnothing 205Н11 відносно осі А становить 0,05 мм.; Зазначені допуски форми та розташування свідчать про високі вимоги до співвісності елементів та площинності стикових поверхонь.

Матеріал деталі. Деталь виготовляється зі сталі 40Х ДСТУ 7806:2015 [табл.1.1, 1.2]. Це конструкційна легована хромиста сталь. Матеріал характеризується високою міцністю, твердістю та зносостійкістю після термічної обробки. Згідно з пунктом 1 технічних вимог, деталь повинна мати твердість *НВ 240...280*. Такий діапазон твердості зазвичай досягається шляхом покращення (гартування з високим відпуском). Це забезпечує оптимальне поєднання міцності та в'язкості металу. Сталь 40Х відноситься до важкозварюваних та схильних до відпускнуї крихкості матеріалів. Оброблюваність різанням у загартованому стані (НВ 240...280) задовільна, проте вимагає використання інструменту з твердих сплавів або мінералокераміки.

					МР.ПМКМ= 018.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1 - Хімічний склад сталі 40Х (за ДСТУ 7806:2015)

Елемент	Хімічний символ	Вміст, % (діапазон)	Функціональне призначення елемента
1	2	3	4
Вуглець	C	0,36 – 0,44	Визначає твердість і міцність. Необхідний для процесу гартування.
Кремній	Si	0,17 – 0,37	Підвищує межу плинності; сприяє розкисленню сталі.
Марганець	Mn	0,50 – 0,80	Підвищує міцність, зносостійкість; знижує крихкість.
Хром	Cr	0,80 – 1,10	Основний легуючий елемент. Підвищує твердість, міцність, прогартуваність і стійкість до корозії.
Нікель	Ni	до 0,40	Залишковий вміст. Підвищує в'язкість сталі.
Мідь	Cu	до 0,30	Залишковий вміст. Може впливати на властивості при нагріванні.
Сірка	S	до 0,035	Шкідлива домішка. Знижує пластичність (ризик червоноламкості).
Фосфор	P	до 0,035	Шкідлива домішка. Викликає крихкість (ризик холодноламкості).

Таблиця 1.2 - Механічні властивості сталі 40Х (за ДСТУ 7806:2015)

Показник	Одиниця виміру	Типове значення	Пояснення для деталі
1	2	3	4
Межа міцності	МПа	850 – 1000	Максимальна напруга, яку може витримати матеріал до руйнування. Високе значення підтверджує надійність деталі.
Межа плинності	МПа	650 – 800	Напруга, при якій починаються незворотні пластичні деформації. Визначає стійкість до залишкових деформацій.
Відносне видовження	%	10 – 14	Характеризує пластичність матеріалу. Дозволяє деталі витримувати удари та локальні перевантаження без крихкого руйнування.
Відносне звуження	%	45 – 55	Також показник пластичності. Високе значення вказує на гарну в'язкість після покращення.
Ударна в'язкість	Дж/см ²	60 – 85	Здатність матеріалу поглинати механічну енергію в зоні концентрації напружень.
Твердість	НВ	240 – 280	Фактична вимога креслення. Досягається термічною обробкою (покращення) та забезпечує зносостійкість поверхні.

									Арк.
									12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МР.ПМКМ– 018.00.000 ПЗ				

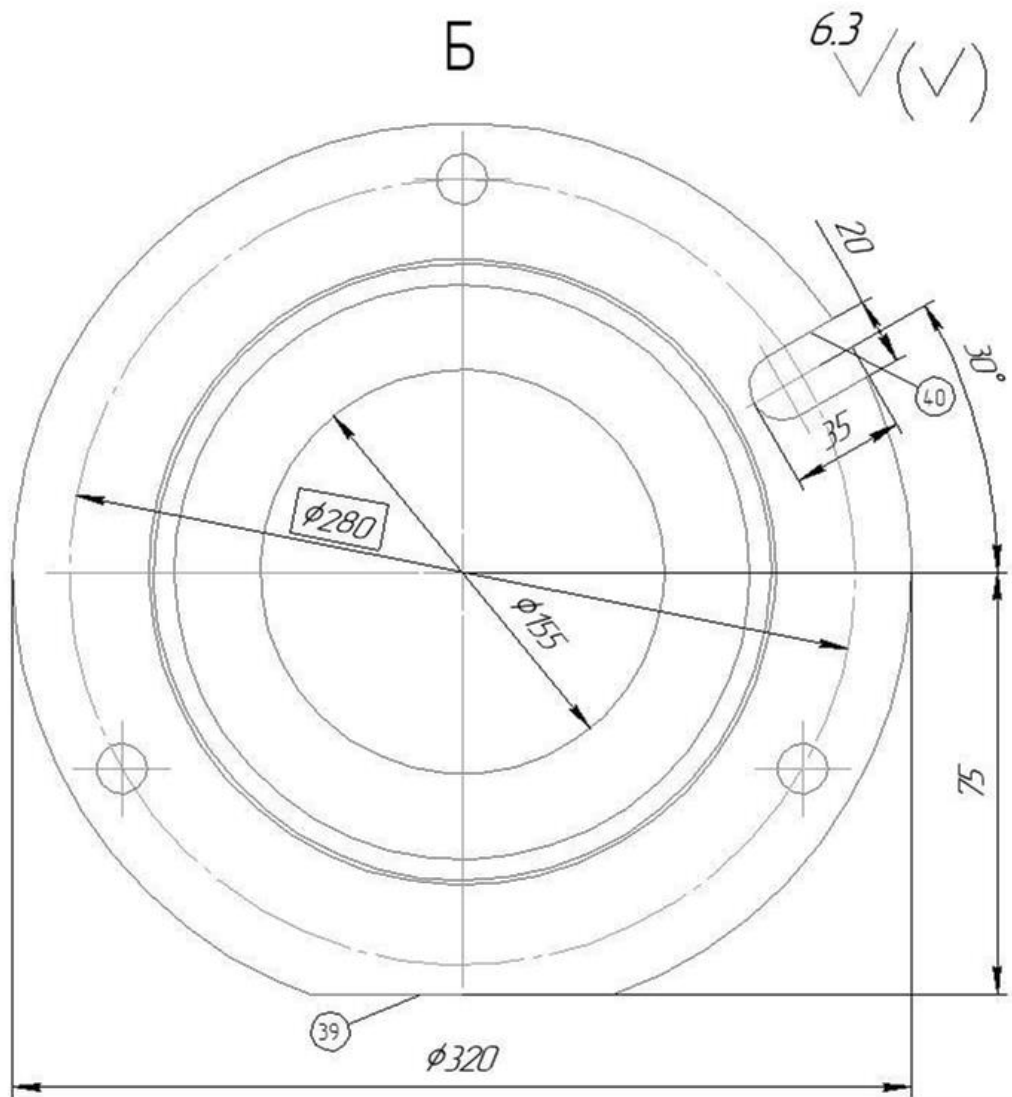


Рис.1 Ескіз деталі «Проміжна фланцева
втулка ФВП.194.018-01» (сталь 40Х ДСТУ 7806:2015)
з висеною нумерацією поверхонь.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МР.ПМКМ= 018.00.000 ПЗ

Арк.

15

1.2 Аналіз технологічності конструкції деталі

Аналіз технологічності конструкції деталі «Проміжна фланцева втулка ФВП.194.018-01» доцільно виконувати за кількома ключовими критеріями, згідно блок схеми:



Оцінка можливості виготовлення заготовки

Технологічність конструкції деталі «Проміжна фланцева втулка ФВП.194.018-01» за параметром «*можливість виготовлення заготовки*» визначається вибором матеріалу та методу отримання заготовки, які забезпечують оптимальні витрати ресурсів на виготовлення й подальшу експлуатацію деталі за умови дотримання встановлених вимог до якості, обсягів виробництва та умов виконання робіт.

Для деталей, виготовлених зі сталі 40Х, що мають конфігурацію, подібну до деталей типу фланцевих втулок, в умовах середньосерійного виробництва найбільш раціональним способом отримання заготовки є штампування.

Згідно з ДСТУ 7806:2015, сталь 40Х належить до другої групи матеріалів (із масовою часткою вуглецю 0,35–0,65 %) та характеризується доброю придатністю до гарячого деформування, зокрема гарячого прокатування та штампування.

					МР.ПМКМ– 018.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Отже, технологічність деталі «Проміжна фланцева втулка ФВП.194.018-01» за параметром «*можливість виготовлення заготовки*» оцінюється як задовільна.

Визначення рівня необхідної точності

Технологічність конструкції деталі за критерієм «точність» визначається таким вибором параметрів точності поверхонь, який забезпечує раціональні витрати ресурсів на виготовлення та подальшу експлуатацію виробу за умови дотримання необхідних показників якості, запланованого обсягу виробництва та встановлених умов виконання робіт.

Оцінювання точності деталі проміжна фланцева втулка *ФВП.194.018-01* здійснюватимемо на основі аналізу середнього рівня точності її поверхонь.

Таблиця 1.4 – Точність поверхонь деталі «Проміжна фланцева втулка»

Квалітет точності	Кількість поверхонь	$T_i \cdot n_i$
7	6	42
8	1	8
11	2	22
14	31	406
	$\Sigma n_i = 40$	$\Sigma T_i \cdot n_i = 478$

Середня точність поверхонь становить:

$$T_{\text{ср}} = \frac{\sum T_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{478}{40} = 11.95$$

де T_i - квалітет точності; n_i – кількість поверхонь.

Коефіцієнт точності:

$$K_{\text{т.ч}} = 1 - \frac{1}{T_{\text{ср}}}$$

$$K_{\text{т.ч}} = 1 - \left(\frac{1}{11,95} \right) = 0,92$$

Оскільки коефіцієнт точності $K_{\text{т.ч}} = 0,92$ є більший за 0,6, то **деталь технологічна** по параметру рівня необхідної точності.

					МР.ПМКМ= 018.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Вимоги до параметрів шорсткості поверхонь

Технологічність конструкції за показником «шорсткість поверхні» визначається таким добром параметрів чистоти поверхонь, який дозволяє забезпечити раціональні витрати ресурсів під час виготовлення деталі проміжна фланцева втулка ФВП.194.018-01 та її подальшої роботи, водночас гарантуючи необхідний рівень якості, відповідний обсяг виробництва та умови виконання технологічних операцій.

Таблиця 1.5 – Шорсткість поверхонь деталі «Проміжна фланцева втулка»

Клас шорсткості Ra, мкм	Кількість поверхонь	$Ш_i \cdot n_i$
1,6 (6)	2	3,2
3.2 (5)	7	22,4
6.3 (4)	31	195,3
	$\Sigma n_i = 40$	$\Sigma Ш_i \cdot n_i = 220,9$

Середня шорсткість становить:

$$Ш_{cp} = \frac{\sum Ш_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{220,9}{40} = 5,52$$

де $Ш_i$ - клас шорсткості, мкм; n_i – кількість поверхонь.

Коефіцієнт шорсткості:

$$K_{ш} = 1 - \frac{1}{Ш_{cp}}$$

$$K_{ш} = 1 - \left(\frac{1}{5,52} \right) = 0,82$$

Оскільки коефіцієнт шорсткості $K_{ш} = 0,82$ є більший за 0,3, то **деталь технологічна** по параметру рівня необхідної шорсткості.

Характеристика оброблюваності матеріалу під час різання.

Оброблюваність під час механічної обробки визначає, наскільки легко матеріал піддається різанню та які режими різання можуть застосовуватися без надмірного зношування інструменту. Для деталі «Проміжна фланцева втулка ФВП.194.018-01», виготовленої зі сталі 40Х, цей показник має важливе значення, оскільки впливає на тривалість обробки, якість поверхонь та вибір

					МР.ПМКМ– 018.00.000 ПЗ	Арк. 18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

інструментального оснащення.

Сталь 40X після термічного покращення набуває твердості HB 240–280, що обумовлює роботу в умовах підвищеної міцності матеріалу. Такі механічні властивості сприяють збільшенню сил різання та тепловиділення у зоні контакту інструмента з оброблюваною поверхнею. Наявність вуглецю та хрому в складі сталі формує структуру, у якій можуть міститися абразивні карбіди, що підвищують інтенсивність зношування ріжучої кромки.

Відомо, що обробка сталі 40X потребує зниження швидкості різання порівняно з конструкційними нелегованими сталями. Типові значення коефіцієнта оброблюваності для цієї марки становлять 0,6–0,8, що відносить її до матеріалів із середнім рівнем оброблюваності. Це означає, що для забезпечення стабільної стійкості інструменту необхідно ретельно підбирати режими різання та застосовувати інструмент із підвищеною твердістю.

Для отримання якісної чистої поверхні з параметром шорсткості Ra 1,6 доцільно використовувати твердосплавні пластини груп M або K, а також застосовувати ефективне охолодження — це зменшує температурне навантаження та забезпечує більш прогнозований характер зношування.

У цілому, оброблюваність сталі 40X можна оцінити як задовільну, що дозволяє виконувати механічну обробку деталі в умовах середньосерійного виробництва без значних технологічних ускладнень за умови правильного підбору інструменту та режимів різання.

Результати аналізу технологічності конструкції

Таблиця 1.5 – Зведена таблиця результатів

Критерій	Оцінка	Коефіцієнт
1	2	3
Можливість виготовлення заготовки	Задовільна	0,7 (умовно числове)
Рівень необхідної точності	Високий	0,92
Шорсткість поверхні	Відповідає нормам	0,82
Оброблюваність матеріалу	Задовільна (середня)	0,6–0,8

Для наочного представлення результатів використовуємо стовпчикову діаграму (Рис. 1.2.1).

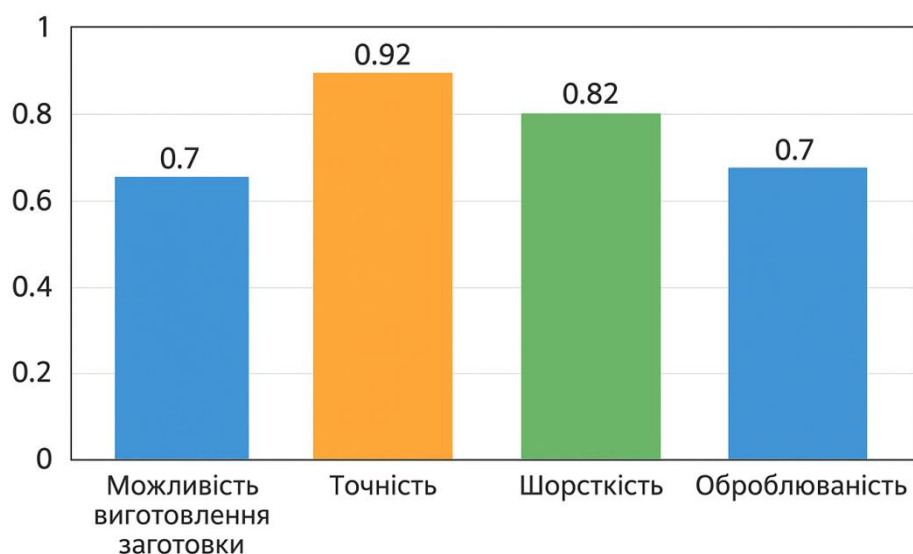


Рис. 1.2.1 Результати аналізу конструкції деталі

Отже аналіз результатів показав, що деталь «Проміжна фланцева втулка ФВП.194.018-01» є **технологічною** для середньосерійного виробництва, відповідає вимогам до точності, шорсткості та оброблюваності. Оптимальний вибір матеріалу та режимів обробки забезпечує ефективність виготовлення і стабільну якість.

					МР.ПМКМ= 018.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3 Визначення річної програми та кількості деталей в партії.

Тип виробництва для даної деталі класифікується як середньосерійний.

Підприємство працює у двозмінному режимі протягом доби.

Згідно з даними (ст.22, табл. 2.1 [5]), ефективний річний фонд роботи обладнання становить $F_d=4029$ год.

Кількість робочих днів на рік дорівнює: $F=251$.

Періодичність запуску партій деталей у виробництво приймаємо за довідковими даними (ст.23, табл.2.1[5]) - $a = 12$.

Ефективний фонд часу роботи устаткування за одну зміну складає: $F_o=480$ хв.

Нормативний коефіцієнт завантаження обладнання приймається рівним 0,8.

Штучно-калькуляційний час для кожної технологічної операції визначається за залежністю:

$$T_{штк} = \varphi_k \cdot T_o,$$

де φ_k – коефіцієнт, що враховує тип виробництва та специфіку операції,

T_o -основний (операційний) час.

Проміжні обчислення $T_{штк}$ для кожної операції

015: $T_{штк} = 8,71 \cdot 1,75 = 15,2425 \approx 15,24$ хв

020: $T_{штк} = 9,10 \cdot 1,75 = 15,925 \approx 15,93$ хв

025: $T_{штк} = 2,48 \cdot 1,75 = 4,34$ хв

030: $T_{штк} = 1,52 \cdot 1,75 = 2,66$ хв

035: $T_{штк} = 4,48 \cdot 1,67 = 7,4816 \approx 7,48$ хв

040: $T_{штк} = 0,91 \cdot 1,45 = 1,3195 \approx 1,32$ хв

045: $T_{штк} = 7,34 \cdot 1,45 = 10,643 \approx 10,64$ хв

050: $T_{штк} = 1,89 \cdot 1,45 = 2,7405 \approx 2,74$ хв

					МР.ПМКМ= 018.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Трудомісткість операцій обробки базової деталі заносимо в таблицю 1.6

Таблиця 1.6 – Трудомісткість операцій обробки деталі.

№ опер.	Назва операції	T_0 , хв.	φ_k	$T_{шт-к}(T_{шт})$, хв
1	2	3	4	5
005	Заготівельна	—	—	—
010	Термічна	—	—	—
015	Токарно-гвинторізна	8,71	1,75	15,24
020	Токарно-гвинторізна	9,10	1,75	15,93
025	Токарно-гвинторізна	2,48	1,75	4,34
030	Токарно-гвинторізна	1,52	1,75	2,66
035	Універсально-фрезерна	4,48	1,67	7,48
040	Радіально свердлильна	0,91	1,45	1,32
045	Радіально свердлильна	7,34	1,45	10,64
050	Радіально свердлильна	1,89	1,45	2,74
055	Контрольна	—	—	—

Число операцій обробки на металорізальних верстатах: $n=8$.

Сумарна трудомісткість виготовлення деталі:

$$\sum T_{шт} = 15,24 + 15,93 + 4,34 + 2,66 + 7,48 + 1,32 + 10,64 + 2,74 = 60,35 \text{ хв}$$

Середній штучний час:

Кількість операцій (з ненульовими T_0): 8

$$T_{шт.сер} = 60,35 / 8 = 7,54 \text{ хв}$$

Такт випуску деталей:

$$t_B = k_c \cdot T_{шт.сер} = 15 \cdot 7,54 = 111,15 \text{ хв}$$

Для середньосерійного виробництва приймемо орієнтовно ($10 \leq k_s \leq 20$,).

Річна програма випуску деталей, штук за рік:

					МР.ПМКМ= 018.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N = \frac{F_o \cdot 60}{t_e} = \frac{4029 \cdot 60}{111,15} = \frac{241740}{111,15} = 2174,9 \text{ шт.}$$

Прийняте заокруглене значення річної програми випуску деталей $N=2200$ шт.

Здійснюємо обчислення необхідного обсягу партії.

Розрахований розмір партії деталей, шт:

$$n_p = \frac{N \cdot a}{F} = \frac{2200 \cdot 12}{251} = 105,18 \text{ шт.}$$

Розрахована кількість змін, необхідних для обробки заданої партії:

$$C_p = \frac{T_{ум.сер.} \cdot n_p}{F_o \cdot 0.8} = \frac{7,41 \cdot 105,18}{480 \cdot 0.8} = \frac{779,38}{384} = 2,03.$$

У подальших розрахунках приймаємо наступну кількість змін: $C_p = 2$.

Для організації виробничого процесу встановлюємо наступний обсяг партії:

$$n_o = \frac{C_p \cdot F_o \cdot 0.8}{T_{ум.сер.}} = \frac{2 \cdot 480 \cdot 0,8}{7,41} = 103,6 \text{ шт.}$$

Прийняте заокруглене значення: $n_o = 105$ шт.

					МР.ПМКМ= 018.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

2.1 Аналіз базового технологічного процесу і розробка маршрутної технології

2.1.1 Техніко-економічне обґрунтування вибору заготовки

Вибір способу виготовлення вихідної заготовки визначається низкою важливих факторів, які необхідно враховувати на етапі планування виробництва. Серед них першорядне значення мають властивості матеріалу, з якого виготовлятиметься деталь. До цих властивостей належать хімічний склад, фізико-механічні характеристики, такі як міцність, твердість, пластичність, а також здатність до термообробки та обробки різанням.

Не менш важливим є обсяг випуску деталей. Виробництва з великими партіями потребують економічно ефективних методів отримання заготовок, тоді як для малих серій може бути доцільніше використовувати індивідуальні технології. Тип виробництва також грає суттєву роль: масове, серійне чи дрібносерійне виробництво передбачає різні підходи до вибору технології виготовлення заготовки.

Форма та габаритні розміри виробу визначають, наскільки складною буде технологія отримання заготовки, а виробничі можливості заготівельного цеху, наявність обладнання та технологічного оснащення обмежують або розширюють вибір доступних способів. Інші фактори, такі як економічна доцільність, трудомісткість та якість кінцевого продукту, також мають бути враховані при ухваленні рішення.

У нашому конкретному випадку, з урахуванням зазначених критеріїв та технологічних вимог, доцільним є використання заготовки методом штампування. Такий спосіб дозволяє отримати деталі необхідної форми та розмірів з високою точністю і при цьому забезпечує оптимальне співвідношення витрат матеріалу та трудовитрат. Штамповані заготовки відзначаються рівномірною структурою матеріалу, що сприяє підвищенню міцності та надійності кінцевого виробу.

					МР.ПМКМ= 018.00.000 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Заготовки штампового типу зазвичай виготовляються на КГШП (кривошипно-гайкових штампувальних пресах), що дозволяє отримати деталі з необхідними геометричними параметрами та високою точністю форми. Вибір цього обладнання обумовлений його здатністю працювати з металами середньої та високої твердості, забезпечуючи одночасно ефективність виробничого процесу та економічність витрат матеріалу.

Розміри, масу та інші параметри штампованої заготовки визначають відповідно до вимог ДСТУ 7505-89, який регламентує стандартизацію штампованих деталей та матеріалів для їх виготовлення. Використання цього стандарту забезпечує уніфікацію розмірів і властивостей заготовок, що, у свою чергу, гарантує правильну взаємозамінність деталей у подальшій збірці виробів і стабільну якість кінцевої продукції.

Вихідні дані для розрахунку:

Матеріал – сталь 40Х, яка характеризується високою міцністю та гарною здатністю до термообробки, що робить її придатною для штампування деталей підвищеної надійності та довговічності.

Врахування всіх цих факторів дозволяє коректно спланувати технологічний процес отримання заготовки та забезпечити відповідність кінцевого виробу встановленим технічним вимогам.

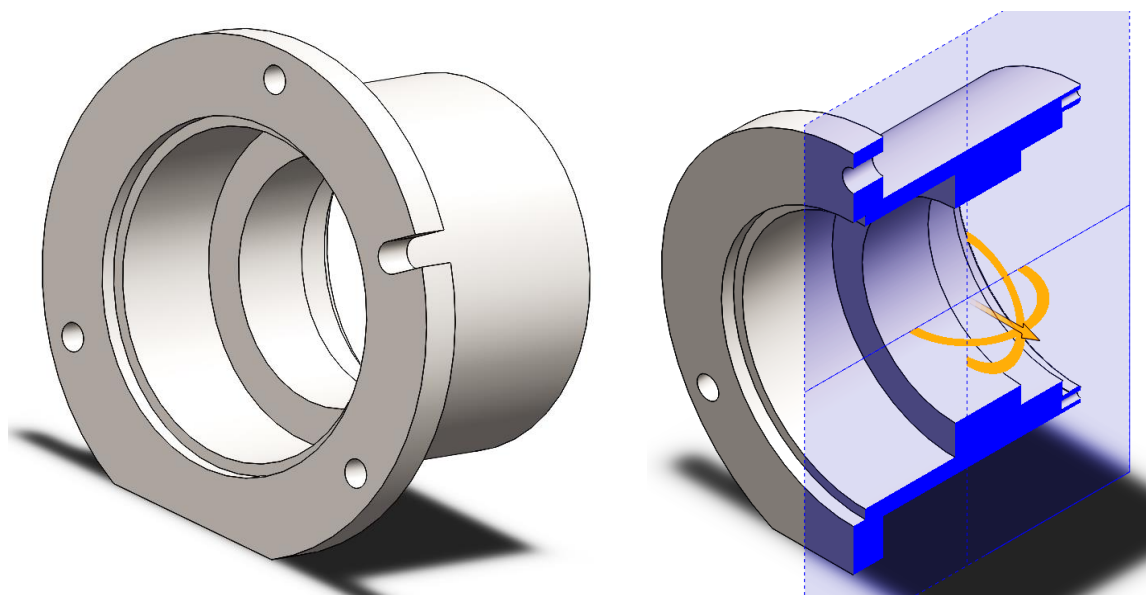


Рис. - Параметрична 3Д модель деталі «Проміжна фланцева втулка»

					МР.ПМКМ= 018.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Визначаємо розранкову масу штамповки по формулі :

$$M_{\text{заг}} = M_{\text{дет}} \cdot k_n$$

де $k_n = 1.5 - 1.8$

Приймаємо $k_n = 1.6$

Таким чином розрахункова маса заготовки:

$$M_{\text{заг}} = 20.0 \cdot 1.6 = 32,0 \text{ кг}$$

Визначаємо клас точності виготовлення заготовки.

Клас точності заготовки **T5**

Ідентифікуємо групу матеріалу: сталь 40X.

Так як в масі міститься 0,4 проценту вуглецю доля легованих елементів менше 2% то група сталі M2

Визначаємо ступінь складності штампування, для чого розраховуємо відношення розрахункової маси заготовки до маси умовної фігури, що описує геометрію виробу. Цей коефіцієнт дозволяє оцінити технологічну складність процесу штампування: чим менше відношення, тим складніше формоутворення, і навпаки, більші значення свідчать про відносну простоту виготовлення заготовки.

Обчислюємо масу фігури, що описує заготовку, за допомогою відповідної формули:

$$M_{\text{заг}} = V_{\text{ф}} \cdot \rho$$

$$V_{\text{ф}} = \frac{\pi D^2}{4} h = \frac{3.14 \cdot (32 \cdot 1.05)^2}{4} 1.9 \cdot 1.05 = 18.3$$

$$M_{\text{заг}} = V_{\text{ф}} \cdot \rho = 18.3 \cdot 7.8 = 143 \text{ кг}$$

Визначаємо відношення розрахункової маси заготовки до маси фігури, що описує її геометрію, для оцінки технологічної складності штампування.

$$\frac{M_{\text{заг.р}}}{M_{\text{заг.ф}}} = \frac{32}{143} = 0,22$$

Відповідно до ДСТУ 7505-89, ступінь складності заготовки приймаємо рівною $C = 2$.

					МР.ПМКМ= 018.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

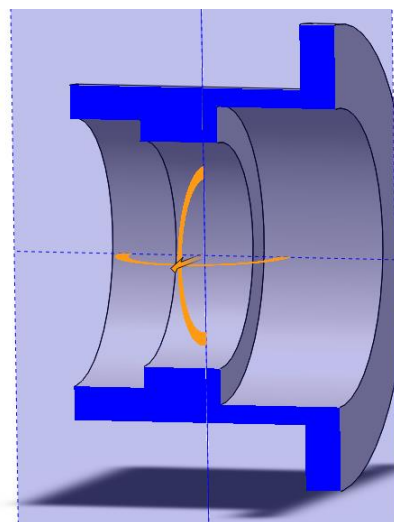
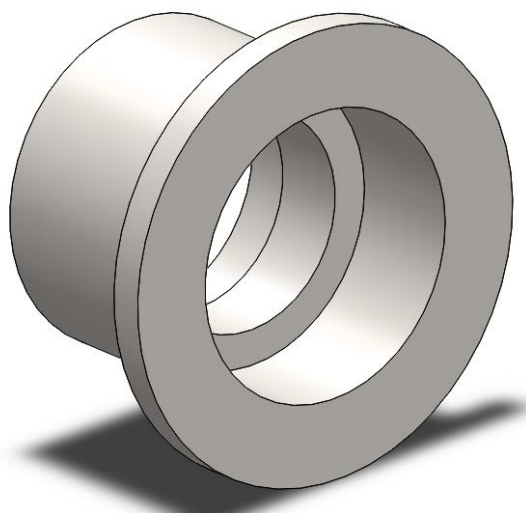
Далі визначаємо вихідний індекс, користуючись даними таблиці 2 на сторінці 10 [4], що дозволяє оцінити технологічну характеристику заготовки.

Визначаємо розміри припусків

На цьому етапі встановлюємо величину припусків на обробку заготовки. Окрім основного припуску враховуємо додатковий припуск, який компенсує можливі відхилення від площинності поверхонь, що забезпечує точність кінцевого виробу після механічної обробки.

Встановлюємо габаритні розміри штампованої заготовки

Розмір	Припуск	Допуск		Прийнятий розмір
		+	-	
Ø320	4,3·2	4,7	2,4	Ø 328,6 ^{+4,7} _{-2,4}
Ø230	4,3·2	4,7	2,4	Ø 238,6 ^{+4,7} _{-2,4}
Ø205	-(3,8·2)	4,2	2,1	Ø197,4 ^{+4,2} _{-2,1}
Ø184	-(3,8·2)	4,2	2,1	Ø176,4 ^{+4,2} _{-2,1}
Ø155	-(3,8·2)	4,7	2,4	Ø 147,4
190	(4,7+0,8)· 2	4,2	2,1	201 ^{+4,2} _{-2,1}
140	(5,5+5,5)	4,2	2,1	140 ^{+4,2} _{-2,1}
25	(3,0+0,8)+5,5	3,0	1,5	28,8 ^{+3,0} _{-1,5}
55	(5,5+5,5)	4,2	2,1	66



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МР.ПМКМ= 018.00.000 ПЗ

Арк.

27

$I_y = (0.0000, 0.0000, 1.0000)$ $P_y = 287714735.1513$

$I_z = (1.0000, 0.0000, 0.0000)$ $P_z = 371169735.5079$

Моменти інерції: (грами * квадратні міліметри)

Визначаються в центрі мас та вирівнюються відносно системи координат виводу.

$L_{xx} = 371169735.5079$ $L_{xy} = 0.0000$ $L_{xz} = 0.0000$

$L_{yx} = 0.0000$ $L_{yy} = 287714735.1513$ $L_{yz} = 0.0000$

$L_{zx} = 0.0000$ $L_{zy} = 0.0000$ $L_{zz} = 287714735.1513$

Моменти інерції: (грами * квадратні міліметри)

Обчислюється за допомогою системи координат виводу.

$I_{xx} = 371169735.5079$ $I_{xy} = 0.0000$ $I_{xz} = 0.0000$

$I_{yx} = 0.0000$ $I_{yy} = 434675363.4792$ $I_{yz} = 0.0000$

$I_{zx} = 0.0000$ $I_{zy} = 0.0000$ $I_{zz} = 434675363.4792$

У результаті проведеного техніко-економічного аналізу встановлено, що найбільш раціональним способом отримання заготовки для деталі «Проміжна фланцева втулка» є штампування на кривошипно-гайкових штампувальних пресах (КГШП). Такий вибір обумовлений властивостями матеріалу – сталі 40Х, яка добре піддається термообробці, забезпечує високу міцність та стійкість до експлуатаційних навантажень. Крім того, штампування дозволяє одержати заготовку з оптимальною точністю форми, рівномірною внутрішньою структурою та мінімальними витратами металу.

Проведені розрахунки (розрахункова маса заготовки, визначення групи матеріалу, класу точності, ступеня складності та коефіцієнтів для стандартизованих припусків) підтверджують технологічну доцільність застосування штампування відповідно до вимог ДСТУ 7505-89. Отримані масові характеристики 3D-моделі в SOLIDWORKS демонструють відповідність геометрії та параметрів заготовки попереднім аналітичним розрахункам, що гарантує узгодженість технологічної документації та моделі.

Таким чином, вибір штампованої заготовки забезпечує оптимальний баланс між точністю, собівартістю, якістю та трудомісткістю виробництва. Такий підхід дозволяє зменшити обсяг механічної обробки, підвищити надійність деталі та забезпечити стабільність технологічного процесу під час серійного та дрібносерійного виготовлення.

					МР.ПМКМ= 018.00.000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.1.2 Опис і аналіз базового технологічного процесу

Таблиця 1.9 – Базовий маршрут механічної обробки деталі

№ опер.	Назва і зміст операції	Модель верстату	Пристрій
1	2	3	4
005	Заготівельна	—	—
010	Термічка	—	—
015	Токарно-гвинторізна	CW6163	Трохкулачковий самоцентруючий патрон
020	Токарно-гвинторізна	CW6163	Трохкулачковий самоцентруючий патрон
025	Токарно-гвинторізна	CW6163	Трохкулачковий самоцентруючий патрон
030	Токарно-гвинторізна	CW6163	Трохкулачковий самоцентруючий патрон
035	Універсально-фрезерна	FNG 40	Пристрій спеціальний
040	Радіально свердлильна	Optimum B40E	Кондуктор
045	Радіально свердлильна	Optimum B40E	Кондуктор
050	Радіально свердлильна	Optimum B40E	Кондуктор
055	Контрольна	—	—
060	Гальванічна	—	—

Базовий технологічний процес (БТП) розроблено з урахуванням конструктивних особливостей деталі (тіло обертання з фланцем) та властивостей матеріалу (сталь 40X). Його структура забезпечує послідовне досягнення необхідних геометричних параметрів, точності, шорсткості та фізико-механічних властивостей.

1. Заготівельна (005) та Термічна обробка (010): Деталь виготовляється зі сталі 40X, яка вимагає термообробки для досягнення заданої твердості HB 240...280 (згідно з тех. вимогами креслення). Розміщення термообробки на

					МР.ПМКМ– 018.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

початку маршруту (після заготівлі, але до основної механічної обробки) дозволяє обробляти матеріал вже у зміцненому стані. Це забезпечує стабільність структури металу та мінімізує деформації під час подальшої обробки.

2. Токарно-гвинторізні операції (015-030): Це основні операції для формування зовнішніх та внутрішніх поверхонь обертання, торців та уступів деталі. Використання трикулачкових самоцентруючих патронів забезпечує швидке та надійне кріплення заготовки. Чотири послідовні операції дозволяють виконати чорнову, напівчистову та чистову обробку всіх поверхонь, дотримуючись необхідної шорсткості (Ra 3.2, Ra 6.3) та квалітетів точності (H14, h14).

3. Універсально-фрезерна (035): Ця операція необхідна для створення несиметричних елементів на фланці (наприклад, лиски або пази), які неможливо виконати на токарному верстаті. Спеціальний пристрій використовується для точного позиціонування деталі.

4. Радіально свердлильні операції (040-050): Виконання отворів на фланці (наприклад, різьбових та гладких отворів). Використання кондуктора є ключовим для забезпечення точного взаємного розташування осей отворів, що відповідає вимогам складальності.

5. Контрольна (055): Обов'язковий етап для перевірки відповідності всіх параметрів деталі вимогам креслення перед нанесенням покриття.

6. Гальванічна (060): Відповідає технічній вимозі креслення щодо нанесення антикорозійного покриття ("Покриття Хім. Окс. прм." – хімічне оксидування просочене маслом).

Рекомендації для поліпшення технологічного процесу

Незважаючи на раціональність базового процесу, можна внести зміни для підвищення ефективності, точності та якості виготовлення:

Оптимізація Термічної обробки:

					МР.ПМКМ– 018.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Рекомендація: Розглянути можливість проведення чистової токарної обробки після термічної обробки (або фінішної операції, наприклад, шліфування). Це дозволить компенсувати можливі деформації, які виникають під час термообробки, та забезпечити більш високу точність критичних посадкових поверхонь (H14, h14).

Заміна обладнання на ЧПК (CNC):

Рекомендація: Замість використання декількох універсальних токарних та фрезерних верстатів (CW6163, FNG 40, Optimum B40E) інтегрувати обробку на багатофункціональному токарно-фрезерному оброблювальному центрі з ЧПК.

Обґрунтування: Це дозволить виконати всі токарні, фрезерні та свердлильні операції (015-050) за одну або дві установки деталі. Це значно підвищить точність взаємного розташування поверхонь, зменшить кількість переустановок, скоротить виробничий цикл та зменшить потребу у спеціальному оснащенні (кондукторах, спец. пристроях).

Деталізація переходу 035 (Фрезерна):

Рекомендація: Уточнити зміст операції 035. На кресленні видно позначку маркування "ФВП.194.018-01". Цю операцію можна автоматизувати, наприклад, за допомогою лазерного або ударно-точкового маркування, що забезпечить кращу читабельність та швидкість виконання.

Впровадження сучасних методів контролю (055):

Рекомендація: Використовувати координатно-вимірювальні машини (КВМ) для операції контролю.

Обґрунтування: КВМ дозволяють швидко та з високою точністю перевірити всі геометричні параметри деталі, включаючи складні поверхні та розташування отворів, що забезпечує повний контроль якості продукції.

					МР.ПМКМ= 018.00.000 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.1.3 Опис вдосконаленого технологічного процесу

Технологічний процес розробляємо з метою забезпечення максимальної продуктивності та досягнення всіх конструктивних вимог, зазначених у кресленні, включаючи жорсткі допуски на діаметр (184Н8) та вимоги до твердості (НВ 240...280).

Таблиця 1.10. Проектний технологічний процес виготовлення деталі
Проміжної фланцевої втулки зі Сталі 40Х

№ опер.	Назва операції	Модель верстату	Пристрій
1	2	3	4
005	Заготівельна (штамповка)	—	—
010	Термічна обробка Загартування та відпустка для досягнення НВ 240...280	Камерна піч SNOL 60/300	—
015	Токарна з ЧПК (чорнова обробка згідно програми) 1.Підрізання торця 2.Точіння зовнішніх поверхонь (формуємо чернові діаметри $\varnothing 328$, $\varnothing 238$, $\varnothing 176$ із припусками) 3. Розточування (пройти всі ступені внутрішнього профілю) 4. Зняти чорнові фаски (мінімально).	Haas ST-30	Патрон Kitagawa В-212 (Жорсткі, гартовані кулачки.)
020	Токарно з ЧПК (чистова обробка згідно програми) 1.Чистове підрізання торця. 2.Чистове точіння всіх зовнішніх діаметрів. ($\varnothing 328$; $\varnothing 238$; $\varnothing 176$; усі уступи та переходи, включно з конічними зонами) 3. Чистове розточування внутрішніх діаметрів: $\varnothing 197$; $\varnothing 147$; $\varnothing 176$. 4. Чистове формування радіусів, фасок, конусів 5° 5. Зняття задирок по всіх оброблених поверхнях.	Haas ST-30	Патрон Kitagawa В-212 (М'які кулачки або секторні)

									Арк.
									33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МР.ПМКМ= 018.00.000 ПЗ				

025	Фрезерно-свердлильна з ЧПК (обробка згідно програми) 1.Фрезерування лиски (формування плоскої поверхні згідно розміру ширини та відстані до осі; забезпечити шорсткість згідно техвимог.) 2.Фрезерування паза. 3.Свердління всіх отворів. (розташування за координатами креслення; виконання всіх переходів: центрування; свердління; розсвердлювання) 4. Зенкування отворів (відповідно до креслення.) 5. Нарізання різьб 6. Зняття задирок по всіх оброблених поверхнях.	Dugard 1000	Пристрій спеціальний
030	Маркувальна	—	—
035	Контрольна	—	—
040	Гальванічна	—	—

Технологічний процес розпочинається з Заготівельної операції (005), де використовується штамповка, оскільки це найбільш економічний метод формування заготовки для серійного виробництва, що мінімізує припуски на подальшу обробку. Далі йде Термічна обробка (010) — покращення (загартування та високий відпуск) в камерній печі SNOL 60/300 для досягнення необхідної твердості HB 240...280. Ця твердість обрана як оптимальний компроміс: вона забезпечує високу міцність деталі (вимога креслення) і водночас дозволяє ефективну та точну механічну обробку сучасним інструментом. Основна частина матеріалу видаляється на верстаті Токарна з ЧПК Haas ST-30 в операціях 015 (чорнова) та 020 (чистова); цей верстат має достатню жорсткість та точність для роботи з термічно обробленою сталлю 40X. Для чорнової обробки використовується патрон Kitagawa B-212 з жорсткими, гартованими кулачками для надійного затиску нерівної заготовки з

					МР.ПМКМ= 018.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

високим зусиллям. Для чистової обробки на цьому ж верстаті (що зменшує похибки перевстановлення і зберігає співвісність) обов'язково використовуються м'які або секторні кулачки, які розточуються *безпосередньо на верстаті* для забезпечення ідеальної концентричності та досягнення жорсткого допуску 184Н8 та вимог до биття (0.05 мм). Наступна операція — Фрезерно-свердлильна з ЧПК (025), яка проводиться на обробному центрі Dugard 1000. На цьому верстаті об'єднано фрезерування лиски, паза під кутом та свердління з нарізанням різьби (М6), що мінімізує помилки позиціонування між цими елементами. Для фіксації на столі VMC застосовується спеціальний пристрій, що базується на точних поверхнях, отриманих після токарної обробки. Маркувальна операція (030), що проводим за допомогою лазерного або мікроголкового маркіратора, є обов'язковою згідно з ТТ і розміщена перед покриттям для гарантування видимості знаків. Контрольна операція (035) передбачає перевірку всіх критичних параметрів (Н8, биття, різьба) перед фінальним покриттям, а Гальванічна операція (040) (хімічне оксидування) є заключним етапом, що забезпечує антикорозійний захист деталі.

Таким чином ми забезпечуєм точність і якість виготовлення деталі.

					МР.ПМКМ= 018.00.000 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Розробка операційної технології

2.2.1 Розрахунок припусків на механічну обробку і визначення технологічних розмірів

Розрахунок припусків на механічну обробку є ключовим етапом технологічного проектування. Припуск — це шар металу, який необхідно зняти з поверхні деталі на кожному технологічному переході для досягнення заданої точності та якості.

Необхідність оптимізації припусків:

– Занижені припуски призводять до того, що дефектний поверхневий шар (наприклад, окисли, гартована кірка після штамповки) не видаляється повністю. Це негативно впливає на експлуатаційні характеристики готової деталі, збільшує кількість браку та ускладнює досягнення необхідної точності.

– Завищені припуски спричиняють необґрунтовану перевитрату матеріалу, збільшують трудомісткість і тривалість обробки, підвищують знос різального інструменту, енергоспоживання та, як наслідок, собівартість продукції.

Тому точне визначення оптимальних припусків на всіх переходах і встановлення відповідних технологічних допусків має вирішальне техніко-економічне значення.

Вихідні дані та розрахунок

Розрахунок припусків на внутрішню циліндричну поверхню $\varnothing 184H8^{+0.072}$ виконується за методом "від мінімального припуску" (аналітичний метод).

Об'єкт розрахунку: Внутрішня циліндрична поверхня (отвір).

Кінцевий розмір: $\varnothing 184H8^{+0.072}$

Спосіб отримання заготовки: Штамповка (з припуском на внутрішній діаметр).

					МР.ПМКМ= 018.00.000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначення технологічних розмірів та допусків для обробки внутрішньої поверхні $\varnothing 184H8^{(+0,072)}$

	Заготовка (штамповка)	Чорнове точіння	Чистове точіння
Поле допуску	<i>IT14</i>	<i>H12</i>	<i>H8</i>
Відхилення, мм	+4.2 -2.1	+0,46	+0.072
Розміри після обробки, мм	$\varnothing 176.4^{(+4.2)}_{(-2.1)}$	$\varnothing 180.6 H12^{(+0,46)}$	$\varnothing 182,8H8^{(+0,072)}$

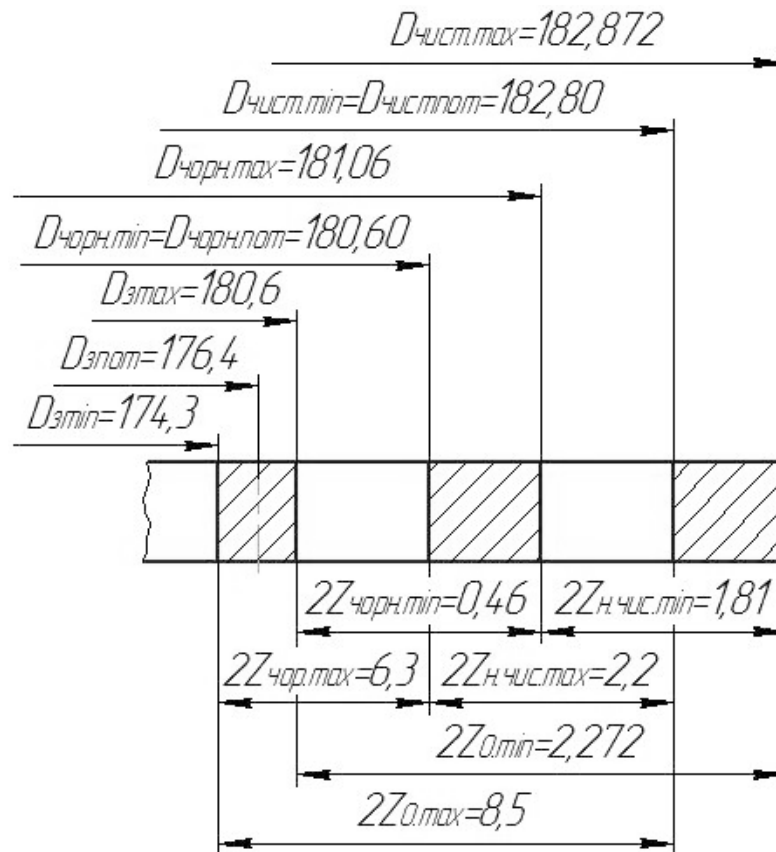


Рис.8 – Розташування полів допусків і припусків на обробку внутрішньої поверхні $\varnothing 184H8^{(+0,072)}$

2.2.2 Розрахунок режимів різання і уточнення моделей верстатів

2.2.2.1 Вибір різального і вимірного інструменту

Визначимо ріжучий та вимірювальний інструмент, необхідний для реалізації спроектованого технологічного процесу виготовлення деталі «Проміжна фланцева втулка», і представимо результати у вигляді Таблиці 1.15

Таблиця 1.15 – Вибір ріжучого та вимірного інструменту

№	Назва операції	Модель верстату, пристрій	Ріжучий інструмент	Вимірний інструмент
1	2	3	4	5
015	Токарна з ЧПК (чорнова обробка)	Haas ST-30 Патрон Kitagawa B-212 (Жорсткі, гартовані кулачки.)	Прохідний різець тримач: PCLNL 2525 M12 Пластина: CNMG 120408-PM 4325 Розточний різець: A16Q-SCLCR 09 Пластина: CСMT 09T308-PM 4315	Штангенциркуль 0–300 мм <i>Mitutoyo 500-753-20</i> Індикатор годинниковий <i>Mitutoyo 2046S</i> Магнітна стійка <i>Mitutoyo 7011S-10</i> Мікрометр 0–75 мм <i>Mitutoyo 103-137</i>
020	Токарна з ЧПК (чистова обробка)	Haas ST-30 Патрон Kitagawa B-212 (М'які кулачки або секторні)	Прохідний різець тримач: SCLCR 2525M09 Пластина: CCGT 09T302-FL H01 (алмазне покриття для чистової) Розточний різець: S10F-STFCR 11 Пластина: TCGT 110204-F IC907 Канавковий різець GENIR 26-2D Пластина: GTN 2 IC8250 Фасочний різець 45°: N123G2-0300-0002-GF 1130	Триточкові нутроміри <i>Mitutoyo IMICRO</i> серія 368 <i>Mitutoyo 368-212</i> (175–200мм) <i>Mitutoyo 368-213</i> (200–225мм) <i>Mitutoyo 368-214</i> (225–250мм) Мікрометр з глибинними рамами <i>Mitutoyo 122-151</i> (0–300 мм) <i>Mitutoyo 122-152</i> (25–350 мм) Індикатор годинниковий <i>Mitutoyo 2046S</i> Стійка <i>Mitutoyo 7011S-10</i> <i>Mitutoyo Surfrest SJ-210</i> (код 178-561-02)

									Арк.
									38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МР.ПМКМ– 018.00.000 ПЗ				

025	Фрезерно-свердлильна з ЧПК	Dugard 1000 Пристрій спеціальний	Свердло Ø18 мм YG-1 Dream Drill D1731 0180 Свердло Ø5 мм (під різьбу М6) YG-1 Dream Drill D1033 0500 Мітчик (М6–7Н): Emuge 290650-М6-6Н Кінцева фреза Ø16: JH770160E (карбідна 4-зуба TiAlN) Торцева фреза: R390-032A32-17L (CoroMill 390) Пластини: R390-17 04 08E-PM 1030	Набір пробок GO/NO-GO Ø18 мм Helios-Preisser 5324-18 Калібр-пробка Ø5 мм Helios-Preisser 5324-5 Граничний калібр-пробка М6 6Н JBO 510600060 Набір щупів 0,02–1 мм Mitutoyo 950-317 Кутомір цифровий Wixey WR300 Type 2 Лінійка контрольна 500 мм Kinex 1004-15 Щупи для визначення відхилення Mitutoyo 950-317
-----	----------------------------	-------------------------------------	---	---

Аналіз вибору інструменту показав, що підібрані ріжучі та вимірювальні засоби відповідають вимогам технологічного процесу та забезпечують точність обробки деталі, ефективність операцій і контроль геометричних параметрів на всіх етапах виробництва. Використання зазначеного інструменту дозволяє мінімізувати похибки та підвищити якість кінцевого виробу.

					МР.ПМКМ= 018.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

2.2.2.2 Розрахунок режимів різання і норм часу

Розрахунок режимів різання

Операція 025 Фрезерно-свердлильна з ЧПК

(Свердління отворів Ø18 мм)

1. Вибираємо ріжучий інструмент, його матеріал та геометричні параметри.

Вибираємо Свердло Ø18 мм YG-1 Dream Drill D1731 0180

2. Знаходимо величину подачі.

$$S_m = 0,39 / 0,47 \text{ мм/об} \quad \text{к41ст103[8]}$$

коректуємо це значення по паспортних даних верстату і приймаємо

$$S_d = 0,4 \text{ мм/об}$$

4. Знаходимо швидкість різання

$$V_{\text{таб}} = 27,5 \text{ м/хв} \quad \text{к.41ст.104}$$

Оскільки всі поправочні коефіцієнти на швидкість різання дорівнюють одиниці, то:

$$V_{\text{таб}} = 27,5 \text{ м/хв}$$

5. Знаходимо частоту обертів шпинделя по формулі:

$$n_p = \frac{1000 \cdot V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 27,5}{3,14 \cdot 18} = 398 \text{ хв}^{-1}$$

Коректуємо це значення по паспортних даних. Приймаємо $n_d = 355^{-1}$

6. Знаходимо дійсну швидкість різання.

$$V_d = \frac{\pi D n_d}{1000} = \frac{3,14 \cdot 18 \cdot 355}{1000} = 20,6 \text{ м/хв}$$

7. Знаходимо потужність різання. $N < 1,1 \text{ кВт}$.

8. Провіряємо достатність потужності приводу верстату.

Повинна виконуватись рівність.

$$N \leq N_{\text{дв}} \cdot \eta$$

У нашому випадку $1,1 < 1,6 \cdot 0,8$; $1 < 1,28$

Отже, обробка можлива.

(Фрезерування площини)

					МР.ПМКМ= 018.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Матеріал: Сталь 40Х, твердість НВ 240...280 (згідно ТТ креслення).
 - Приймаємо середнє НВ 260 ($\sigma = 850$ МПа).
 - Верстат: Dugard 1000.
 - Інструмент: Фреза торцева CoroMill 390 (код R390-032A32-17L).
 - Діаметр $D = 32$ мм.
 - Кількість зубів $Z = 2$ (станд. для корпусу 32 мм під пластину розміру 17).
 - Пластини: R390-17 04 08E-PM, сплав 1030 (твер. сплав з покриттям PVD).
 - Глибина різання $t = 2,5$ мм.
 - Подача $S_z = 0,2$ мм/зуб [4]. (реком. для пластин РМ сплаву 1030 по сталі).
- Швидкість різання Окружну швидкість обертання фрези визначаємо за формулою:

$$V = \frac{C_v D^q}{T^m t^x S_z^y B^u Z^p} K_v \quad (2.2)$$

де T – стійкість інструменту $E = 120$ хв [4]

q, x, y, u, p – показники степені точності; C_v – коефіцієнт $C_v = 332$ [22]

$q = 0,2; x = 0,1; y = 0,4; u = 0,2; p = 0; m = 0,2$ [4].

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

$$K_v = K_{mv} K_{nv} K_{uv},$$

де K_{mv} – коефіцієнт, який враховує якість оброблюваного

K_{nv} – коефіцієнт, який враховує стан поверхні заготовки;

K_{uv} – коефіцієнт, який враховує матеріал інструмента;

$$K_{mv} = K_n \left(\frac{750}{\delta_s} \right)^{nv}; K_n = 1, n = 1, \delta_s = 850 [4]. K_{mv} = 1 \cdot \left(\frac{750}{850} \right)^1 = 0,88$$

$$K_{nv} = 0,5 [21]. \text{Стор. 263. Табл.4}; K_{uv} = 0,65 [4]. K_v = 0,88 \cdot 0,8 \cdot 1,0 = 0,7$$

$$V = \frac{332 \cdot 100^{0,2}}{120^{0,2} \cdot 2,5^{0,1} \cdot 0,2^{0,4} \cdot 24^{0,2}} \cdot 0,7 = 178,5 \text{ м/хв. Прийм. } V = 180 \text{ м/хв.}$$

Частоту обертання фрези визначаємо за формулою:

$$n = \frac{1000 V}{\pi D}, \quad (2.3) \quad \text{де } D \text{ – діаметр фрези.}$$

					МР.ПМКМ= 018.00.000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$n = \frac{1000 \cdot 180}{\pi \cdot 32} = 1791 \text{ хв}^{-1}.$$

Приймаємо n по верстату $n_{cm} = 1800 \text{ хв}^{-1}$ (регулювання обертів безступенево).

Головна складова сили різання при фрезеруванні – колова сила, H , визначаємо за формулою:

$$P_z = \frac{10 C_p t^x S_z^y B^n Z}{D^q n^w} K_{mp}, \quad (2.4)$$

де Z – число зубів фрези; n – частота обертання фрези об/хв.;

K_{mp} – коефіцієнт, який корегує по якості матеріалу, що оброблюється;

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

$$K_{mp} = \left(\frac{\delta}{750} \right)^n; n = 0.3 [4]. \quad K_{mp} = \left(\frac{850}{750} \right)^{0.75} = 1.1.$$

$$P_z = \frac{10 \cdot 825 \cdot 2.5^{1.0} \cdot 0.2^{0.75} \cdot 50^{1.1} \cdot 8}{32^{1.3} \cdot 1800^{0.2}} 1.1 = 1100 \text{ Н}.$$

Крутний момент на шпинделі визначаємо за формулою:

$$M_{кр} = \frac{P_z D}{2 \cdot 100}, \quad (2.5) \quad \text{де } D \text{ – діаметр фрези}$$

$$M_{кр} = \frac{1100 \cdot 32}{2 \cdot 1000} = 17,6 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Потужність різання (ефективна) визначаємо за формулою:

$$Ne = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{1100 \cdot 180}{1020 \cdot 60} = 3,23 \text{ кВт}.$$

Розрахуємо основний час переходу, який визначаємо за формулою:

$$T_o = \frac{L}{n \cdot S_{xв}} = \frac{267}{720} = 0,37 \text{ хв}.$$

Розрахунки для всіх інших операцій виконуємо за тією ж методикою, а отримані результати заносимо до таблиці.

Таблиця 2.10 Зведена таблиця режимів різання по операціях та переходах

					МР.ПМКМ= 018.00.000 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

№ Оп. Пер.	Зміст переходу	Д (В), мм	t, мм	L, мм	i	S мм/об	V м/хв	n хв ⁻¹	N кВт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
005	Заготівельна								
—	Штапування	—	—	—	—	—	—	—	—
010	Термічна								
—		—	—	—	—	—	—	—	—
015	Токарна з ЧПК (Чорнова)								
1	Підрізати торець (чорново)	328	3	115	2	0,5	144	140	5,2
2	Точити пов. Ø205 (попер.)	205	3,5	80	1	0,45	135	210	4,8
3	Розточити отвір Ø147→Ø182 (попер.)	147	3,7	190	5	0,4	120	260	6,1
4	Точити фаски (чорново)	-	-	-	-	0,3	120	260	-
020	Токарна з ЧПК (Чистова)								
1	Підрізати торець (чистово)	320	0,5	110	1	0,15	221	220	1,1
2	Точити пов. Ø320 (остат.)	320	0,5	25	1	0,2	201	200	1,5
3	Розточити отвір Ø184Н8	184	0,5	190	1	0,15	202	350	1,2
4	Розточити пов. Ø205Н11	205	0,5	55	1	0,15	206	320	1,2
025	Фрезерно-свердлильна (Dugard 1000)								
1	Фрезерувати лиску	25	3	135	5	0,2	180	1800	3,2
2	Фрезерувати паз 20мм	20	5	35	5	0,5	113	1200	2,2
3	Центрувати 3 отв. Ø18	18	-	3	1	0,1	25	1500	-
4	Свердлити 3 отв. Ø18	18	25	25	1	0,25	24	420	1,8
5	Свердлити 6 отв. під М6 (Ø5)	5	16	16	1	0,08	18	1200	0,4
6	Нарізати різьбу М6-7Н (основний)	6	-	12	1	1	6	320	-
030	Маркувальна	—	—	—	—	—	—	—	—
035	Контрольна	—	—	—	—	—	—	—	—
040	Гальванічна	—	—	—	—	—	—	—	—

					МР.ПМКМ= 018.00.000 ПЗ					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						43

Розрахунок нормативів часу

Операція 025 Фрезерно-свердлильна з ЧПК

1. Знаходимо величину машинного часу

$$T_M = \frac{L}{s \cdot n} \cdot i \quad \text{Ст19[8]}$$

де L - довжина ходу свердла

$$L = \ell + \Delta + y$$

ℓ - довжина отвору

$\Delta + y$ – врізання і перебіг

$\Delta + y = 11$ мм

S мм/об – величина подачі

n – оберти шпинделя

$T_M = 6,95$

2.1 Знаходимо допоміжний час на установку і зняття деталі.

$$T_{\text{уст}} = 3,0 \text{ хв. п.15,к.2,ст33[9]}$$

2.2 Знаходимо час зв'язаний з операцією.

$$T_{\text{пер}} = 0,50 \text{ хв к.18 ,п.57,ст66[9]}$$

2.3 Знаходимо час який не ввійшов у комплекс

Включити і виключити шпиндель

$$0,02 \cdot 2 = 0,04 \text{ к.29,л.2,ст. 104[9]}$$

Змінити інструмент

$$0,15 \cdot 2 = 0,30 \text{ к.29,л.2,ст104[9]}$$

Поставити кондуктор

$$0,24 \text{ к.9,л.2,п.30,л.2,ст. 200}$$

2.4 Знаходимо допоміжний час на вимірювання та коефіцієнт періодичності промірів.

$$T_{\text{вим}} = 0,14 \text{ хв. К.86 ,л.4,ст188[9]}$$

$$k = 1,0 \text{ к.87,л.1,ст. 200 [9]}$$

$$T_{\text{вим}} = t_{\text{вим}} \cdot k$$

					МР.ПМКМ= 018.00.000 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_{\text{вим}} = 0,14 \cdot 1,0 = 0,14 \text{ хв}$$

2.5 Допоміжний час на операцію становитиме

$$T_{\text{доп}} = T_{\text{уст}} + T_{\text{нк}} + T_{\text{пер}} + T_{\text{вим}} = 4,43 \text{ хв.}$$

Враховуємо поправочний коефіцієнт в залежності від тривалості обробки партії деталей.

$$K_{\text{п}} = 0,87 \text{ к.1ст.31 [9]}$$

$$T_{\text{доп}} = T_{\text{доп} \cdot \text{кп}} = 3,85 \text{ хв.}$$

3. Визначаємо величину оперативного часу.

$$T_{\text{оп}} = T_{\text{осн}} + T_{\text{доп}}$$

$$T_{\text{оп}} = 6,95 + 3,85 = 10,8 \text{ хв}$$

4. Визначаємо допоміжний час на обслуговування робочого місяця.

$$T_{\text{обс}} = \frac{T_{\text{оп}} \cdot a}{100}$$

де a – час в процентах на обслуговування робочого місяця (від оперативного)

$$a = 8 \text{ к.88 л.1, ст.107[9]}$$

$$T_{\text{обс}} = 0,86 \text{ хв}$$

5. Знаходимо час на відпочинок і особисті потреби.

$$T_{\text{відп}} = \frac{t_{\text{оо}} \cdot b}{100}$$

де b – час на відпочинок і особисті потреби (в процентах від оперативного часу).

$$b = 4 \text{ к.88 л.1, ст.203[9]}$$

$$T_{\text{відп}} = 0,43 \text{ хв.}$$

6. Знаходимо величину штучного часу

$$T_{\text{шт}} = T_{\text{оп}} + T_{\text{обс}} + T_{\text{відп}}$$

$$T_{\text{шт}} = 10,8 + 0,86 + 0,43 = 12,09$$

7. Знаходимо величину підготовчо-заключного часу.

7.1. Час на наладку верстату

$$T_{\text{пз}} = 13 \text{ хв. п.4,к.3,ст107[9]}$$

					МР.ПМКМ= 018.00.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7.2. Час на отримання та здачу інструменту.

$$T_{пз} = 7 \text{ хв.п.15 к.3,ст107}$$

Таким чином:

$$T_{пз} = 13 + 7 = 20 \text{ хв}$$

8. Знаходимо величину штучно-калькуляційного часу.

$$T_{шт.к} = \frac{T_{пз}}{n} + T_{шт}$$

де n – величина партії деталей

$$T_{шт.к} = 13,09 \text{ хв.}$$

Розрахунки для всіх інших операцій виконуємо за тією ж методикою, а отримані результати заносимо до таблиці.

Зведена таблиця розрахунку норм часу

№ оп.	Назва операції	Модель верстату	Tос хв	Tдоп хв	Tуст хв	Tпер хв	Tвим хв	Tобс хв	Tвідп хв	Tшт хв	Tшт.к хв
015	Токарна з ЧПК (Чорнова)	Haas ST-30	14,20	3,46	3,00	0,50	0,14	1,41	0,71	19,78	20,78
020	Токарна з ЧПК (Чистова)	Haas ST-30	8,72	3,46	3,00	0,50	0,14	0,97	0,49	13,64	14,64
025	Фрезерно-свердлильна	Dugard 1000	6,95	3,85	3,00	0,50	0,14	0,86	0,43	12,09	13,09
	РАЗОМ		29,87	10,77				3,24	1,63	45,51	48,51

2.3 Аналіз точності обробки

Точність обробки є одним із ключових показників якості виготовлення деталі та визначає відповідність отриманих розмірів установленим технічним вимогам. У цьому розділі проводиться оцінювання основних джерел похибок, що виникають у процесі різання, а також визначається їхній вплив на формування кінцевого розміру та геометрії поверхні. Аналіз точності дозволяє встановити домінуючі фактори, які впливають на результат, та визначити можливі шляхи підвищення стабільності й надійності технологічного процесу.

Основні види похибок, що виникають під час точіння циліндричної поверхні та впливають на точність розмірів — тобто на замикаючу ланку технологічного процесу — охоплюють такі складові:

Похибка форми ($\Delta\epsilon$), спричинена геометричними неточностями верстата в радіальному напрямку, $\Delta\epsilon = \Delta'\epsilon + \Delta''\epsilon$ де

Похибка від радіального биття ($\Delta'\epsilon$) шпинделя у головному напрямку;

Похибка ($\Delta''\epsilon$) через непаралельність осі шпинделя відносно напрямних станини у горизонтальній площині;

Похибка настроювання системи ВПід ($\Delta\eta$), що виникає під час встановлення необхідного розміру. При повторних налаштуваннях її характер є випадковим і змінюється в часі;

Похибка ($\Delta\upsilon$) від зміни деформацій системи ВПід, спричинена коливаннями сил різання внаслідок зміни механічних властивостей матеріалу та глибини різання (від t_{\max} до t_{\min}). Оскільки деталь є достатньо жорсткою, зміною податливості системи вздовж довжини різання можна знехтувати. Це також випадкова похибка;

Похибка (Δi), пов'язана зі зношуванням різця, має знак «-», належить до систематичних та закономірно змінних;

Похибка теплового походження (ΔT), спричинена нагріванням різця, береться зі знаком «+», також є систематичною та закономірною.

					МР.ПМКМ= 018.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

$\Delta_T = C \cdot \frac{L_p}{F} \cdot V^{0,78} \cdot S^{0,72} \cdot t^{0,5} \times$ $\frac{T_0}{T_0 + T_{пер}} \left(1 - e^{-\frac{4\tau}{\tau_m}} \right) =$ $= 4,5 \cdot \frac{40}{625} \cdot 307^{0,78} \cdot 0,2^{0,72} \times$ $1,39^{0,5} \cdot \frac{2,9}{2,9 + 0,28} \left(1 - e^{-\frac{4\tau}{16}} \right) =$ $= 25 \left(1 - e^{-\frac{\tau}{4}} \right)$	<p>C – константа; L_p і F – виліт різця в мм і площа поперечного перерізу його державки, мм²; σ_B – границя міцності оброблюваного матеріалу, кГ/мм²; t, S, V – режими різання; T_0, $T_{пер}$ – основний час обробки і тривалість перерв між обробкою кожної деталі, хв; τ_m – константа, змінюється в межах 12-24 хв.</p>	<p>C=4,5; V=307 м/хв; t=0,11мм; S=0,2 мм/об; $L_p=40$ мм; $F = hB = 25 \cdot 25 = 625$ мм² $\sigma_B=100$ кГ/мм²; $T_0=2,9$ хв. $T_{пер}=0,28$хв; $\tau_m=16$.</p>
---	--	---

Таблиця — Результати розрахунку систематичної похибки в мкм.

τ , хв	0	5	10	20	40	60	80
Δ_i	0	4,8	6,7	10,4	17,8	25,1	32,5
Δ_T	0	17,8	22,3	24,8	25	25	25
$\Delta_{сист} = 2(\Delta_T - \Delta_i)$	0	26	31,2	28,8	14,4	-0,2	-15

За отриманою діаграмою встановлюємо, що технологічна стійкість інструмента становить $T_t = 65$ хв. Оскільки його економічна стійкість дорівнює $T_e = 60$ хв, а $T_e < T_t$, то сумарна похибка обробки за даними діаграми дорівнює $\Delta_{сум} = 0,130$ мм.

Настроюваний розмір $d_{настр}$ за умови симетричного розміщення поля розсіювання дорівнює...

$$d_{настр} = d_{min} + \Delta_{сис. min} + 0,5\Delta_{Н.П} = 184 + 0,022 + 0,001 = 184,023 \text{ мм},$$

$\Delta_{сист min}$ – мінімально можлива систематична похибка, $\Delta_{сист min} = 0,022$ мм;

Питому частку C_j окремих первинних похибок у загальній похибці обробки визначаємо за такою формулою.

$$C_j = \frac{\Delta_j}{\Delta_{сум}} \cdot 100\% \quad \text{де } \Delta_j \text{ – величина } j\text{-ї похибки.}$$

Таблиця — Результати розрахунків.

Позначення похибки Δ_j	Δ_B	Δ_H	Δ_y	$\Delta_{м.н.}$	Δ_i	Δ_T	$\Delta_{сист}$
Значення похибки Δ_j , мм	0.009	0.04	0.09	0.096	0.013	0.021	0.034
C_j , %	6,9	30,8	69,2	73,8	10	16,2	26,2

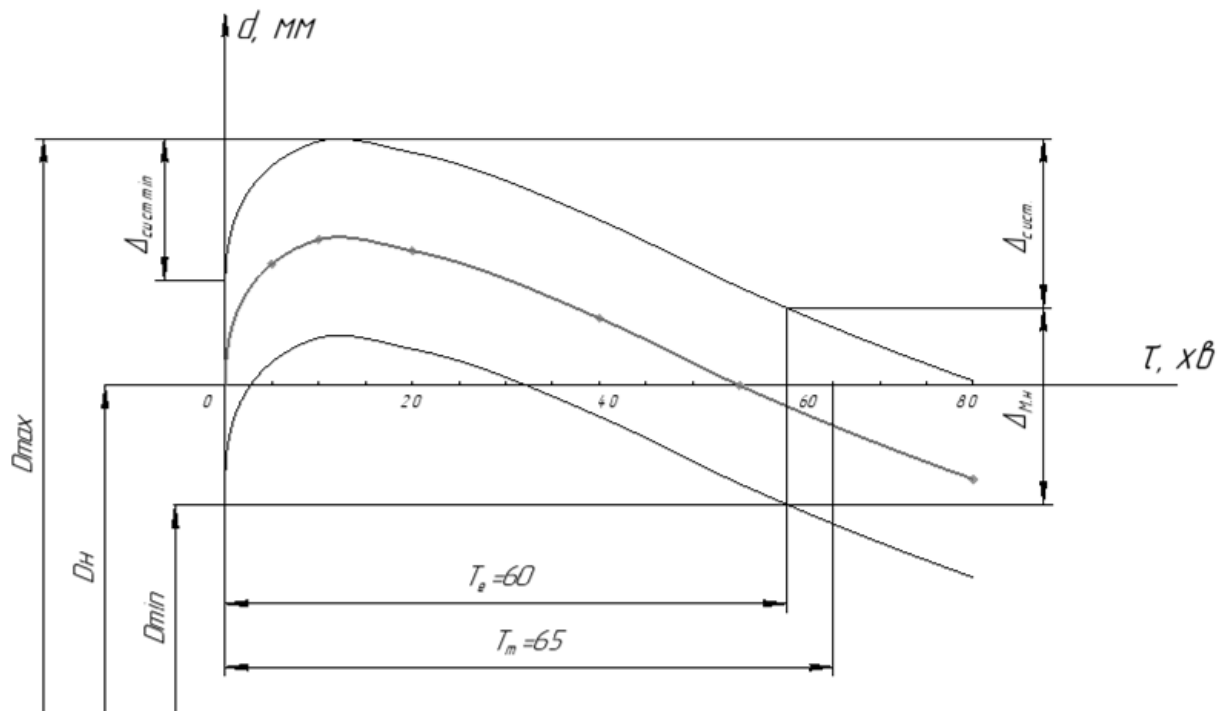


Рис. – Теоретична діаграма точності

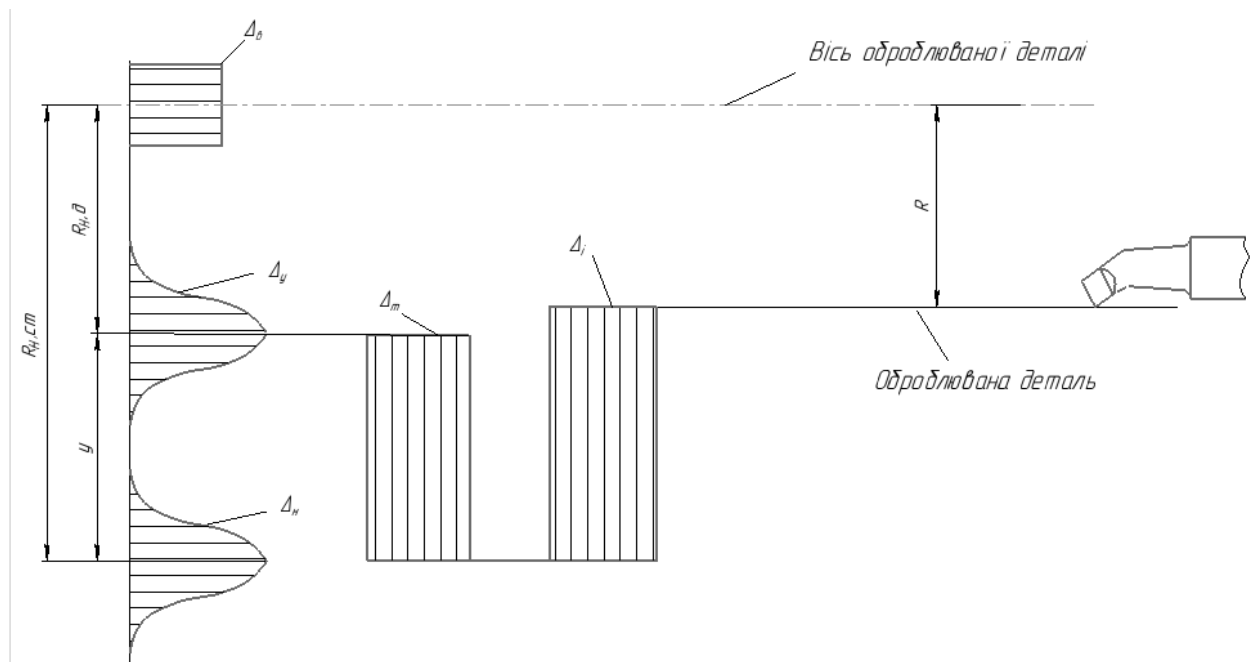


Рис. - Схема технологічного розмірного ланцюга

$R, R_{H,ст}, R_{H,д}$ – відповідно радіуси обробки (закриваюча ланка), статичного налаштування, динамічного налаштування.
 y – постійна складова похибки від деформації системи ВПІД під дією сил різання

						МР.ПМКМ= 018.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			50

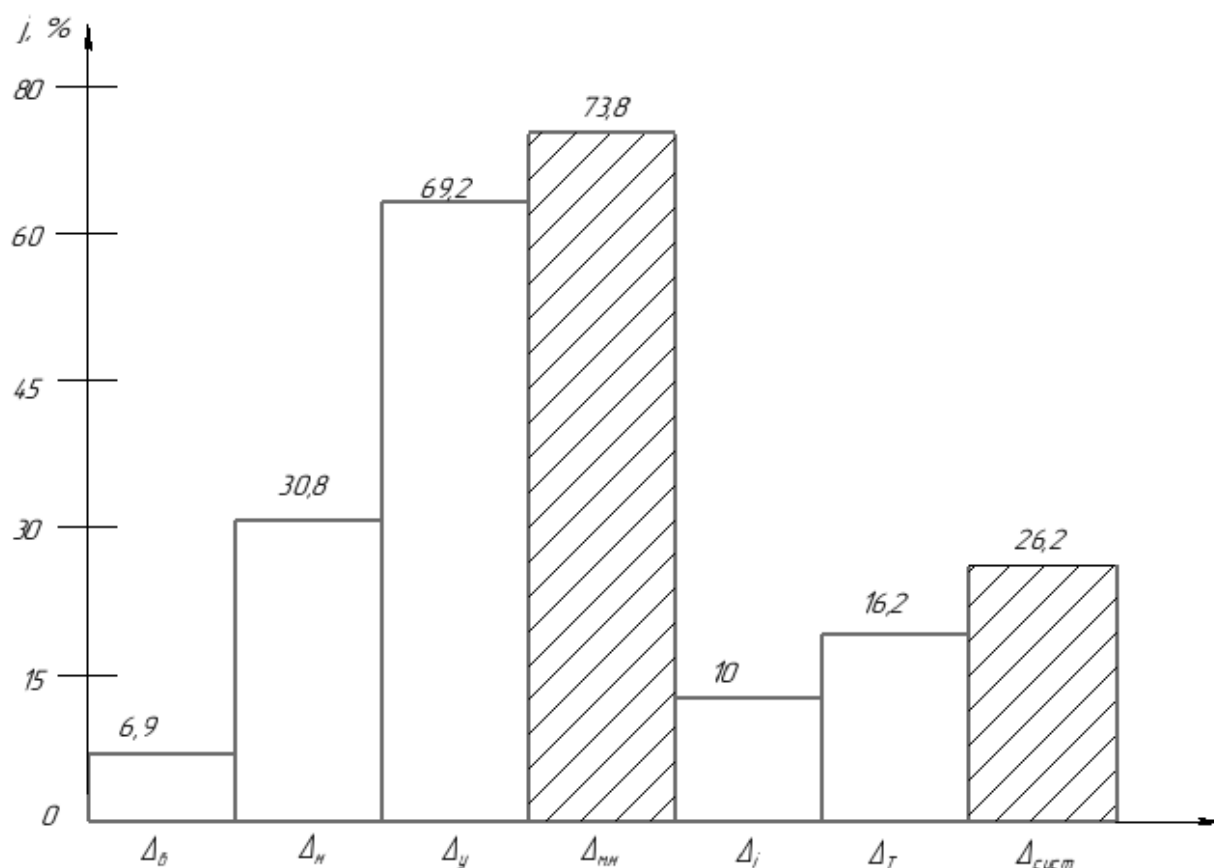


Рис. – Гістограма похибок

На основі аналізу гістограми похибок можна зробити висновок, що найбільший вплив на точність обробки має похибка миттєвого розсіювання розміру, яка додатково посилюється похибкою настроювання інструментально-вимірювальної системи. Саме ця складова формує домінуючу частку відхилень при отриманні діаметра оброблюваної поверхні, оскільки її коливання є найбільш значними та найчастіше проявляються у процесі різання.

Для підвищення стабільності та надійності забезпечення точності обробки доцільно застосувати низку технічних і технологічних заходів. Серед найефективніших варто відзначити використання якісної мастильно-охолоджувальної рідини (МОР), що дозволяє зменшити тертя, стабілізувати теплові деформації та покращити відведення стружки. Додатково істотно підвищити точність можна шляхом застосування інструмента з підвищеною

					МР.ПМКМ= 018.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

стійкістю, який менше піддається зношуванню та забезпечує стабільні параметри різання протягом тривалішого часу.

Комплексне впровадження таких заходів дозволить знизити величину випадкових та систематичних відхилень, тим самим забезпечуючи більш високу надійність та повторюваність результатів механічної обробки.

					МР.ПМК _М – 018.00.000 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4 Проектування керуючої програми обробки на верстаті з ЧПК

Проектування керуючої програми для обладнання з числовим програмним керуванням є ключовим етапом у підготовці високоточного та стабільного технологічного процесу обробки деталі «Проміжна фланцева втулка» (креслення ФВП.194.018-01). На цьому етапі здійснюється перенесення технологічних рішень, режимів різання, вибраних траєкторій та конструктивних особливостей деталі у формат послідовності команд, які забезпечують автоматизоване та безпомилкове виконання усіх запланованих операцій.

Керуюча програма визначає логіку поведінки інструмента під час формування зовнішніх та внутрішніх циліндричних поверхонь, обробки фасок, торців, канавок, а також при виконанні додаткових переходів, характерних для втулок фланцевого типу. Саме якість програмного коду визначає точність отримання посадкових розмірів, чистоту поверхні, повторюваність геометрії та відповідність деталі вимогам креслення ФВП.194.018-01.

При розробленні програми враховуються як геометричні особливості втулки — наявність фланця, глибоких отворів, технологічних виступів, так і умови її закріплення у верстатному пристрої. Це дає змогу підібрати оптимальні траєкторії руху різального інструмента, забезпечити мінімізацію холостих ходів та запобігти можливим колізіям.

Оскільки обробка втулок є однією з найбільш розповсюджених операцій у серійному та дрібносерійному виробництві, вимоги до керуючої програми значно підвищуються. Вона повинна гарантувати стабільність процесу, економічне використання ресурсу інструмента та можливість швидкої адаптації у разі зміни партії, матеріалу або умов закріплення. Коректно складений ЧПК-код дозволяє досягти високої продуктивності, зменшити ризик браку та забезпечити точне відтворення параметрів деталі відповідно до технічної документації.

					МР.ПМКМ– 018.00.000 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У нашому випадку виготовлення деталі «Проміжна фланцева втулка» (креслення ФВП.194.018-01) проектування керуючої програми потребує особливої уваги до геометричних параметрів деталі, черговості переходів та точного дотримання встановлених допусків. Оскільки втулка містить комбінацію зовнішніх і внутрішніх циліндричних поверхонь, фасок, торців та отворів, вибір стратегії обробки ґрунтується на поєднанні чорнових і чистових проходів з оптимізованими режимами різання. Важливим є формування такої траєкторії інструмента, яка забезпечить рівномірний знім матеріалу та мінімізацію похибок від вібрацій і теплових деформацій.

Методика розроблення програми включає поетапне формування кадрів, у яких задаються координати початку обробки, технологічні зсуви, корекції на радіус і довжину інструмента, а також параметри подачі та швидкості обертання шпинделя. Особливу увагу приділяють визначенню нульової точки деталі та системі координат, що забезпечує однозначну прив'язку всієї програми до фізичного розташування заготовки у пристрої.

Структура ЧПК-програми будується відповідно до вимог стандарту ISO (коди G та M), де кожний блок містить чітко визначене технологічне завдання. Коди групи **G** задають геометричні переміщення, типи інтерполяцій, встановлення режимів або технологічних параметрів. Наприклад, G00 використовується для швидких холостих переміщень, G01 — для лінійної інтерполяції при робочій подачі, G02 та G03 — для кругової інтерполяції за годинниковою або проти годинникової стрілки відповідно. Для точіння втулки характерним є застосування циклів G70–G76, що дозволяють автоматично виконувати чистове точіння, підрізання торців або нарізання різьби.

Коди групи **M** керують допоміжними функціями: увімкненням і вимкненням охолодження, запуском і зупинкою шпинделя, зміною інструмента, фіксацією патрона. Для виготовлення проміжної фланцевої втулки особливо важливими є команди, що забезпечують стабільність обробки —

					МР.ПМКМ– 018.00.000 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1	2	3
<pre>G01 Z[-#304] F200 G01 X[#512] Y[#513] F600 G01 X[#510] Y[#511] F600 #540 = #303 / 2 #541 = #540 * COS[(#300+90) * DEGREES] #542 = #540 * SIN[(#300+90) * DEGREES] #550 = #510 + #541 #551 = #511 + #542 #552 = #512 + #541 #553 = #513 + #542 G00 X[#550] Y[#551] Z[#100] G01 Z[-#304] F200 G01 X[#552] Y[#553] F600 G01 X[#550] Y[#551] F600 #560 = #510 - #541 #561 = #511 - #542 #562 = #512 - #541 #563 = #513 - #542 G00 X[#560] Y[#561] Z[#100] G01 Z[-#304] F200 G01 X[#562] Y[#563] F600 G01 X[#560] Y[#561] F600 M09 M05</pre>	<pre>T5 M06 S3000 M03 M08 G00 X0 Y0 Z[#100] G01 Z[-1] F200 G01 X50 Y0 F800 G01 X-50 Y0 F800 G00 Z[#100] M09 M05 T2 M06 S3000 M03 M08 #angle = 0 #i = 1 WHILE [#i LE 6] DO2 #xpos = #201 * COS[#angle * DEGREES] #ypos = #201 * SIN[#angle * DEGREES] G00 X[#xpos] Y[#ypos] Z[#100] G98 G81 Z[#103] R[#101] F150 #angle = #angle + 60 #i = #i + 1 END2 G80 M09 M05</pre>	<pre>T3 M06 S800 M03 M08 #angle = 0 #i = 1 WHILE [#i LE 6] DO3 #xpos = #201 * COS[#angle * DEGREES] #ypos = #201 * SIN[#angle * DEGREES] G00 X[#xpos] Y[#ypos] Z[#100] G84 Z[#103] R[#101] F800 #angle = #angle + 60 #i = #i + 1 END3 G80 M09 M05 T1 M06 S1400 M03 M08 M09 M05 G00 X0 Y0 Z[#100] M09 M01 M30 %</pre>

Проектування керуючої програми для обробки на верстаті з числовим програмним керуванням дозволяє автоматизувати виробничий процес, забезпечити високу точність та повторюваність обробки деталей, оптимізувати послідовність операцій і мінімізувати вплив людського фактору. Правильне визначення параметрів різання, траєкторій інструменту та безпечних висот сприяє ефективному виконанню технологічного процесу та підвищенню продуктивності верстата.

						Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МР.ПМКМ= 018.00.000 ПЗ	

3. ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ОСНАСТКИ

3.1 Проектування верстатного пристрою

Для виконання операції 025 на фрезерно-свердлильному верстаті Dugard 1000 необхідно забезпечити точне та стабільне розташування деталі, а також можливість виконання всіх технологічних етапів: фрезерування лиски, обробки пазу шириною 20 мм, центрування і свердління трьох отворів діаметром $\varnothing 18$ мм, свердління шести отворів під різьбу М6 ($\varnothing 5$ мм) та нарізування різьби М6-7Н. Проектування верстатного пристрою передбачає розробку механізму надійного кріплення деталі, фіксації її положення під час обробки та забезпечення безпечного та ефективного доступу інструменту до всіх поверхонь. Пристрій має враховувати послідовність операцій, технологічні припуски та характеристики обраного обладнання, що дозволяє оптимізувати процес і підвищити точність обробки.

Опис роботи пристрою

Деталь встановлюється на попередньо оброблений отвір діаметром 184 мм та фіксується на зрізаному пальці. Після розміщення деталі у робочому положенні у штокову порожнину пневмоциліндра подається стиснене повітря, що забезпечує переміщення поршня разом зі штоком у напрямку затискання. На штоку розташований паз, у який входить шайба для надійної фіксації деталі під час обробки. По завершенні технологічної операції повітря з циліндра випускається, поршень і шток піднімаються, забезпечуючи розтискання деталі. Після цього оброблена деталь знімається з пристрою, готова для подальшої обробки або контролю якості.

Розрахунок необхідних сил закріплення та приводу пристрою

Для забезпечення надійної фіксації деталі на верстатному пристрої під час обробки критично важливо визначити оптимальні значення сил закріплення та потужності приводу. Невідповідна сила затиску може призвести до зміщення або вібрацій деталі, що негативно впливає на точність і

					МР.ПМКМ= 018.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

якість обробки, тоді як надлишкова сила може пошкодити заготовку або сам пристрій. Розрахунок базується на аналізі технологічних навантажень, що виникають під час фрезерування, свердління та нарізування різьби, а також на характеристиках пневматичних або механічних приводів затискного вузла.

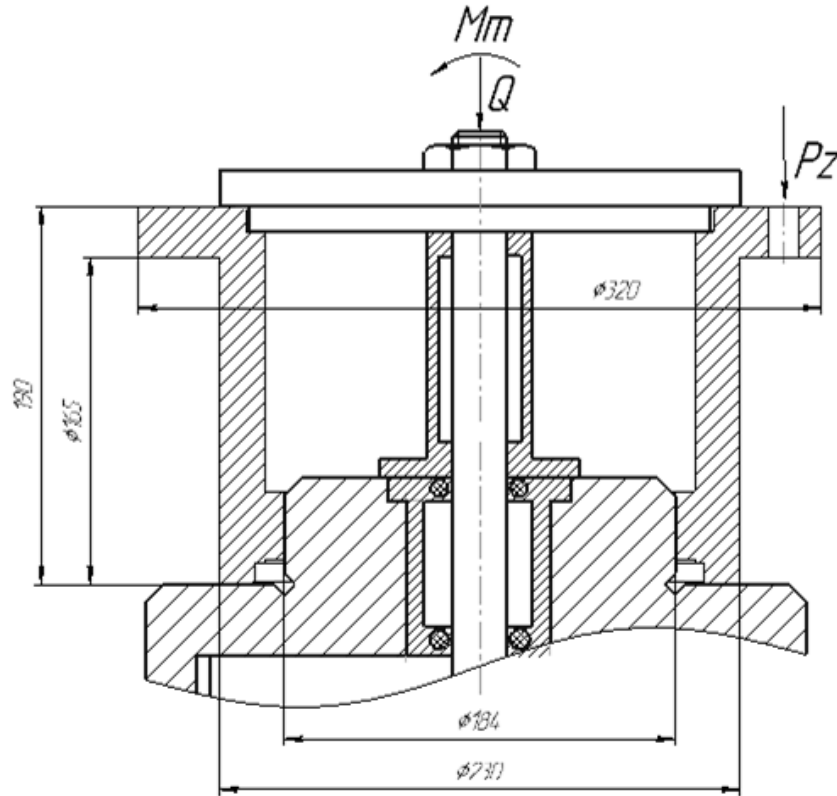


Рис 7- Схема розподілу сил, що впливають на заготовку.

$$\Sigma M = 0;$$

$$M_{кр} \cdot K - M_m = 0;$$

Тоді:

$$M_m = M_{m1} + M_{m2};$$

Розраховуємо силу різання: $P_x = 9,81 C_p \cdot D^{x_p} \cdot S^{y_p} \cdot K_{M_p}$.

Згідно таблиці 32 с.281 [] знаходимо коефіцієнти

$$C_p = 31,5, \quad q_p = 1,0, \quad Y_p = 0,8, \quad X_p = 1$$

$$K_p = 0,7,$$

$$\text{Тоді } P = 9,81 \cdot 31,5 \cdot 18^1 \cdot 0,3^{0,8} \cdot 0,7 = 874 \text{ Н}$$

					МР.ПМКМ= 018.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Коефіцієнт запасу:

$$k = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6$$

де k_0 - гарантований коефіцієнт запасу; $k_0=1,5$;

k_1 - коефіцієнт, який враховує збільшення сил різання через нерівності на оброблюваній поверхні; $k_1=1,2$;

k_2 - коефіцієнт, який характеризує збільшення сил різання внаслідок затуплення інструменту; $k_2=1,4$;

k_3 - коефіцієнт, який враховує збільшення сил різання при перервному різанні; $k_3=1$;

k_4 - коефіцієнт, який характеризує постійність сили закріплення в механізмах затиску; $k_4=1$;

k_5 - коефіцієнт, який характеризує ергономіку ручних механізмів затиску; $k_5=1$;

k_6 - коефіцієнт, який враховує моменти, які повертають заготовку встановлену плоскою поверхнею на постійні опори; $k_6=1,5$;

$$k = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,4 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5 = 2,73;$$

$$M_p = 874 \cdot \frac{0,28}{2} \cdot 2,73 = 334,04 \quad \frac{M_p}{2} = M_m = \frac{334,04}{2} = 167,02$$

$$M_m = Q \cdot \frac{1}{3} \cdot f \cdot \frac{d_2^3 - d_1^3}{d_2^2 - d_1^2} \quad M_{m1} = Q \cdot \frac{1}{3} \cdot f \cdot \frac{d_{33}^3 - d_{03}^3}{d_{33}^2 - d_{03}^2}$$

де f_1 і f_2 - коефіцієнти тертя ковзання між поверхнею заготовки, установчих і затискних елементів пристрою; $f_1 = f_2 = 0,15$.

$$Q_1 = \frac{M_{m1}}{f \cdot \frac{d_2^3 - d_1^3}{d_2^2 - d_1^2}} = \frac{167,02}{0,16 \cdot \frac{0,230^3 - 0,205^3}{0,230^2 - 0,205^2}} = 1417H$$

$$Q_2 = \frac{M_{m1}}{f \cdot \frac{d_{33}^3 - d_{03}^3}{d_{33}^2 - d_{03}^2}} = \frac{167,02}{0,15 \cdot \frac{0,230^3 - 0,184^3}{0,230^2 - 0,184^2}} = 1522H$$

$$Q = Q_1 + Q_2 = 1417 + 1522 = 2939H$$

					МР.ПМКМ= 018.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

Підбір виду затискача та визначення його конструктивних параметрів.

В процесі проектування верстатного пристрою особливу увагу необхідно приділити вибору затискача, який забезпечує надійне та точне утримання заготовки під час обробки. Правильне визначення типу затискача та його конструктивних розмірів впливає не лише на стабільність позиціонування деталі, а й на загальну точність та ефективність виконання технологічних операцій. У цьому розділі розглядаються критерії підбору затискача та методика визначення його габаритних і функціональних параметрів.

Для утримання заготовки при обробці використовується пневматичний кріпильний пристрій із пневмоциліндром і змінною шайбою.

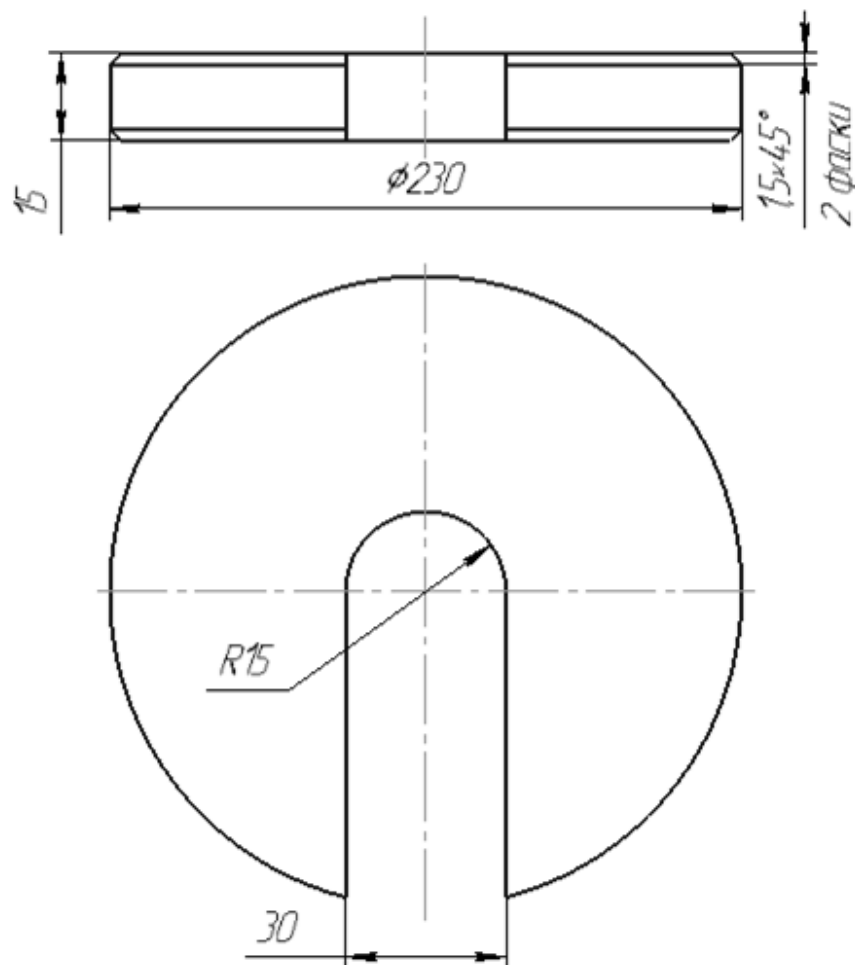


Рис. 8.1 - Габаритні та функціональні параметри шайби.

					МР.ПМКМ= 018.00.000 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В якості приводу обирається пневмоциліндр, конструктивні розміри якого визначаються за відповідною формулою:

$$Q = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot \rho \cdot \eta$$

$$D_u = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \cdot \rho \cdot \eta}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2939}{3,14 \cdot 0,4 \cdot 0,75}} = \sqrt{12479,8} = 112 \text{ мм}$$

де $\eta = 0,75$ – механічний коефіцієнт корисної дії; $\rho = 0,4-0,6$ тиск повітря.

Щоб забезпечити необхідну точність фіксації заготовки, обираємо двосторонній пневмоциліндр відповідно до ДСТУ 15608-70, приймаючи діаметр поршня $D = 112$ мм.

Знаходимо діаметр штока : $d_u = 30 \text{ мм}$

Штовхаюча сила: $Q_u = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot \rho \cdot \eta$;

$$Q_u = \frac{3,14}{4} \cdot 112^2 \cdot 0,4 \cdot 0,75 = 2355 \text{ Н};$$

Тягова сила: $Q^1_u = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot \rho \cdot \eta$;

$$Q^1_u = \frac{3,14}{4} \cdot (112^2 - 30^2) \cdot 0,4 \cdot 0,75 = 2208 \text{ Н};$$

Проводиться детальний розрахунок на міцність та зносостійкість для найбільш навантажених та рухомих елементів верстатного пристрою.

Особлива увага приділяється штоку, який є потенційно слабкою ланкою конструкції через роботу під стискаючими навантаженнями.

Для оцінки його надійності визначається допустиме напруження матеріалу штока та проводиться порівняння з максимально очікуваним експлуатаційним навантаженням. Результати розрахунків показують, що напруження, що виникає в штоку, не перевищує допустимих значень, а отже, умови міцності та безпечної експлуатації елемента виконуються. Це свідчить

					МР.ПМКМ= 018.00.000 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

про те, що конструкція штока здатна витримувати передбачені робочі навантаження без ризику деформацій або передчасного зносу.

$$\sigma = \frac{F}{Q} = \frac{4Q}{\pi D^2} = \frac{4 \cdot 2207,81}{3,14 \cdot 30^2} = 4,49 \text{ Мпа} < [\sigma] = 80 \text{ Мпа};$$

Отже умова виконується

Розрахунок опорних елементів на зносостійкість

Одним із ключових етапів проектування верстатного пристрою є оцінка довговічності його опорних елементів. Розрахунок опори на зносостійкість дозволяє визначити здатність матеріалу витримувати тривалі експлуатаційні навантаження без втрати працездатності та забезпечує надійну роботу пристрою протягом заданого терміну служби.

Визначаємо спрацювання опорних елементів пристрою пристрою

Зміщення упорних елементів в наслідок спрацювання $\Delta_{\text{сп}} = N/C$

де $N_{\text{річ}}$ – число установок, C – зносостійкість.

$$N_{\text{річ}} = 15000$$

Зносостійкість визначаємо за критерієм Π_1 і Π_2

Критерій зносостійкості Π_1 для сталі 45. $\Pi_1 = 0,45$

Визначаємо зусилля, що діє на опору $Q = 2208 \text{ Н}$

Твердість опори $HV = 615 \dots 717$

Номінальна площа контакту опори $F_{\text{табл}} = 16,5 \text{ мм}^2$

$$F = (0,1 \cdot Q)^{0,5} \cdot F_{\text{табл}} = (0,1 \cdot 2,208)^{0,5} \cdot 16,5 = 7,75 \text{ мм}^2$$

Критерій завантаженості опори

$$\Pi_2 = Q / HV \cdot F = 2208 / 630 \cdot 7,75 = 0,452$$

Визначаємо зносостійкість $C = 1440$

Величина спрацювання $\Delta_{\text{сп}} = 15000 / 1440 = 10,42 \text{ мкм}$

Порівняння з допустимим: $\Delta_{\text{сп, доп}} = 50 \text{ мкм}$

$$\Delta_{\text{сп}} = 10,42 \text{ мкм} < \Delta_{\text{сп, доп}} = 50 \text{ мкм}$$

Проведений аналіз показує, що обрана конструкція та матеріали опори забезпечують достатню зносостійкість для передбачених умов експлуатації.

					МР.ПМКМ– 018.00.000 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Максимальні контактні напруження та навантаження знаходяться в межах допустимих значень, що гарантує тривалу та надійну роботу елементів пристрою без передчасного зношування або втрати точності. Таким чином, вимога щодо зносостійкості вважається виконаною.

3.2 Розробка контрольного пристрою

Контрольний пристрій є невід'ємним елементом технологічного процесу, що забезпечує високу точність вимірювань та контроль геометричних параметрів оброблюваних деталей. Його основне призначення полягає у перевірці перпендикулярності торця деталі відносно її осі.

Призначення, будова та принцип роботи пристрою

Пристрій складається з кількох функціональних елементів: плити, на якій монтується стійка з індикатором, корпусу з цангою для надійного закріплення деталі. Така конструкція дозволяє точно позиціонувати деталь і забезпечує стабільний контакт індикатора з контролюваною поверхнею, що гарантує достовірність вимірювань. Принцип роботи пристрою базується на механічному контакті індикатора з торцем деталі та передачі відхилення на шкалу приладу для точного визначення будь-яких геометричних похибок.

Визначення похибки вимірювання

Одним із ключових етапів контролю якості є визначення похибки вимірювання, оскільки точність отриманих даних безпосередньо впливає на достовірність оцінки геометричних параметрів деталі. У цьому пункті розглядаються методи оцінки похибки, її джерела та способи мінімізації для забезпечення максимальної надійності результатів контролю.

Загальна похибка вирівнювання обчислюється за наступною формулою:

$$\Delta_{ВИМ} = 1,2 \cdot \sqrt{\varepsilon_0^2 + \varepsilon_3^2 + \Delta_{3.В.}^2 + \Delta_e^2 + \Delta_m^2},$$

ε_0 – похибка базування. Для нашого випадку при базуванні $\varepsilon_0 = 0$

ε_3 – похибка закріплення. $\varepsilon_3 = 0$, так як в процесі контролю деталь практично не закріплюється.

					МР.ПМКМ– 018.00.000 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Δ_e – похибка виготовлення еталона для налагодження пристрою. $\Delta_e = 0$ – оскільки пристрій не потребує еталонного налагодження;

Δ_m – похибки, властиві для даного методу вимірювання; Сюди входить максимальний зазор між отвором коромисла 10 та пальця 11, який становить 0,05 мм. І похибка вимірювання індикатором. В нашому пристрої ми використовуємо індикатор з ціною поділки 0,01, а отже він буде давати похибку вимірювання 0,005.

$$\Delta_{ВИМ} = 1,2 \cdot \sqrt{0,05^2 + 0,005^2} = 0,06 \text{ мм.}$$

Отримане значення співставимо з допуском $T_d = 0,5$ мм. на параметр точності, що перевіряється $\Delta_{ВИМ} \leq (0,1 - 0,25)T_d = 0,25 \cdot 0,5 = 0,125 \text{ мм.}$

Проведений аналіз показує, що обрана методика вимірювань і конструкція контрольного пристрою забезпечують належну точність визначення перпендикулярності торця деталі відносно її осі. Максимальні похибки вимірювань знаходяться в межах допустимих значень, що гарантує достовірність отриманих результатів. Отже, можна зробити висновок, що точність контролю забезпечена, а пристрій придатний для використання в процесі технологічного контролю деталей.

3.4. Проектування інструмента (спірального свердла Ø18мм)

Проектування робочого інструмента є важливим етапом технологічного процесу, оскільки від геометричних параметрів свердла залежить точність обробки, ефективність різання та довговічність інструмента. У даному розділі розглядаються основні конструктивні характеристики спірального свердла діаметром 18 мм, принципи вибору матеріалу та визначення параметрів різальної частини, що забезпечують оптимальні умови свердління отворів у заготовці.

1. Вибираємо діаметр свердла 18 згідно ДСТУ 10903-77

					МР.ПМКМ= 018.00.000 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Визначаємо режими різання. Режими різання визначені попередньо в технологічній частині.

3. Визначаємо осьову силу різання згідно формули:

$$P_x = 9,81 C_p \cdot D^{x_p} \cdot S^{y_p} \cdot K_{M_p}.$$

Згідно таблиці 32 с.281 [] знаходимо коефіцієнти

$$C_p = 31,5, \quad q_p = 1,0, \quad Y_p = 0,8, \quad X_p = 1$$

$$K_p = 0,7,$$

$$\text{Тоді } P_x = 9,81 \cdot 31,5 \cdot 18^1 \cdot 0,3^{0,8} \cdot 0,7 = 1486 \text{ Н}$$

4. Момент сил опору різання (крутний момент)

$$M_{CP} = 9,81 C_M D^{z_M} S^{y_M} K_{M_M}.$$

Згідно таблиці 32 с.281 [] знаходимо коефіцієнти для формули:

$$C_M = 0,012, \quad q_M = 2,0, \quad Y_M = 0,8,$$

$$K_M = 0,7,$$

$$\text{Тоді } M_{CP} = 9,81 \cdot 0,012 \cdot 18^2 \cdot 0,3^{0,8} \cdot 0,7 = 10,2 \text{ Нм}.$$

5. Визначаємо номер конуса хвостовика.

Момент тертя між хвостовиком та втулкою рівний:

$$M_{TP} = \frac{\mu P_x (D_1 + d_2)}{4 \sin \theta} (1 - 0,4 \Delta \theta).$$

Прирівнюємо момент тертя до максимального моменту сил опору різанню, тобто до моменту який створюється при роботі затупленим свердлом, який збільшиться в 3 рази в порівнянні з розрахованим моментом.

$$3M_{CP} = M_{TP} = \frac{\mu P_x (D_1 + d_2)}{4 \sin \theta} (1 - 0,4 \Delta \theta)$$

					МР.ПМКМ= 018.00.000 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

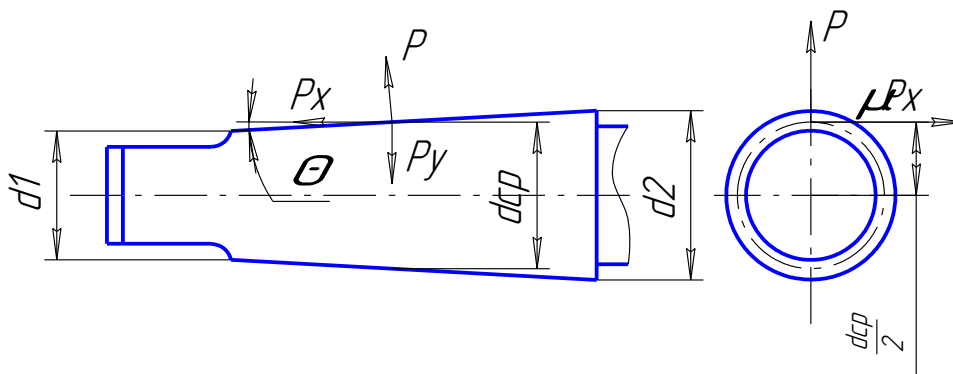


Схема сил, діючих на конічний хвостовик свердла.

Середній діаметр конуса хвостовика

$$d_{cp} = \frac{D_1 + d_2}{2} \quad \text{або} \quad d_{cp} = \frac{6M_{cp} \sin \theta}{\mu P_x (1 - 0.04\Delta)}$$

де M_{cp} – 10,2 Нм, P_x – 1486 Н,

μ – коефіцієнт тертя сталі по сталі рівний 0,096,

$\theta = 1^{\circ}26'16''$ – половина кута конуса, $\Delta\theta = 5'$ – відхилення кута конуса.

$$d_{cp} = \frac{6 \cdot 10,2 \cdot \sin 1^{\circ}26'16''}{0,096 \cdot 1486(1 - 0,2)} = 0,01778 = 17,78 \text{ мм}$$

По ДСТУ 2847-67 вибираємо ближчий більший конус, тобто конус Морзе №2 з лапкою з наступними основними конструктивними розмірами: $D_1=18,0$ мм, $d_2=14,0$ мм, $l_1=80,0$ мм. Інші розміри вказані на кресленні.

6. Визначаємо довжину свердла. Загальна довжина свердла може бути прийнята по ДСТУ 10903-64 і проставляємо на кресленні.

7. Визначаємо геометричні і конструктивні параметри різальної частини свердла.

Згідно нормативів знаходимо форму загострення нормальну, кут нахилу гвинтової канавки $\omega = 30^{\circ}$.

Кут між ріжучими кромками $2\varphi = 118^{\circ}$.

Задній кут $\alpha = 11^{\circ}$.

Кут нахилу поперечної кромки $\psi = 55^{\circ}$.

Знаходимо крок гвинтової канавки за формулою

									Арк.
									66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МР.ПМКМ= 018.00.000 ПЗ				

$$H = \frac{\pi D}{\operatorname{tg} \omega} = \frac{3,14 \cdot 18}{\operatorname{tg} 30^\circ} = 97,45 \text{ мм}$$

8. Товщина серцевини свердла знаходимо в залежності від діаметра свердла $d_c = (0,14 \dots 0,25)D = 2,52 \dots 4,5 \text{ мм}$ і приймаємо 3,0 мм. Потовщення серцевини до хвостовика складає 1,4 – 1,8 мм, приймаємо потовщення 1,5 мм на 100 мм довжини.

9. Зворотна конусність свердла на 100 мм довжини робочої частини знаходиться в межах 0,05 – 0,12, ми приймаємо 0,08.

10. Вибираємо ширину стрічки f_0 і висоту затилування k по спинці і вибираємо [т 59 с. 124], в залежності від діаметра свердла $f_0 = 2 \text{ мм}$ $K = 0,9$.

11. Ширина пера $B = 0,58D = 0,58 \cdot 18 = 10,44 \text{ мм}$

12. Геометричні елементи профілю фрези для фрезерування канавки свердла визначають графічним або аналітичним способом. Скористаємось спрощеним аналітичним способом.

Великий радіус профілю

$$R_0 = C_R C_r C_\phi D,$$

де

$$C_R = \frac{0,026 \cdot 2\varphi \sqrt[3]{2\varphi}}{\omega} = \frac{0,026 \cdot 118 \sqrt[3]{118}}{30} = 0,493$$

$$C_r = \left(\frac{0,14 \cdot D}{d_c} \right)^{0,044} = \left(\frac{0,14 \cdot 18}{3,0} \right)^{0,044} = 0,992$$

$$C_\phi = \left(\frac{13\sqrt{D}}{D_\phi} \right)^{0,9}.$$

при діаметрі фрези, рівному $D_\phi = 13\sqrt{D}$, величина $C_\phi = 1$.

А значить, $R_0 = 0,493 \cdot 0,992 \cdot 1 \cdot 18 = 8,8 \text{ мм}$

Менший радіус профілю $R_k = C_k D$, де $C_k = 0,015\omega^{0,75} = 0,015 \cdot 30^{0,75} = 0,191$.

Значить, $R_k = 0,191 \cdot 18 = 3,44 \text{ мм}$.

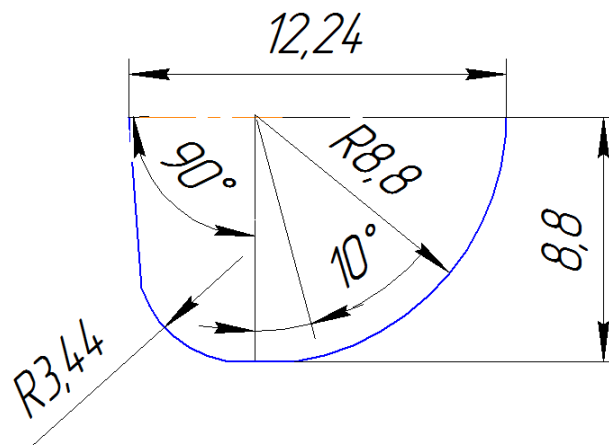
Ширина профілю $B = R_0 + R_k = 8,8 + 3,44 = 12,24 \text{ мм}$

					МР.ПМКМ= 018.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

13. По знайденим розмірам будуємо профіль канавкової фрези рис. .

Встановлюємо основні тех. вимоги і допуски на свердло по ДСТУ 2034-64.

Граничні відхилення діаметрів свердла по ГОСТ 885-64. $D = 18_{-0,043}^{мм}$.



Профіль канавкової фрези

Встановлюємо основні технічні вимоги і допуски на розміри свердла
Радіальне биття робочої частини свердла відносно осі хвостовика не повинна перевищувати 0,15 мм.

Граничні відхилення кутів $2\varphi = 118 \pm 2^\circ$.

Граничні відхилення кута нахилу гвинтової канавки $\omega = 30_{-2}^\circ$.

Твердість робочої частини свердла HRC 62...65.

Твердість лапки хвостовика свердла HRC 30...45.

Граничні відхилення діаметра свердла $D = 18h9_{(-0,036)}$ мм.

Допуск на загальну довжину свердла і довжину робочої частини свердла рівний подвоєному допуску по 14-му квалітету з симетричним розміщенням граничних відхилень $\left(\pm \frac{IT14}{2} \right)$ по ДСТУ 25347-82.

Граничні відхилення розмірів хвостовика встановлюють по ДСТУ 2848-75 .

					МР.ПМКМ= 018.00.000 ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. НАУКОВО-ДОСЛІДНА

ДОСЛІДЖЕННЯ ВТОМНОЇ МІЦНОСТІ ФЛАНЦЕВОЇ ВТУЛКИ ПРИ КОМБІНОВАНОМУ НАВАНТАЖЕННІ

У сучасному машинобудуванні підвищення надійності та довговічності елементів конструкцій є одним із пріоритетних завдань, особливо для деталей, що працюють в умовах змінних та складних режимів навантаження. Значна частина відмов машин і механізмів пов'язана з процесами втомного руйнування, які розвиваються при тривалій дії циклічних напружень, часто менших за границю текучості матеріалу. У цьому контексті особливу увагу привертають з'єднувальні елементи, зокрема фланцеві втулки, які широко застосовуються в приводних, опорних та корпусних вузлах машин.

Фланцева втулка в процесі експлуатації зазнає дії комбінованого навантаження, що включає згин, кручення та осьові сили. Такий характер навантаження призводить до складного напружено-деформованого стану з локальними концентраціями напружень у зонах переходів перерізів, галтелей і отворів. За цих умов оцінювання втомної міцності лише на основі класичних одновісних моделей є недостатнім і потребує застосування розширених підходів до аналізу втомної довговічності.

Науково-дослідний розділ даної магістерської роботи присвячений дослідженню втомної міцності фланцевої втулки при комбінованому навантаженні з урахуванням геометричних особливостей деталі, властивостей матеріалу та реальних умов експлуатації. У межах розділу проводиться аналіз напружено-деформованого стану, визначаються критичні зони зародження втомних тріщин та оцінюється вплив параметрів навантаження на втомну довговічність деталі.

Актуальність теми дослідження. В умовах сучасного машинобудування та енергомашинобудування питання забезпечення втомної міцності та довговічності деталей машин набувають особливої актуальності у зв'язку зі

					МР.ПМКМ– 018.00.000 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зростанням навантажень, швидкостей обертання та вимог до надійності обладнання. Значна кількість відмов елементів машинних конструкцій пов'язана з розвитком втомних пошкоджень, які виникають за тривалої дії змінних і комбінованих навантажень.

Метою даного дослідження є оцінювання втомної міцності фланцевої втулки при комбінованому навантаженні шляхом аналізу її напружено-деформованого стану та визначення впливу параметрів навантаження і геометрії деталі на втомну довговічність.

Об'єктом дослідження є фланцева втулка як елемент машинобудівної конструкції, що працює в умовах циклічного комбінованого навантаження.

Предметом дослідження є процеси формування напружено-деформованого стану та втомного руйнування фланцевої втулки при дії комбінованих змінних навантажень.

Вхідні дані

1. Геометрія 3D-моделі втулки.
2. Матеріал — повні механічні характеристики.
3. Навантаження: амплітуда і знак осьового зусилля, амплітуда крутного моменту, поперечні/бічні сили.
4. Модель попереднього натягу болтів і контактні умови.

Визначення вхідних амплітуд

Осьове напруження від осьового зусилля

$$\sigma_{axial} = \frac{F}{A}, \quad A = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)$$

де D і d — зовнішній і внутрішній діаметр у перетині.

Згинальне (від моменту) — для кільцевого перерізу

$$I = \frac{\pi}{64}(D^4 - d^4), \quad \sigma_{bending} = \frac{M \cdot r}{I}$$

де r — відстань до контрольної точки (наприклад, зовнішній радіус $D/2$).

Від крутного моменту

					МР.ПМКМ= 018.00.000 ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

для кругового кільцевого перерізу:

$$J = \frac{\pi}{32}(D^4 - d^4), \quad \tau = \frac{M_t \cdot r}{J}$$

Комбіновані напруження отримуються за правилом суперпозиції (нормальні + дотичні — для оцінки еквівалентної напруги застосовуємо критерій Вон Місса).

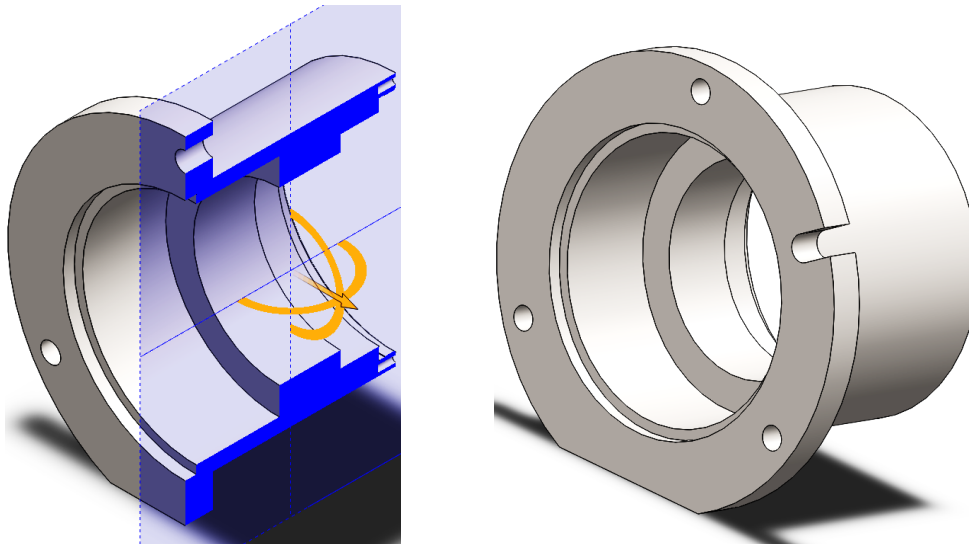


Рис.4.1 - Параметрична 3Д модель деталі «Проміжна фланцева втулка»

Результати чисельного моделювання. У моделі було встановлено, що комбінований режим навантаження (згинально-крутильний) формує складний тривимірний напружений стан із локалізацією максимальних еквівалентних напружень у зоні радіусного переходу «фланець–тіло втулки». Аналіз за методом скінченних елементів (FEM) показав, що найбільший внесок у напружений стан забезпечують змінні радіальні згинальні напруження, що формують концентрації напружень $K_t \approx 2,1$.

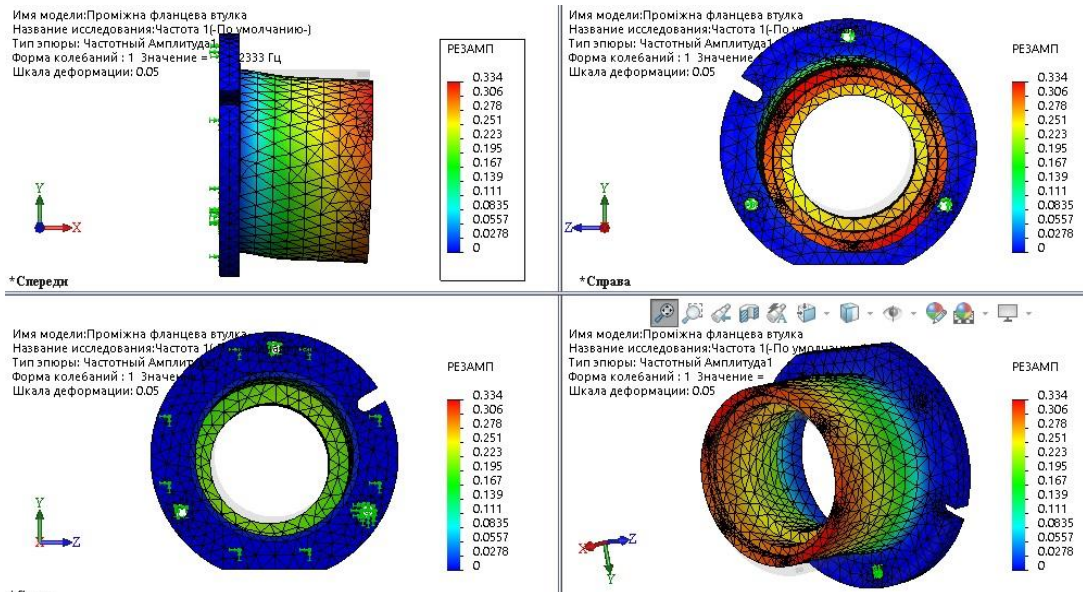
Таблиця 1 - Основні результати FEM-аналізу

Параметр	Значення
Максимальні еквівалентні напруження σ_{eq}	185 МПа
Допустиме за Гудманом при даних режимах	200 МПа
Максимальна деформація ϵ_{max}	0,0018
Зона концентрації (K_t)	2,1
Прогнозована довговічність (N_{calc})	$2,1 \times 10^6$ циклів

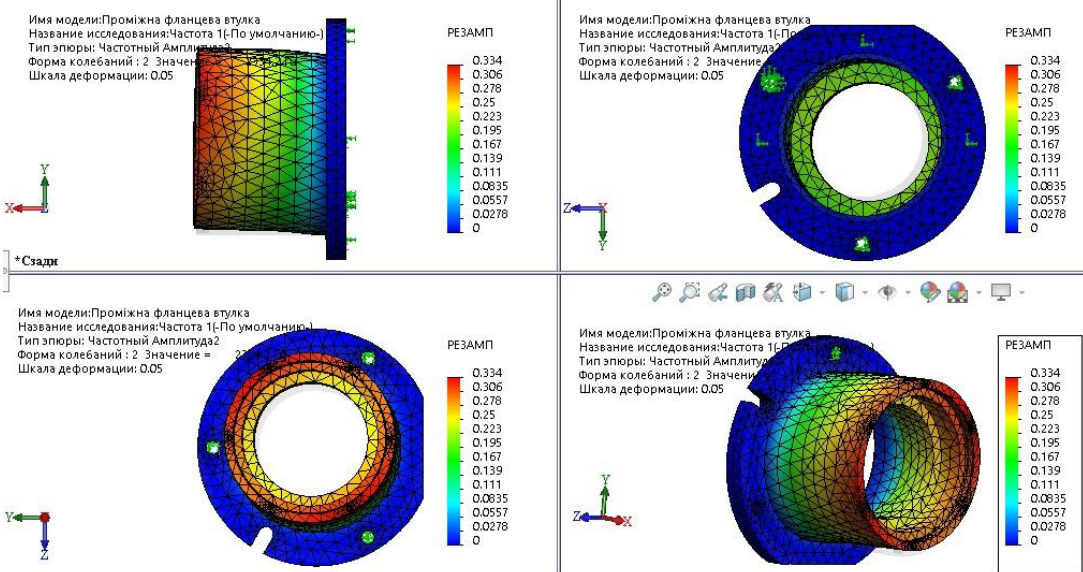
Максимальні σ_{eq} знаходяться нижче допустимих за критерієм Гудмана, що свідчить про потенційну втотмну безпеку при заданих режимах навантаження.

Частотний аналіз і оцінка втомного ресурсу.

Частотне моделювання дозволило визначити власні частоти та відповідні форми коливань фланцевої втулки. Аналіз амплітуд коливань показав наявність груп критичних форм у діапазоні 2,3–2,5 кГц, які характеризуються підвищеним рівнем деформацій.

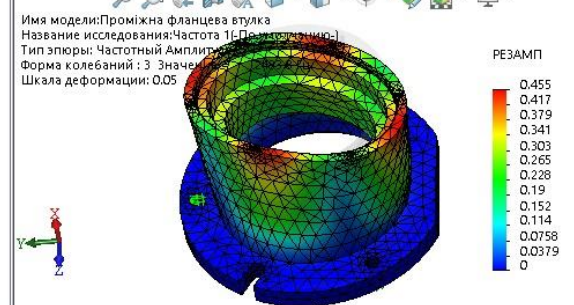
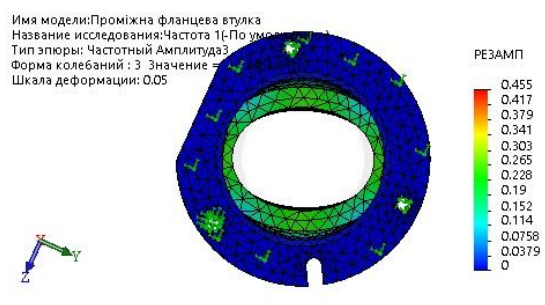
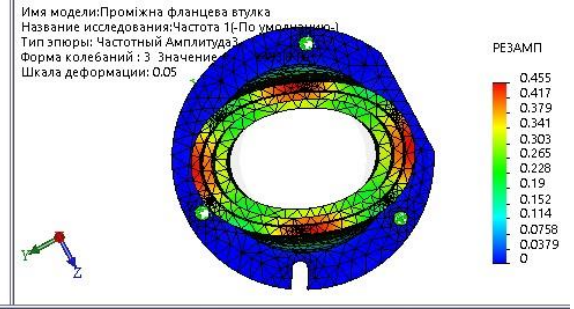
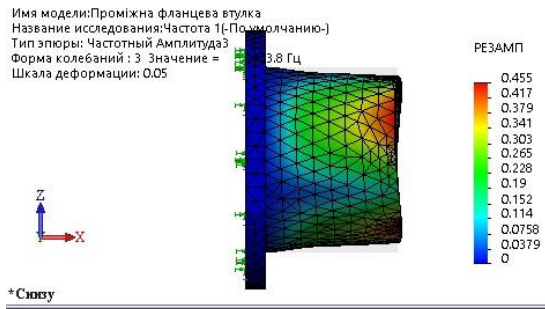


Результуюча амплітуда (форма коливань 1) проміжної фланцевої втулки

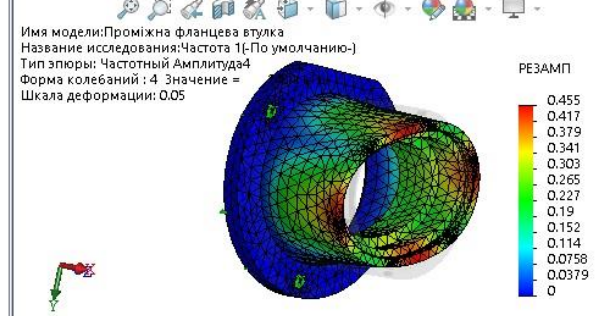
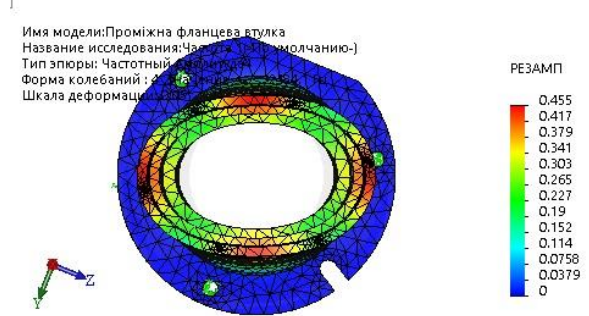
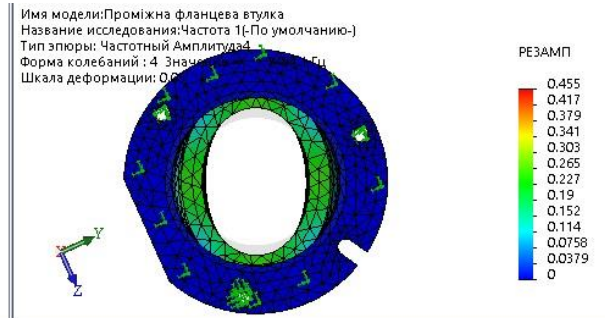
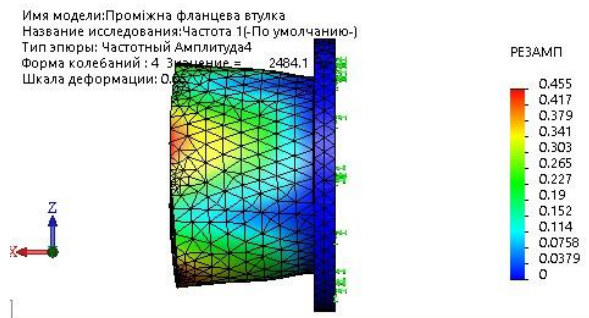


Результуюча амплітуда (форма коливань 2) проміжної фланцевої втулки

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



Результуюча амплітуда (форма коливань 3) проміжної фланцевої втулки



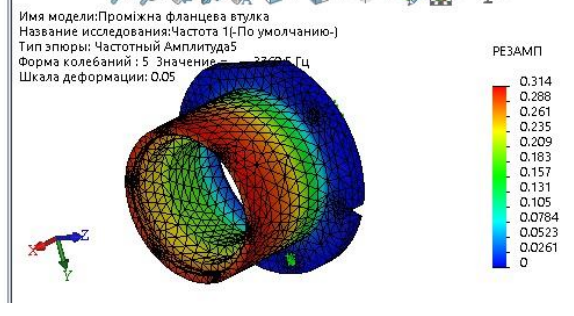
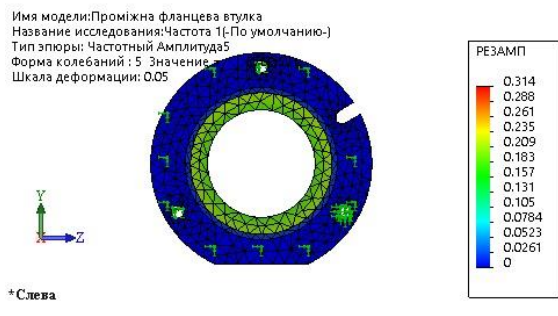
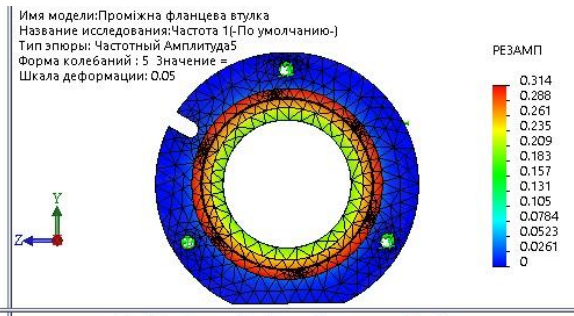
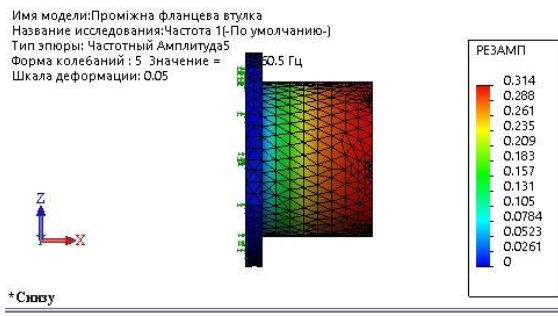
Результуюча амплітуда (форма коливань 4) проміжної фланцевої втулки

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

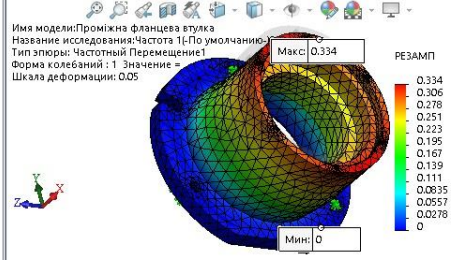
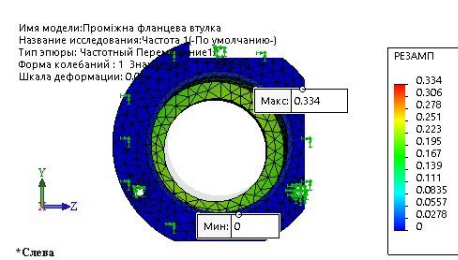
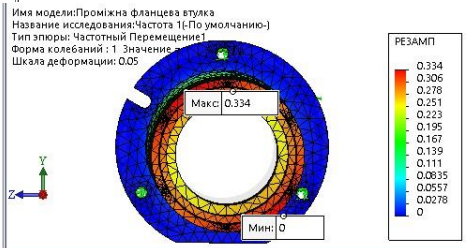
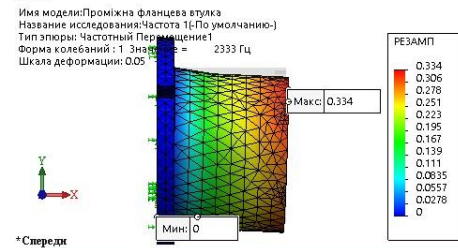
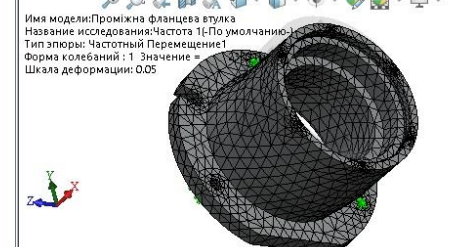
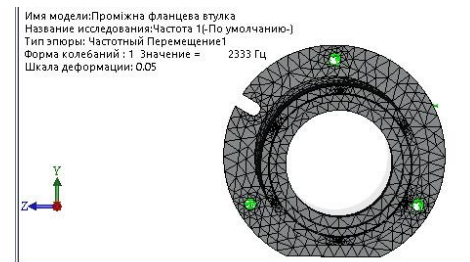
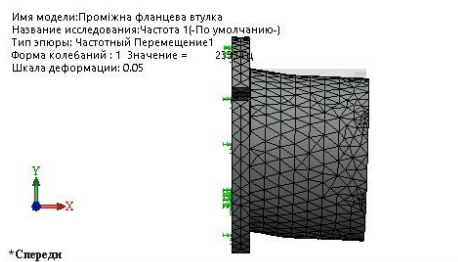
МР.ПМКМ= 018.00.000 ПЗ

Арк.

74



Результуюча амплітуда (форма коливань 5) проміжної фланцевої втулки



Результуюча амплітуда (форма коливань 6) проміжної фланцевої втулки

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МР.ПМКМ= 018.00.000 ПЗ

Арк.

75

№	Частота, Гц	Макс. амплітуда	Тип	Кількість циклів до руйнування N, циклів
1	2	3	4	5
1	2333,0	0,334	вигин	$9,8 \times 10^5$
2	2334,2	0,334	вигин	$9,8 \times 10^5$
3	2483,8	0,355	вигин + кручення	$8,1 \times 10^5$
4	2484,1	0,455	вигин + кручення (критична)	$3,9 \times 10^5$
5	3760,5	0,314	локальна форма	$1,2 \times 10^6$
6	2333,0	0,334	переміщення	$9,8 \times 10^5$

Проведений частотний аналіз фланцевої втулки дозволив встановити спектр власних частот і відповідних форм коливань, які визначають динамічну поведінку деталі при комбінованому навантаженні. Аналіз результатуючих амплітуд коливань показав, що у діапазоні частот 2,3–2,5 кГц реалізуються форми з підвищеним рівнем деформацій, які є потенційно небезпечними з точки зору втомної міцності.

Особливу увагу привертає четверта форма коливань з частотою 2484,1 Гц, для якої зафіксовано максимальну амплітуду результатуючих переміщень. Дана форма має виражений згинально-крутильний характер і супроводжується локалізацією деформацій у зоні радіусного переходу між фланцем та тілом втулки. Саме ця зона раніше була ідентифікована в ході статичного FEM-аналізу як область максимальних еквівалентних напружень, що підтверджує коректність отриманих результатів і їх фізичну узгодженість.

Оцінка кількості циклів до руйнування показала, що для критичної форми коливань прогнозований втомний ресурс є мінімальним і становить приблизно $3,9 \times 10^5$ циклів. Це свідчить про суттєвий вплив резонансних явищ та комбінованого характеру навантаження на довговічність

						Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МР.ПМКМ– 018.00.000 ПЗ	

фланцевої втулки і підкреслює необхідність урахування динамічних факторів при її проектуванні та експлуатації.

Отже. У науково-дослідній частині магістерської роботи виконано комплексне дослідження втомної міцності фланцевої втулки при комбінованому навантаженні з використанням чисельних методів аналізу. Отримані результати дозволяють сформулювати такі основні висновки:

1. Встановлено, що фланцева втулка в умовах експлуатації працює у складному багатовісному напружено-деформованому стані, зумовленому одночасною дією згину, кручення та осьових навантажень. Такий характер навантаження призводить до локалізації напружень у зонах геометричних переходів, що є потенційними осередками зародження втомних тріщин.

2. За результатами статичного аналізу методом скінченних елементів визначено, що максимальні еквівалентні напруження виникають у зоні переходу «фланець – тіло втулки» та досягають значень 185 МПа, що є нижчими за допустимі за критерієм Гудмана. Це свідчить про забезпечення умов втомної міцності за номінальних режимів навантаження.

3. Частотний аналіз показав наявність групи власних частот у діапазоні 2,3–2,5 кГц, які відповідають згинальним та згинально-крутильним формам коливань. Для цих форм характерні підвищені амплітуди деформацій, що істотно впливають на втомну довговічність деталі.

4. Найбільш небезпечною з точки зору втомної міцності є четверта форма коливань з частотою 2484,1 Гц, яка характеризується максимальним рівнем результуючих амплітуд і мінімальним прогнозованим ресурсом до руйнування. Комбінований характер деформацій у цьому режимі створює умови для прискореного накопичення втомних пошкоджень.

					МР.ПМКМ– 018.00.000 ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. Оцінка кількості циклів до руйнування показала, що віддалення робочих частот від резонансних зон дозволяє істотно підвищити втомну довговічність фланцевої втулки. Для локальних форм коливань з вищими частотами прогнозований ресурс перевищує $10 \cdot 10^6$ циклів.

6. Отримані результати підтверджують необхідність обов'язкового урахування динамічних факторів та частотних характеристик при проєктуванні фланцевих з'єднань, а також доцільність використання чисельних методів аналізу для оцінки втомної міцності деталей, що працюють в умовах комбінованого навантаження.

У цілому виконане дослідження дозволяє зробити висновок, що поєднання статичного та частотного FEM-аналізу є ефективним інструментом для прогнозування втомної довговічності фланцевих втулок і може бути рекомендоване для застосування при проєктуванні та оптимізації відповідальних елементів машинобудівних конструкцій.

					МР.ПМКМ= 018.00.000 ПЗ	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Харкевич О. Ю. Конструкторсько-технологічне забезпечення виготовлення деталі «Рамка» : кваліфікац. робота / О. Ю. Харкевич. — Кропивницький : ЦНТУ, 2025. — 78 с.
2. Дусанюк Ж. П., Репінський С. В., Савуляк В. В. Аналіз технологічності конструкції деталі : навч. посіб. / Ж. П. Дусанюк, С. В. Репінський, В. В. Савуляк. — Вінниця : ВНТУ, 2016. — 148 с.
3. Паливода Ю. Є., Ткаченко І. Г., Капаціла Ю. Б., Гевко І. Б. Технологія оброблення корпусних деталей : навч. посібник / Ю. Є. Паливода, І. Г. Ткаченко, Ю. Б. Капаціла, І. Б. Гевко. — Тернопіль : ТНТУ, 2016. — 156 с.
4. Паливода Ю. Є., Дячун А., Лещук Р. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки : навч.-метод. посібник / Ю. Є. Паливода, А. Дячун, Р. Лещук. — Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2019. — 240 с.
5. Григурко І. О., Брендюля М. Ф., Доценко С. М. Технологія машинобудування. Дипломне проектування : навч. посібник / І. О. Григурко, М. Ф. Брендюля, С. М. Доценко. — Львів : Новий світ, 2011. — 768 с.
6. Рудь В. Д. Курсове проектування з технології машинобудування : навч. посібник / В. Д. Рудь. — Київ : ІСДО, 1996. — 300 с.
7. Дусанюк Ж. П., Дусанюк Ж. П., ін. Проектування та виробництво заготовок деталей машин. Литі заготовки : навч. посібник / Ж. П. Дусанюк та ін. — Вінниця : ВНТУ, 2009. — 199 с.
8. Яковенко І. Е., Пермяков О. А. Технологічна оснастка. Розрахунки. Проектування : навч. посібник / І. Е. Яковенко, О. А. Пермяков. — Харків : НТУ «Харківський політехнічний інститут», 2024. — 232 с.
9. Проектування спеціальної технологічної оснастки : інструктивно-методичні матеріали до курсової роботи / НМетАУ. — Дніпропетровськ : НМетАУ, 2017. — 76 с.
10. Технологічна оснастка : навчальний посібник / М. Г. Дичковський. — Херсон : Олді-плюс, 2018. — 322 с.
11. Технологічна оснастка : навчальний посібник / В. С. Медведєв. — Донецьк : ДонНТУ, 2019. — 208 с.
12. Проектування оснащення верстатів, роботів і машин : навч. посібник / В. П. Приходько, О. В. Литвин. — Київ : НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», 2018. — 211 с.
13. Мироненко О. М. Проектування пристосувань : навч. посібник / О. М. Мироненко. — Вінниця : ВНТУ, 2004. — 122 с.

					МР.ПМКМ= 018.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

14. 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.

15. Сторож Б. Д., Карпик Р. Т. Розрахунок пристроїв на точність: навч. Посібник / Під ред. Карпика Р. Т. - Івано-Франківськ, «Факел», 1999. - 216 с., іл.

16. Сторож Б. Д., Карпик Р. Т., Гордєєв А. І. Точність верстатних пристроїв машинобудівного виробництва: Навчальний посібник. - Івано-Франківськ; Хмельницький: ХНУ, 2014. - 230 с.

17. Руденко П. А. и др. Проектирование и производство заготовок в машиностроении - К.: Вища школа, 1981 - 247 с.

18. Ясній П. В., Пиндус Ю. І., Ясній О. П. Міцність і довговічність елементів конструкцій за змінної амплітуди навантаження : монографія / П. В. Ясній, Ю. І. Пиндус, О. П. Ясній. — Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2013. — 173 с. ISBN 978-966-305-057-7.

19. Raz K., Kepka M., Volkmannova J. Vibration fatigue — FEM analysis vs. real testing / K. Raz, M. Kepka, J. Volkmannova // MM Science Journal. — 2020. — № 11. — С. 4128–4131. — DOI: 10.17973/MMSJ.2020_11_2020045.

20. Fatigue Strength and Modal Analysis of S195 Engine Crankshaft / Applied Mechanics and Materials. — 2011. — Vol. 120. — P. 81–84. — DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.120.81.

21. Random Vibration Structure Fatigue Analysis Based on Finite Element Simulation / Advanced Materials Research. — 2019. — Vols. 875–877. — P. 2078–2086. — DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.875-877.2078.

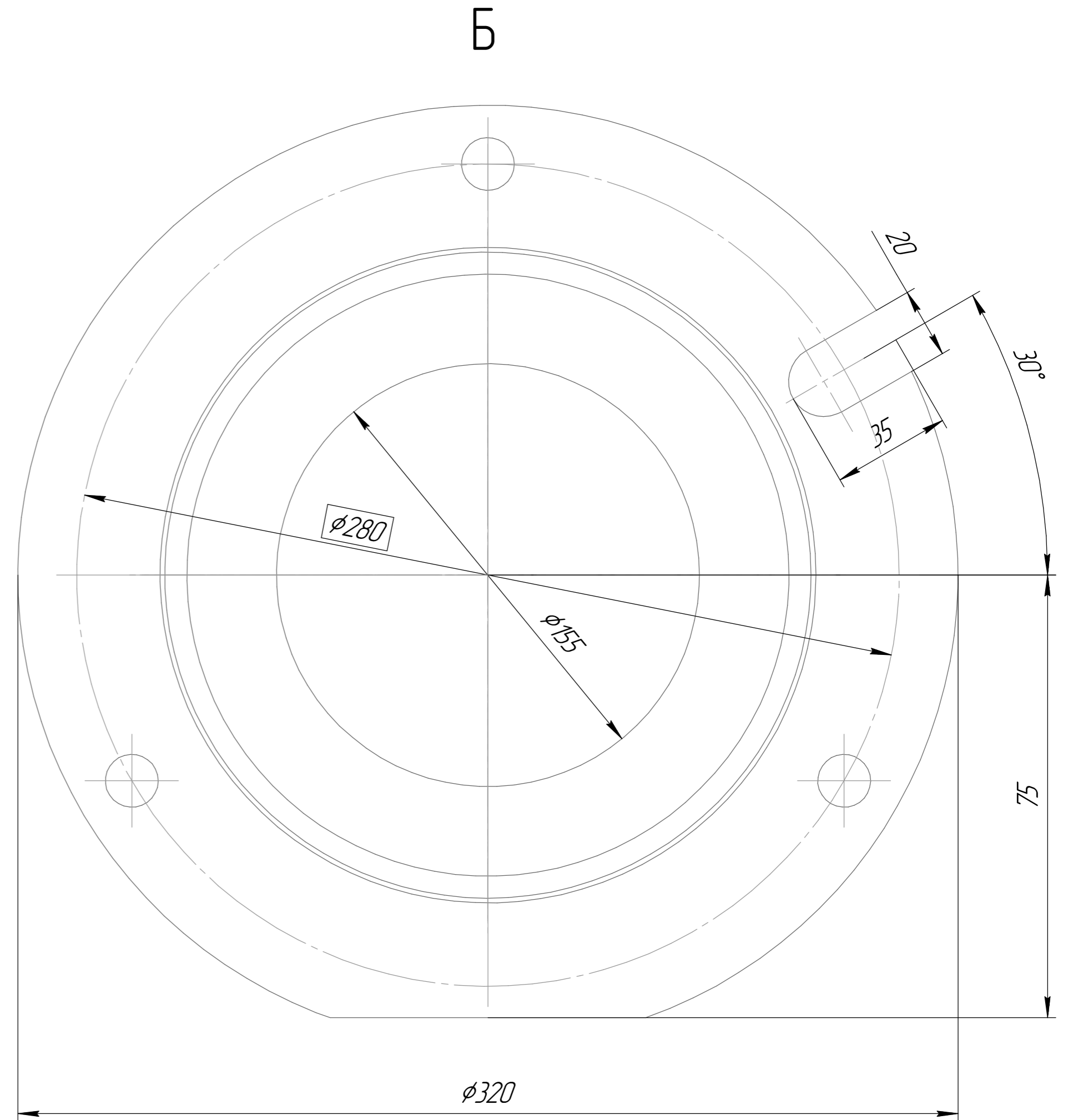
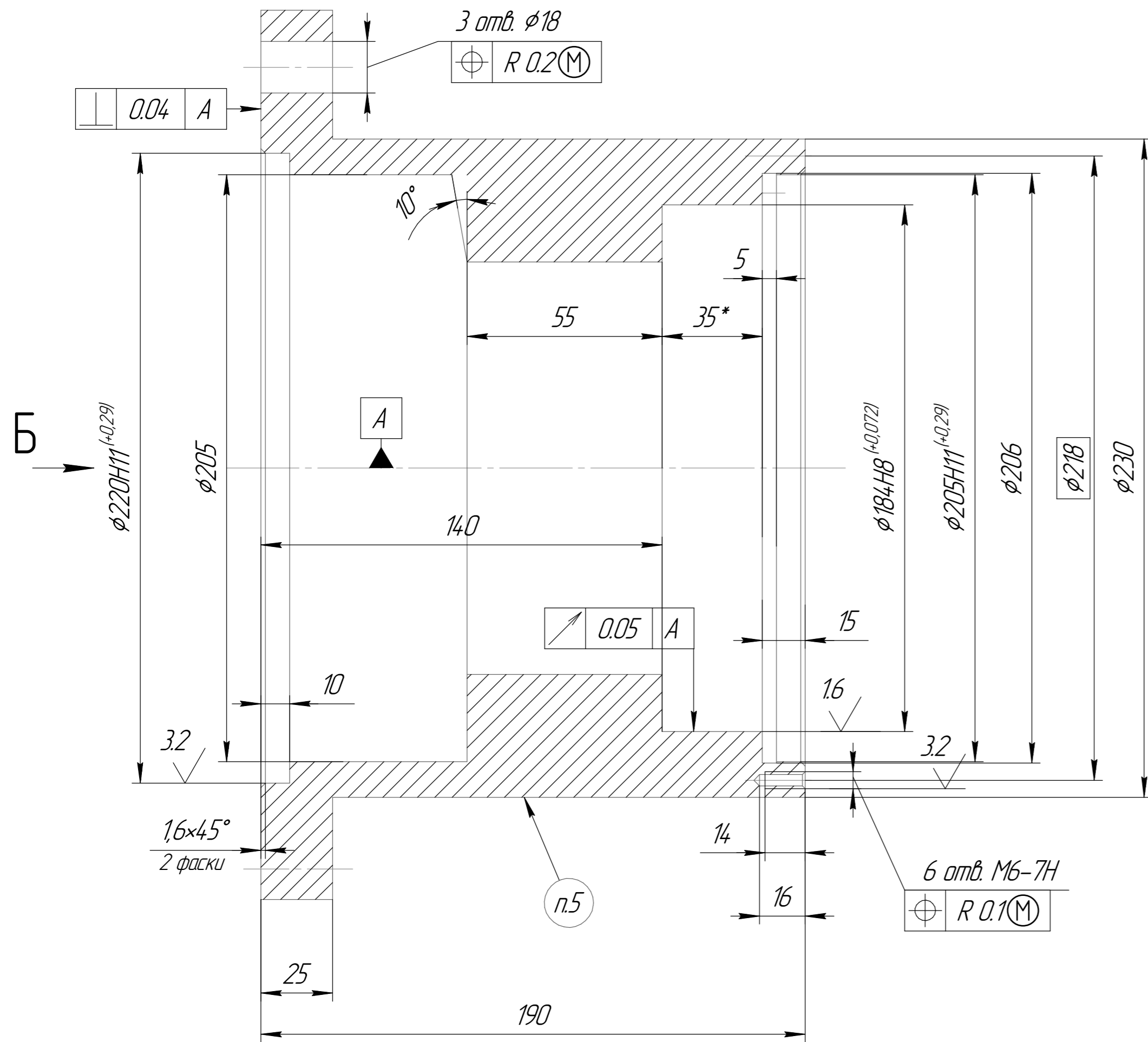
21. Втомна довговічність (Fatigue life) // Термінологічний довідник : ДСТУ 2444-94.

22. Стандартна втомна міцність (reference fatigue strength) // Термінологічний довідник : EN 1993 Design of steel structures.

					МР.ПМКМ= 018.00.000 ПЗ	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

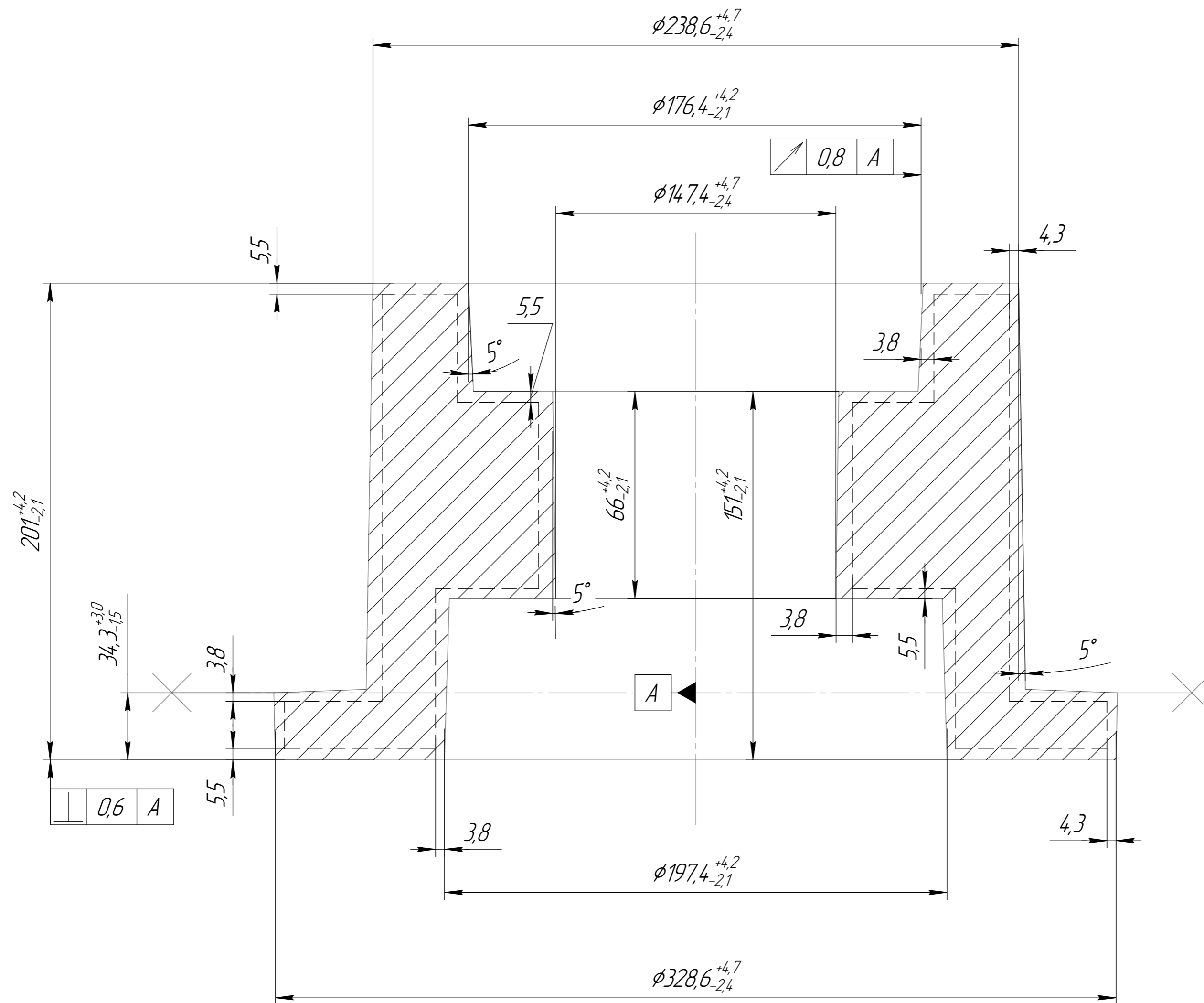
ДОДАТКИ

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	Перв. примен.				
							Справ. №	Подп. и дата			
				Документація							
A4			МР.ПМКМ - 018.00.000 ПЗ	Розрахунково пояснювальна записка	1						
A4			МР.ПМКМ - 018.00.000 ПЗ	Комплект технологічної документації	1						
A1			МР.ПМКМ - 018.00.000 СК	Складальне креслення	1						
				Складальні одиниці							
				Деталі							
					1						
		1	МР.ПМКМ - 018.00.001	Плита	1						
		2	МР.ПМКМ - 018.00.002	Корпус	1						
		3	МР.ПМКМ - 018.00.003	Шток	1						
		4	МР.ПМКМ - 018.00.004	Втулка	1						
		5	МР.ПМКМ - 018.00.005	Ручка	1						
		6	МР.ПМКМ - 018.00.006	Шайба	1						
		7	МР.ПМКМ - 018.00.007	Поршень	1						
		8	МР.ПМКМ - 018.00.008	Упор	1						
		9	МР.ПМКМ - 018.00.009	Стакан	1						
		10	МР.ПМКМ - 018.00.010	Кришка	1						
		11	МР.ПМКМ - 018.00.011	Стакан	1						
				Стандартні вироби							
		12		Ніпель С8х32 ГОСТ 7892-82	1						
				МР.ПМКМ - 018.00.000							
Інв. № подл.	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Пристрій для свердління отворів			Лист	Лист	Листов
	Разраб.		Ляхович А. В.							1	2
	Пров.		Костюк Н. О.						ІФНТУНГ		
	Реценз.								гр. ПМКМ-24-1		
	Н.контр.		Костюк Н. О.						Формат А4		
Утв.		Панчук В. Г.									



1. HB 240...280
2. *Розмір для довідок
3. H14; h14; $\pm \frac{T2}{2}$
4. Покрыття Хім. Окс. прм.
5. Маркувати ФВП.194.018-01
6. Нанесення захисного покриття (фосфатування, лакування) згідно вимог замовника

				ФВП.194.018-01				
Эм.	Арх.	№ докум.	Підп.	Дата	Проміжна фланцева втулка	Лист	Маса	Масштаб
Разроб.	Ляхович А. В.					18,0	1:2	
Перев.	Костюк Н. О.				Аркуш	Аркушів	1	
Т.контр.	Костюк Н. О.				ІФНТУНГ			
Реценз.					Сталь 40Х ДСТУ 7806:2015			
Н.контр.	Костюк Н. О.				зр. ПМКМ-24-1			
Затв.	Панчук В. Г.							

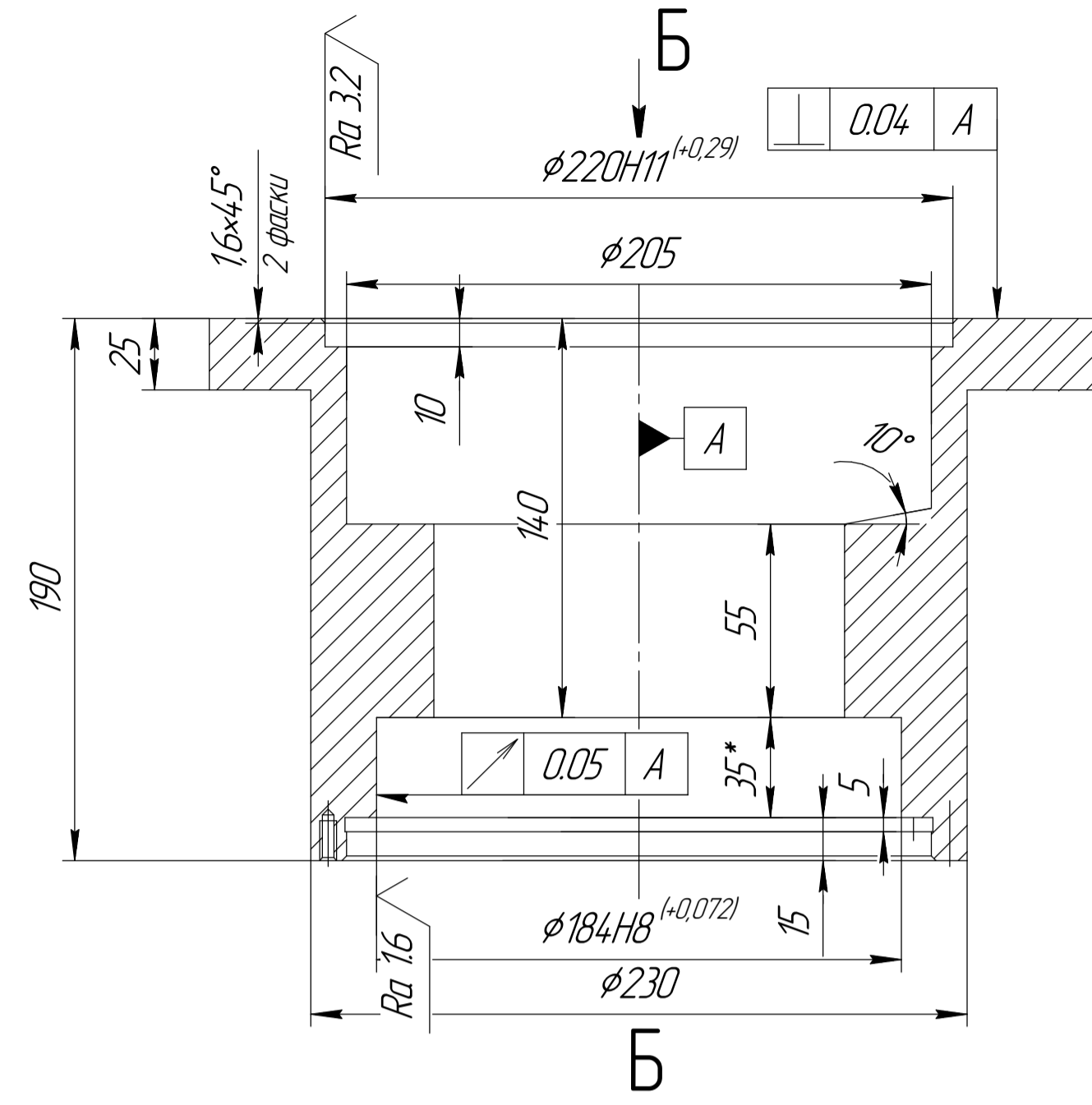


1. Поверхня повинна відповідати вимогам ДСТУ
2. Група сталі: М2. Вихідний індекс: 19.
3. Ступінь складності: С2.
4. Клас точності: Т5. Припуски на обробку та допуски розмірів згідно ДСТУ 7505-89, для вихідного індексу 19, групи сталі М2, класу точності Т5 та ступеня складності С2.
5. Не зазначені на кресленні радіуси заокруглень: R7.
6. Штампувальні ухили: 5° (якщо не вказано інше)
7. Твердість: НВ 241...245.
8. Поверхня заготовки повинна бути очищена від окалини піскоструминним методом.
9. На поверхні поківки не допускаються дефекти, що виходять за межі припусків і знижують міцність деталі (тріщини, плівки, закоти, раковини тощо), відповідно до вимог ДСТУ 7505-89.

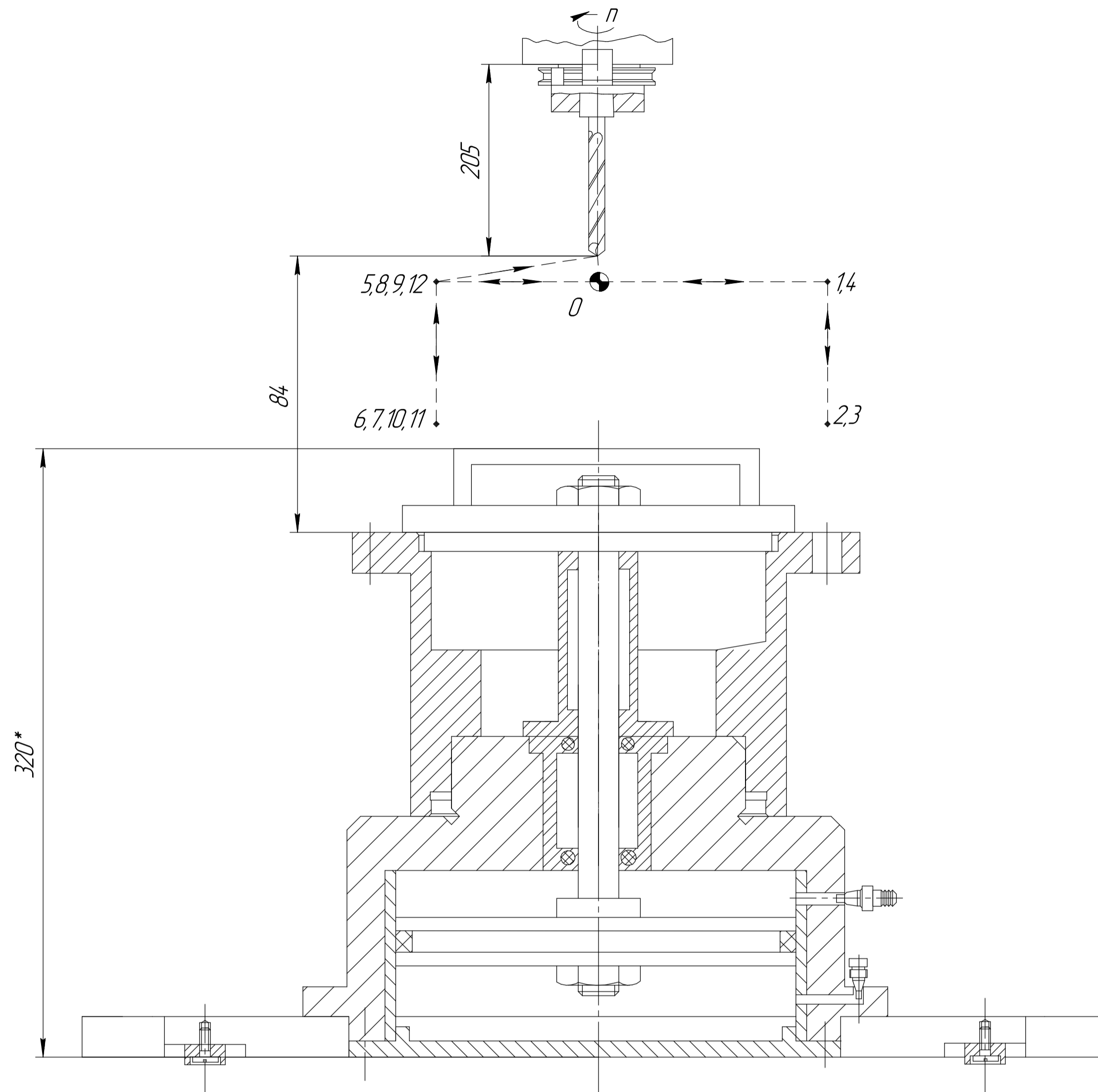
MP.ПМКМ - 018.00.000					Лист	Маса	Масштаб
Зм.	Арх.	№ докум.	Підп.	Дата	1	21	1:2
Разроб.	Ляхович А. В.						
Перев.	Костюк Н. О.						
Т.контр.	Костюк Н. О.						
Реценз.							
Н.контр.	Костюк Н. О.				Аркуші	Аркуші	1
Затв.	Панчук В. Г.				ІФНТУНГ		зр. ПМКМ-24-1
Заготовка деталі "Проміжна фланцева втулка ФВП.194.018-01" (Штамповка)					Сталь 40Х ДСТУ 7806:2015		

Карта наладки в конструктивному виконанні для обробки на верстаті з ЧПК

Деталь до обробки



Деталь підчас обробки



Деталь після обробки

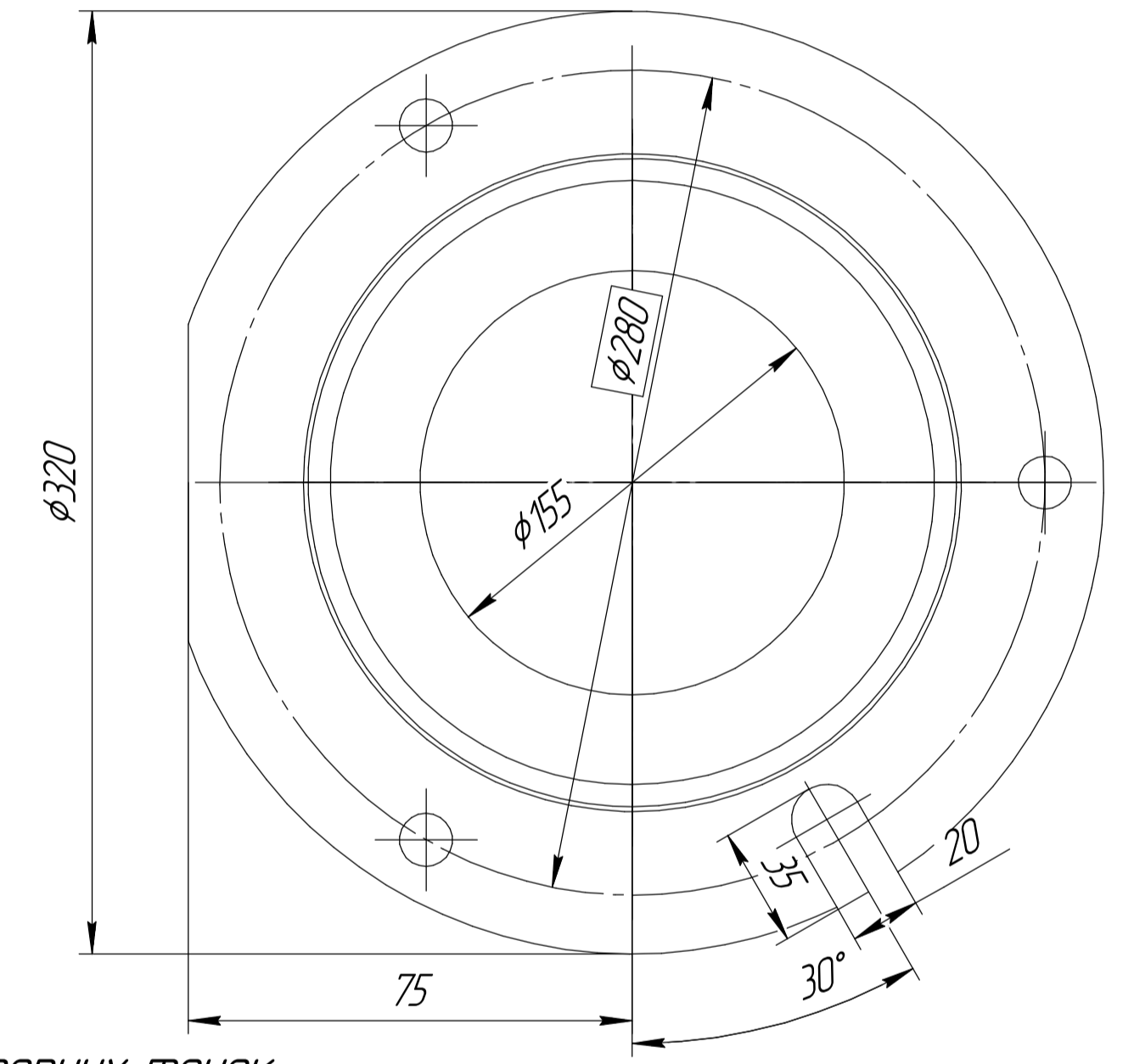
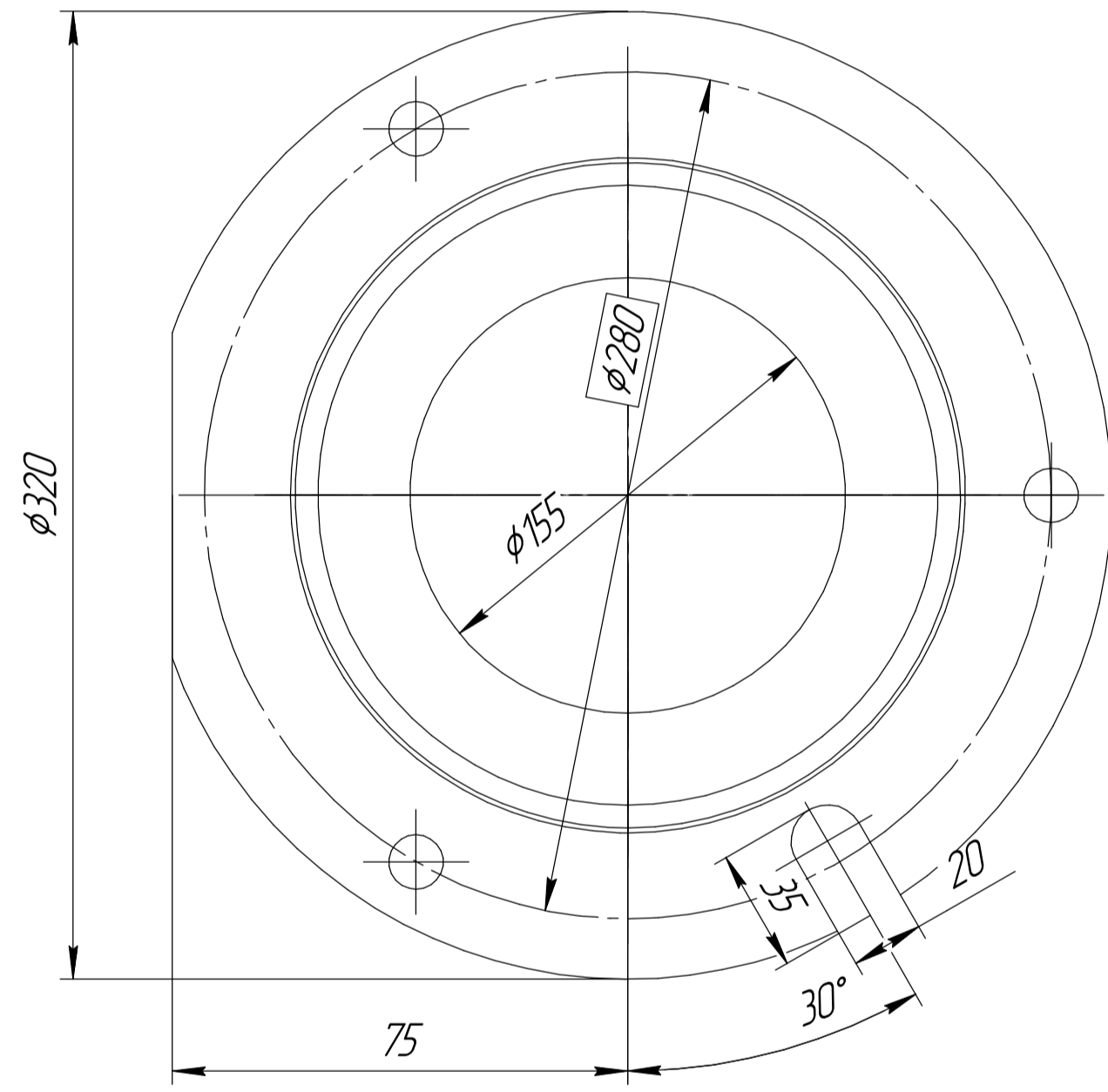
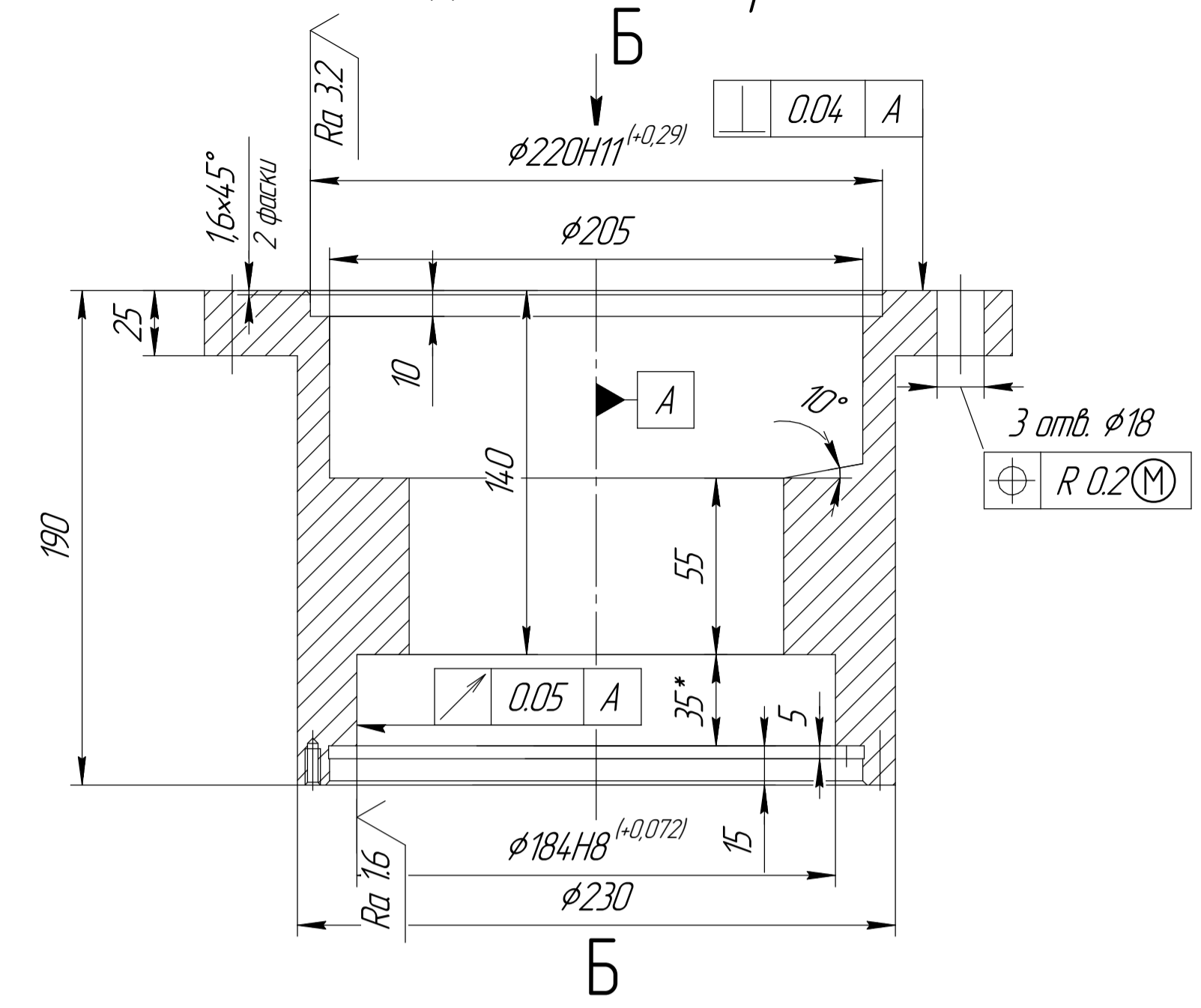
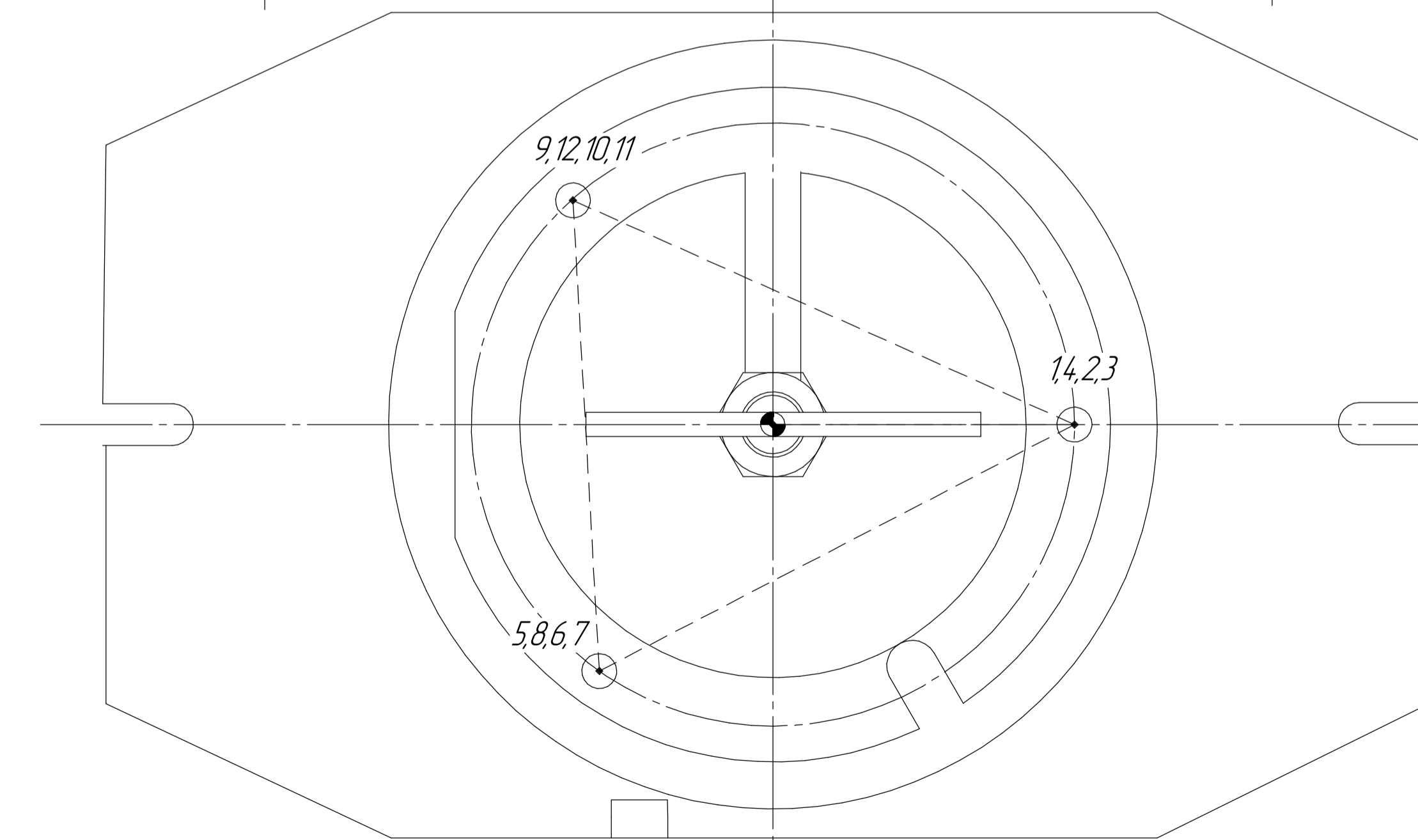
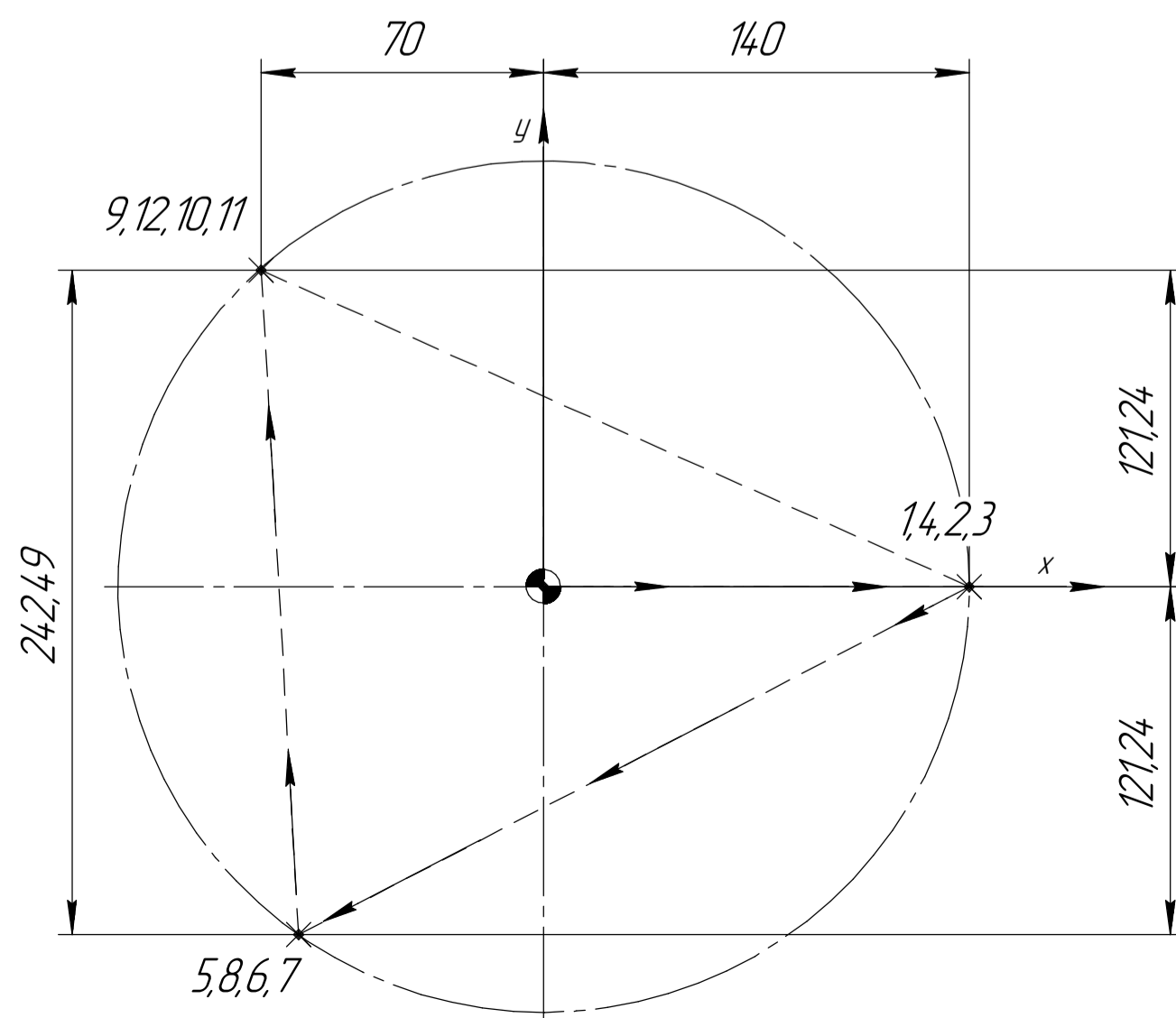


Схема розташування опорних точок



Координати опорних точок

№	X	Y	Z
1	140	0	50
2	140	0	75
3	140	0	75
4	140	0	-50
5	-70	-121,24	50
6	-70	-121,24	75
7	-70	-121,24	75
8	-70	-121,24	-50
9	-70	121,24	50
10	-70	121,24	75
11	-70	121,24	75
12	-70	121,24	-50

Свердлильна з ЧПК		Свердлильний з ЧПК Dugard 1000		Пристрій спеціальний		Штангенциркуль шц.-1-125 0,05 ДСТУ 166-73		181 198		МР.ПМКМ - 018.00.000		
Найменування і короткий зміст	Обладнання (тип і модель)	Пристрій або допоміжний інструмент	Вимірний інструмент	Ріжучий інструмент	f (мм)	S (мм/об)	V (м/хв)	n (хв ⁻¹)	To (хв)	Td (хв)	Карта наладки	
					1	0,4	27	355			Лит	Маса
											-	11
											Аркцив	Аркцив
											1	1
											ІФНТУНГ	
											зр. ПМКМ-24-1	

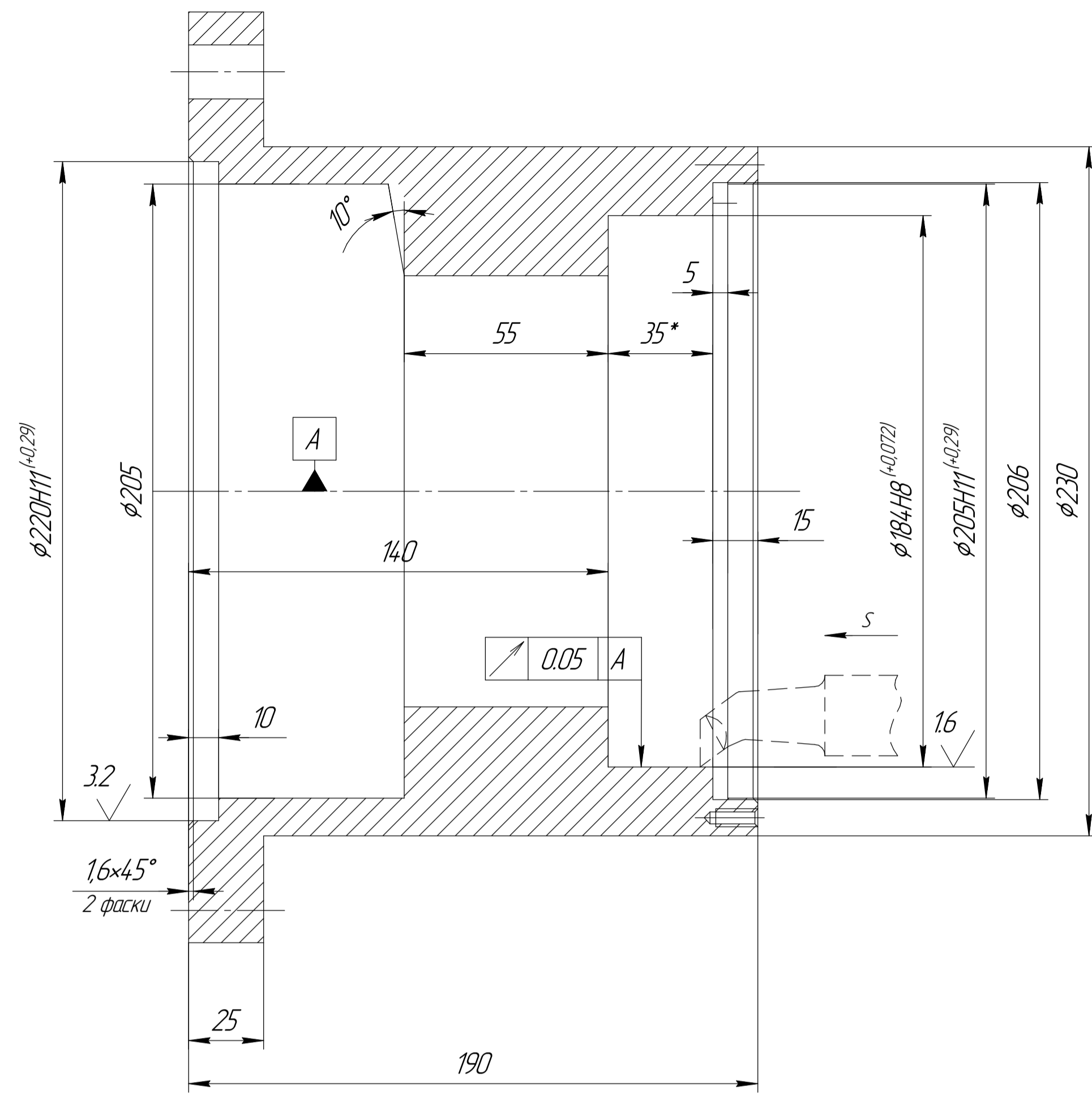


Рисунок 1 - Ескіз обробки

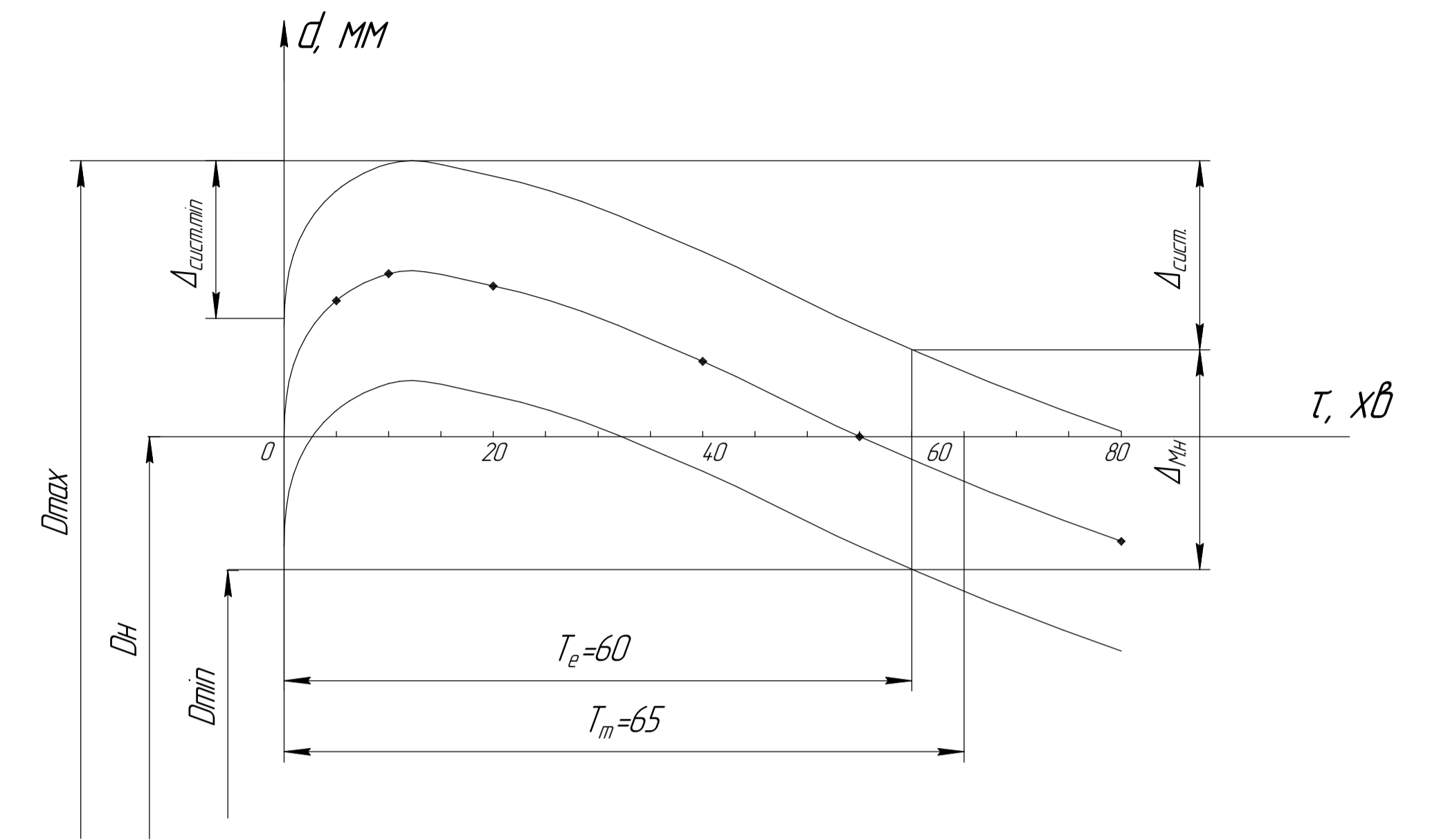


Рисунок 2 - Теоретична діаграма точності

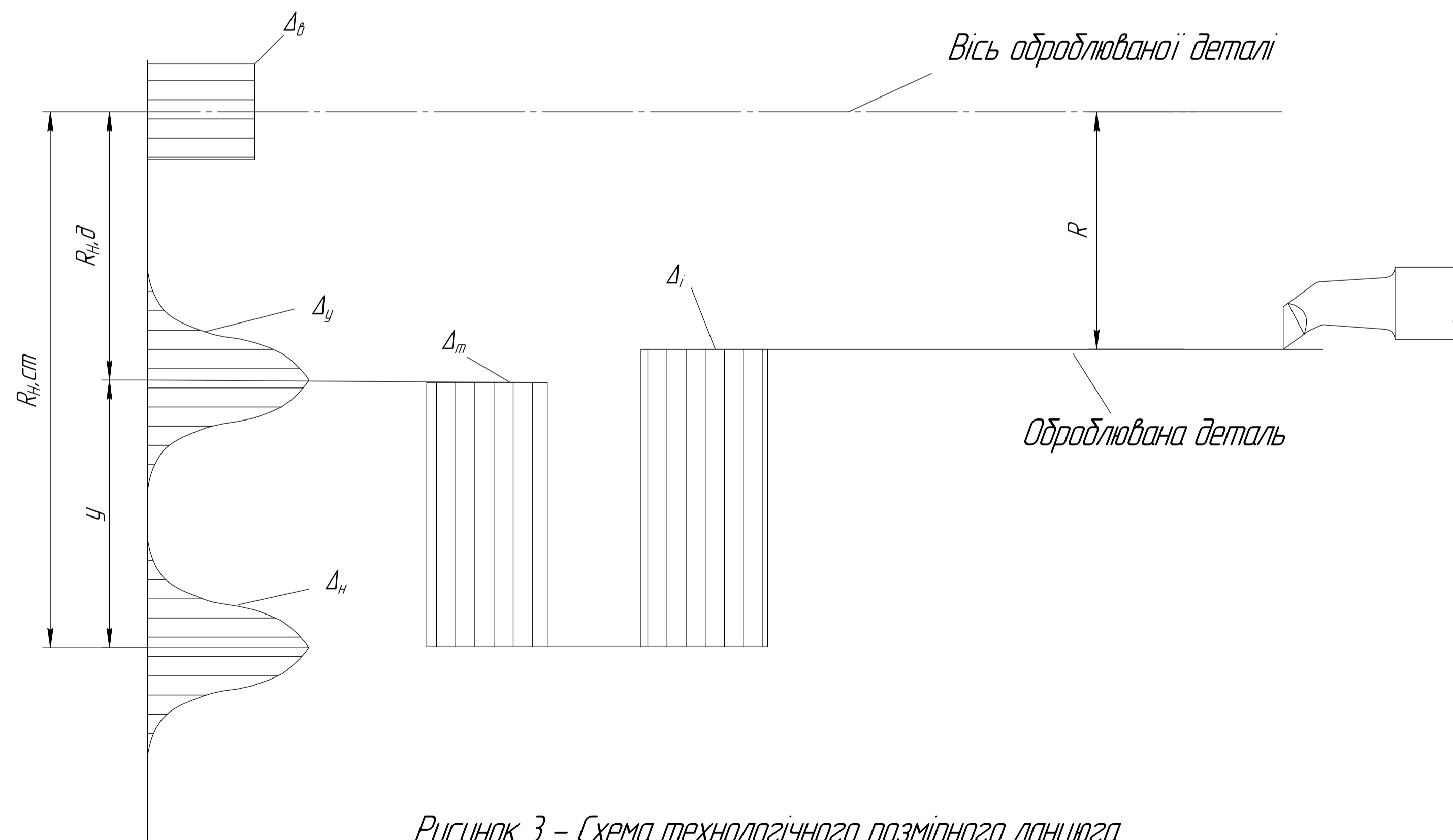


Рисунок 3 - Схема технологічного розмірного ланцюга

$R, R_{н,ст}, R_{н,д}$ - відповідно радіуси обробки (закриваюча ланка), статичного налаштування, динамічного налаштування.
 U - постійна складова похибки від деформації системи ВПД під дією сил різання

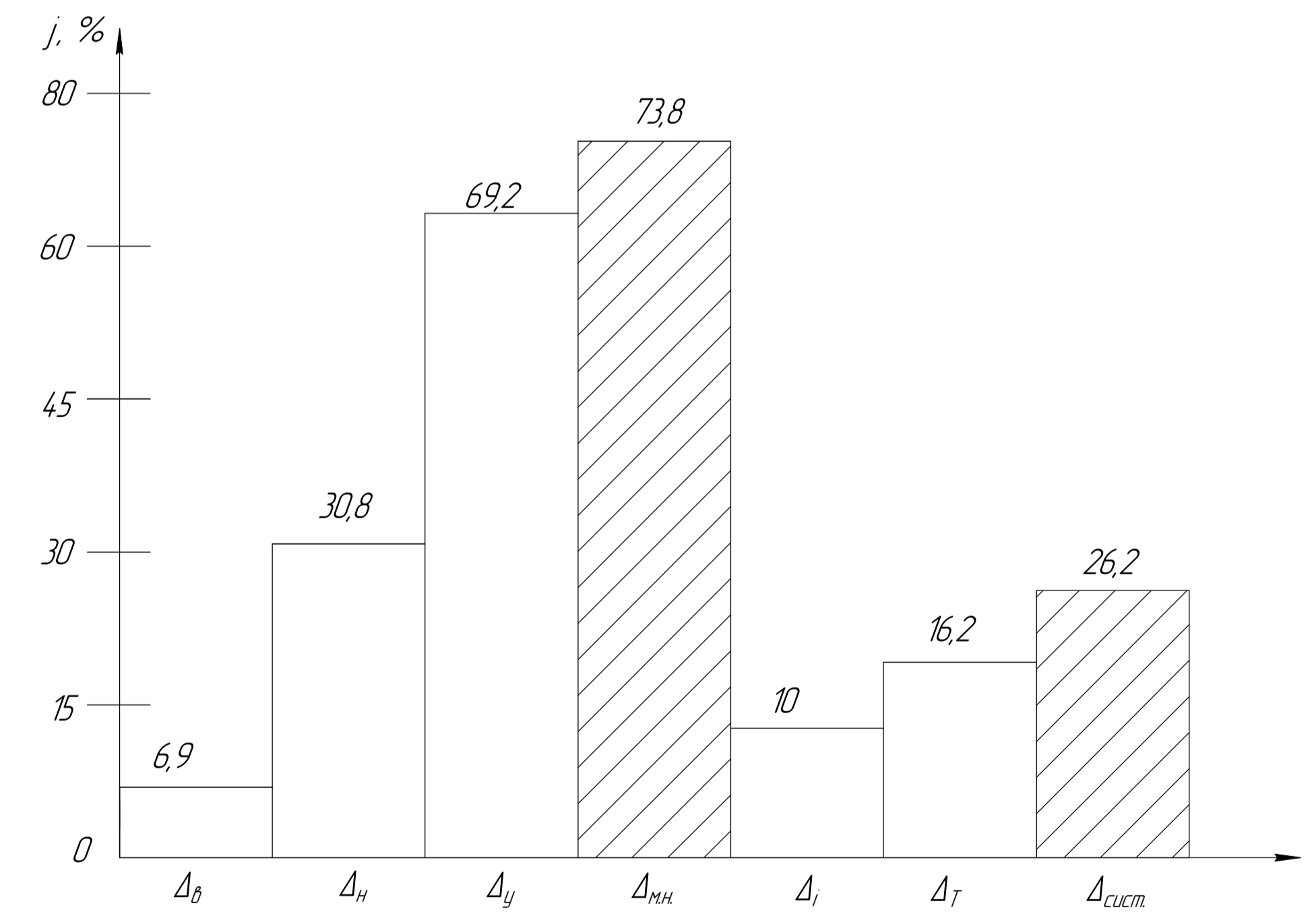
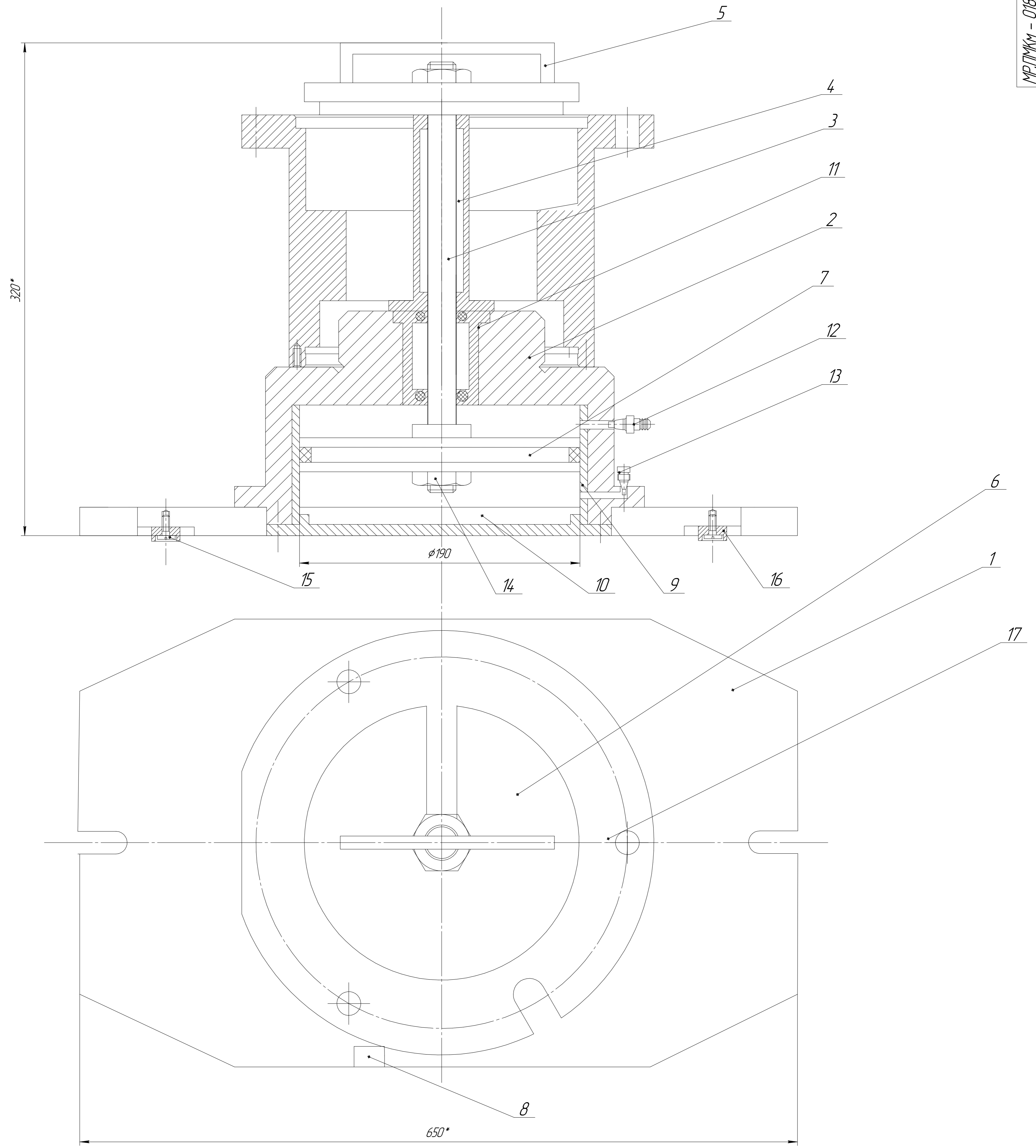


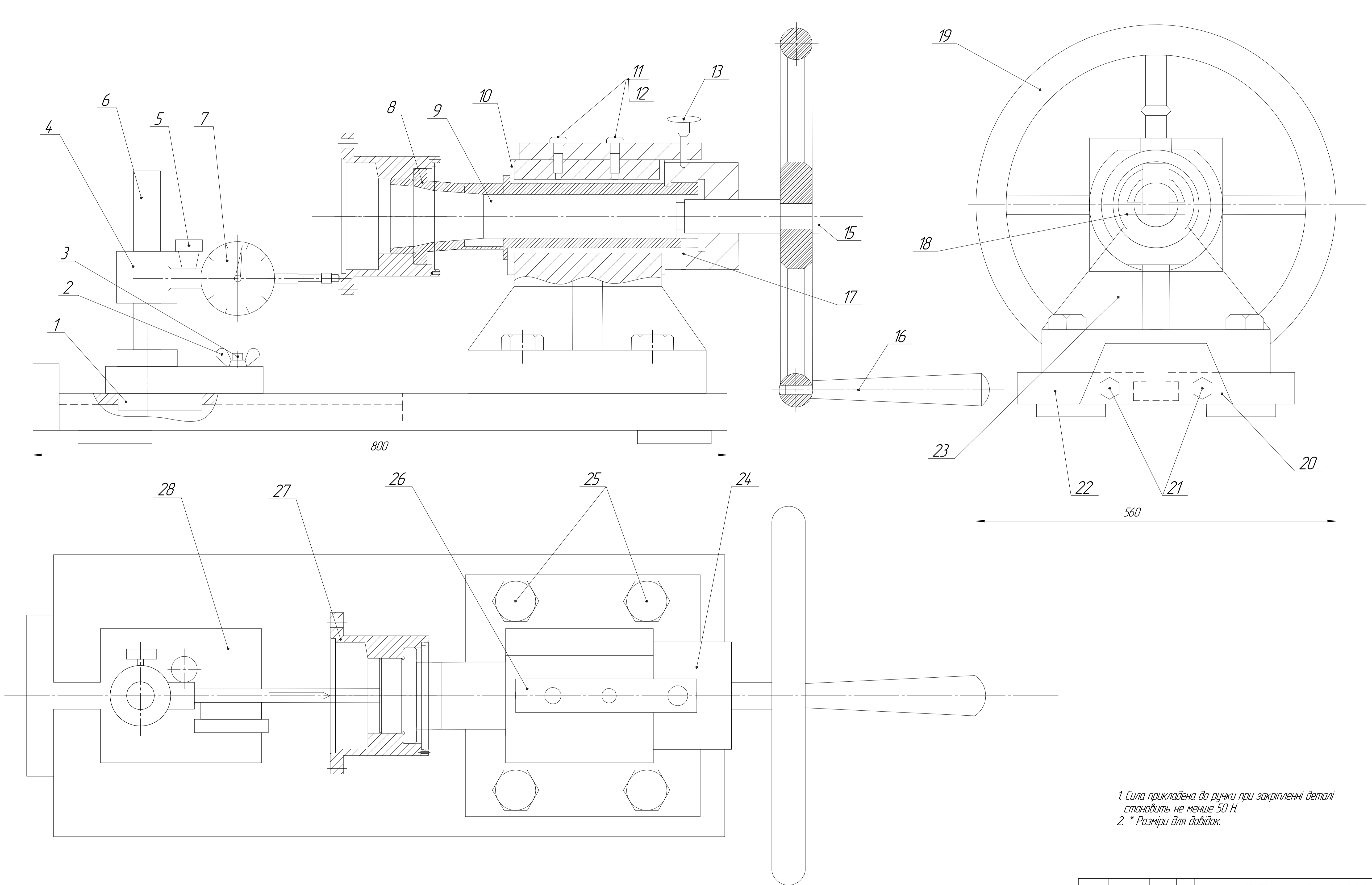
Рисунок 4 - Гістограма похибок

				МР.ПМЖМ - 018.00.000				
Зм	Арх	№ док.м	Підп	Дата	Аналіз точності	Літ	Маса	Масштаб
Розроб	Ляхович А. В.					-	11	
Перев	Костюк Н. О.				-	Архив	Архив	ІФНТУНГ зр. ПМЖМ-24-1
Т.контр	Костюк Н. О.							
Реценз								
Н.контр	Костюк Н. О.							
Затв	Ланчук В. Г.							



1 Пристрій призначений для свердильного верстата
 2 *Разміри для довідок

				МР.ПМЖМ - 018.00.000			
Эк.	Арж.	№ док.	Підп.	Дата	Лист	Маса	Масштаб
Разроб.	Ляхович А. В.					-	1:2
Лерев.	Костюк Н. О.						
Т.контр.	Костюк Н. О.				Аржш	Аржш	1
Реценз.	Костюк Н. О.						
Н.контр.	Костюк Н. О.						
Затв.	Панчук В. Г.						
Пристрій верстатний					ІФНТУНГ		



1 Сила прикладена до ручки при закріпленні деталі становить не менше 50 Н.
 2 * Розміри для дослідок.

					МР.ПМЖ - 018.00.000			
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	Пристрій для контролю перпендикулярності торця	Лист	Маса	Масштаб
Розроб		Ляхович А. В.					-	11
Перев		Костюк Н. О.				Аркцив		1
Т.контр.		Костюк Н. О.				ІФНТУНГ		
Реценз.		Костюк Н. О.				зр. ПМЖ-24-1		
Н.контр.		Костюк Н. О.						
Затв.		Лянчук В. Г.						

ДОСЛІДЖЕННЯ ВТОМНОЇ МІЦНОСТІ ФЛАНЦЕВОЇ ВТУЛКИ ПРИ КОМБІНОВАНОМУ НАВАНТАЖЕННІ

МР.ПМЖ - 018.00.000

Актуальність теми дослідження. В умовах сучасного машинобудування та енергомашинобудування питання забезпечення втомної міцності та довговічності деталей машин набувають особливої актуальності у зв'язку зі зростанням навантажень, швидкостей обертання та вимог до надійності обладнання. Значна кількість відмов елементів машинних конструкцій пов'язана з розвитком втомних пошкоджень, які виникають за тривалої дії змінних і комбінованих навантажень.

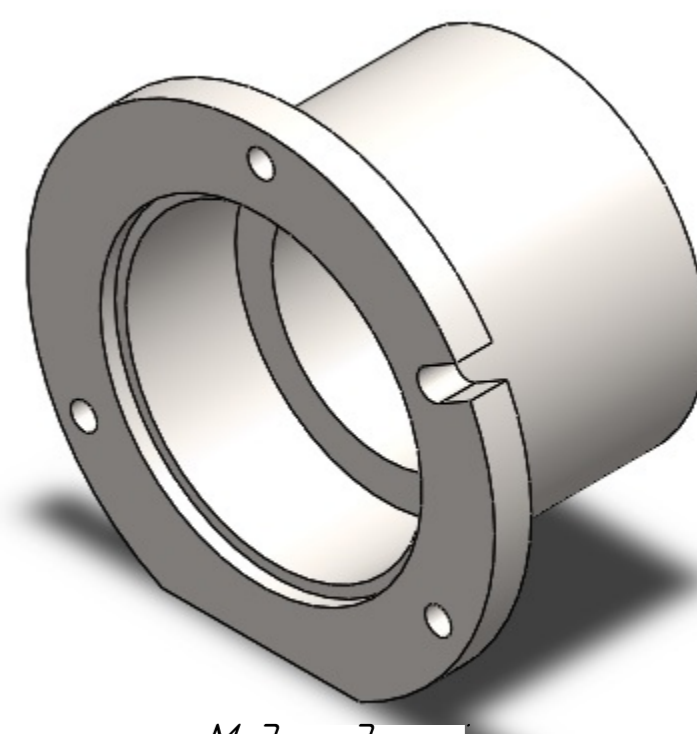
Метою даного дослідження є оцінювання втомної міцності фланцевої втулки при комбінованому навантаженні шляхом аналізу її напружено-деформованого стану та визначення впливу параметрів навантаження і геометрії деталі на втомну довговічність.

Об'єктом дослідження є фланцева втулка як елемент машинобудівної конструкції, що працює в умовах циклічного комбінованого навантаження.

Предметом дослідження є процеси формування напружено-деформованого стану та втомного руйнування фланцевої втулки при дії комбінованих змінних навантажень.

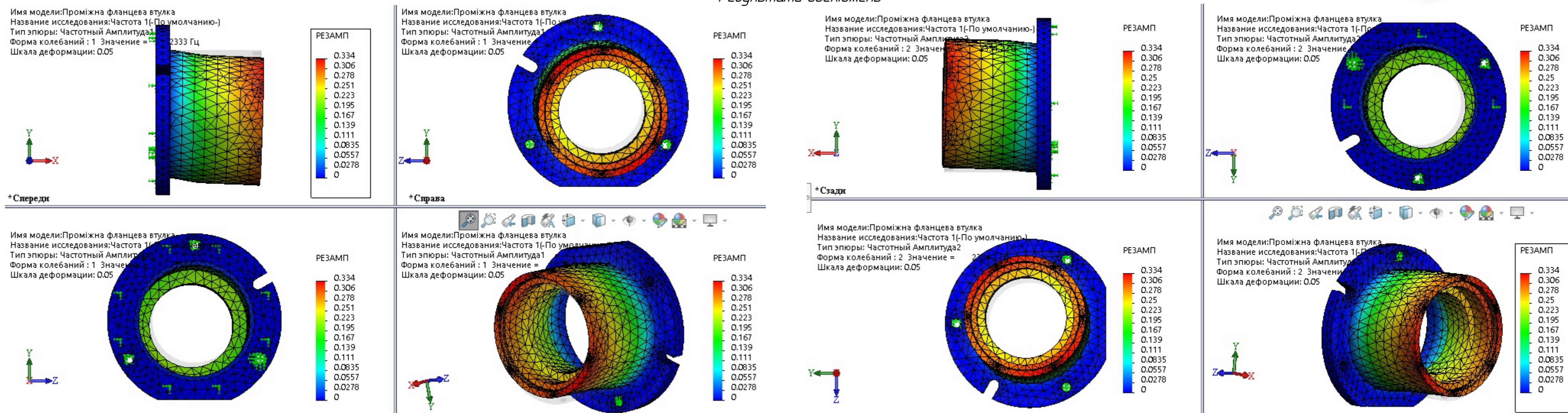
Вихідні дані

1. Геометрія 3D-моделі втулки.
2. Матеріал півні механічні характеристики.
3. Навантаження: амплітуда і знак осевого зусилля, амплітуда крутного моменту, поперечні/бічні сили.
4. Модель попереднього натягу болтів і контактні умови.



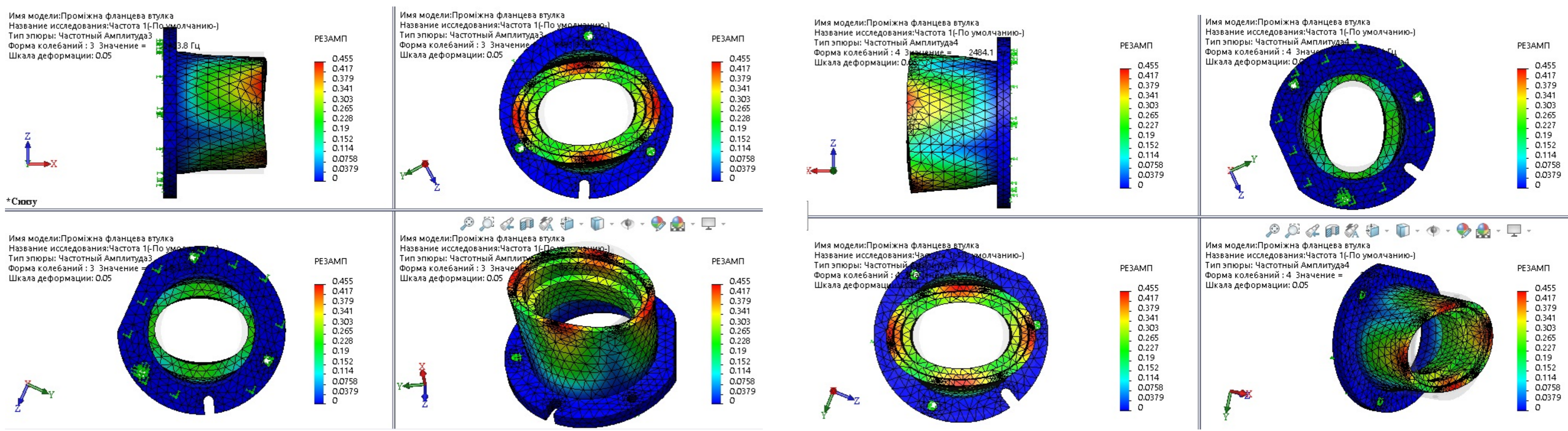
Модель деталі

Результати досліджень



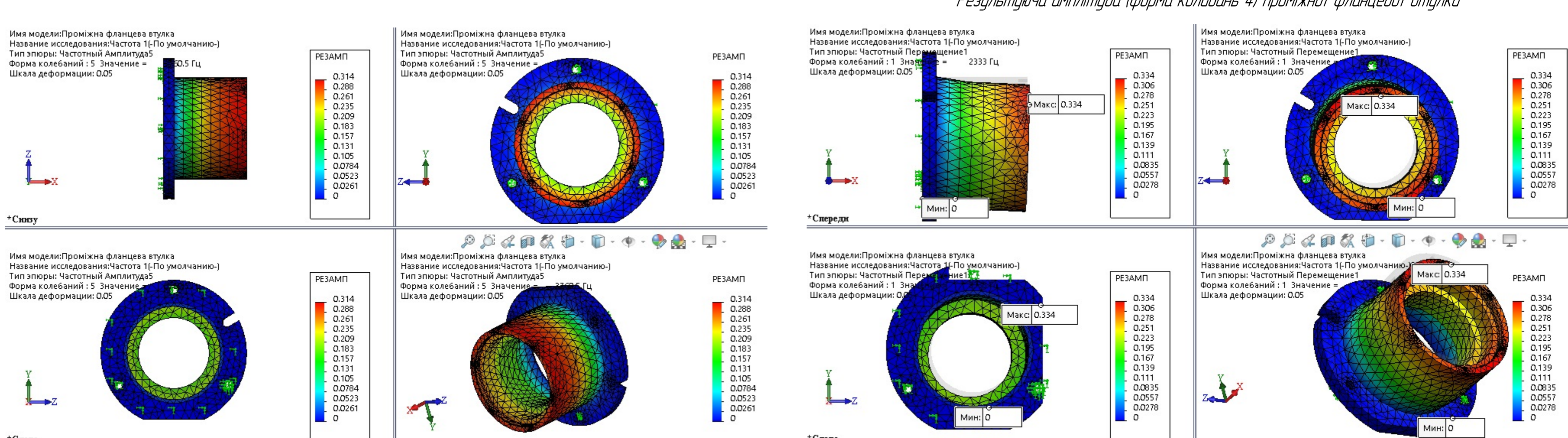
Результуюча амплітуда (форма коливань 1) прямихній фланцевої втулки

Результуюча амплітуда (форма коливань 2) прямихній фланцевої втулки



Результуюча амплітуда (форма коливань 3) прямихній фланцевої втулки

Результуюча амплітуда (форма коливань 4) прямихній фланцевої втулки



Результуюча амплітуда (форма коливань 5) прямихній фланцевої втулки

Результуюче частотне переміщення прямихній фланцевої втулки

Отже, у науково-дослідній частині магістерської роботи виконано комплексне дослідження втомної міцності фланцевої втулки при комбінованому навантаженні з використанням чисельних методів аналізу. Отримані результати дозволяють сформулювати такі основні висновки:

1. Встановлено, що фланцева втулка в умовах експлуатації працює у складному багатопісному напружено-деформованому стані, зумовленому одночасною дією згини, кручення та осевих навантажень. Такий характер навантаження призводить до локалізації напружень у зонах геометричних переходів, що є потенційними осередками зародження втомних тріщин.
2. За результатами статичного аналізу методом скінченних елементів визначено, що максимальні еквівалентні напруження виникають у зоні переходу «фланець тіло втулки» та досягають значень 185 МПа, що є нижчими за допустимі за критерієм Гудмана. Це свідчить про забезпечення умов втомної міцності за номінальних режимів навантаження.
3. Частотний аналіз показав наявність групи власних частот у діапазоні 2,3 - 2,5 кГц, які відповідають згинальним та згинально-крутильним формам коливань. Для цих форм характерні підвищені амплітуди деформації, що істотно впливають на втомну довговічність деталі.
4. Найбільш небезпечною з точки зору втомної міцності є четверта форма коливань з частотою 2484,1 Гц, яка характеризується максимальним рівнем результуючих амплітуд і мінімальним прогнозованим ресурсом до руйнування. Комбінований характер деформації у цьому режимі створює умови для прискореного накопичення втомних пошкоджень.
5. Оцінка кількості циклів до руйнування показала, що віддалення робочих частот від резонансних зон дозволяє істотно підвищити втомну довговічність фланцевої втулки. Для локальних форм коливань з вищими частотами прогнозований ресурс перевищує 10^6 - $6 \cdot 10^6$ циклів.
6. Отримані результати підтверджують необхідність обов'язкового урахування динамічних факторів та частотних характеристик при проектуванні фланцевих з'єднань, а також доцільність використання чисельних методів аналізу для оцінки втомної міцності деталей, що працюють в умовах комбінованого навантаження.

У цілому виконане дослідження дозволяє зробити висновок, що поєднання статичного та частотного FEM-аналізу є ефективним інструментом для прогнозування втомної довговічності фланцевих втулок і може бути рекомендоване для застосування при проектуванні та оптимізації відповідальних елементів машинобудівних конструкцій.

№	Частота, Гц	Макс. амплітуда	Тип	Кількість циклів до руйнування N, циклів
1	2333,0	0,334	вигін	$9,8 \times 10^5$
2	2334,2	0,334	вигін	$9,8 \times 10^5$
3	2483,8	0,355	вигін + кручення	$8,1 \times 10^5$
4	2484,1	0,455	вигін + кручення (критична)	$3,9 \times 10^5$
5	3760,5	0,314	локальна форма	$1,2 \times 10^6$
6	2333,0	0,334	переміщення	$9,8 \times 10^5$

МР.ПМЖ - 018.00.000

Науково-дослідна частина

Зм.	Арх.	№ докм.	Підп.	Дата	Лист	Маса	Масштаб
Розроб.		Лякобич А. В.				-	1:1
Перев.		Костюк Н. О.					
Т.контр.		Костюк Н. О.			Архив		1
Реценз.		Костюк Н. О.			ІФНТУНГ		
Н.контр.		Панчук В. Т.			зр. ПМЖ-24-1		