

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**Сумський державний університет**

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра технології машинобудування, верстатів та інструментів

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Віталій ІВАНОВ

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

20\_\_ р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на здобуття освітнього ступеня **«магістр»**

(бакалавр/магістр)

зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»

(код та назва)

освітньо-професійної програми **«Технології машинобудування»**

(освітньо-професійної/освітньо-наукової)

(назва програми)

на тему: Удосконалення технологічного процесу виготовлення корпусу сальника

Н321.117.000.007 шляхом інтенсифікації операції контролю радіального биття

Здобувача групи

ТМ.м-21

(шифр групи)

Зайця Олексія Андрійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

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

Олексій ЗАЄЦЬ

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник

доцент, канд. техн. наук, доцент Іван ДЕГТЯРЬОВ

(посада, науковий ступінь, вчене звання, ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

Консультант  
з питань охорони праці

ст. викладач, канд. техн. наук Віра ФАЛЬКО

(посада, науковий ступінь, вчене звання, ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

Нормоконтролер

доцент, канд. техн. наук, доцент Олександр ІВЧЕНКО

(посада, науковий ступінь, вчене звання, ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

**Суми – 2023**

**ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ УКРАЇНИ**  
**«Сумський державний університет»**

<i>Інститут, факультет</i>	<u><i>технічних систем та енергоефективних технологій</i></u>
<i>Кафедра</i>	<u><i>технології машинобудування, верстатів та інструментів</i></u>
<i>Освітньо-науковий рівень</i>	<u><i>другий (магістерський)</i></u>
<i>Спеціальність</i>	<u><i>131 «Прикладна механіка»</i></u>
	<i>(шифр і назва)</i>
<i>Освітня програма</i>	<u><i>«Технології машинобудування»</i></u>
	<i>(шифр і назва)</i>

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри технології машинобудування, верстатів та інструментів

\_\_\_\_\_ Віталій ІВАНОВ

«   » грудня 2023 року

**ЗАВДАННЯ**  
**ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ (ПРОЄКТУ) СТУДЕНТУ**

***Заць Олексій Андрійович***

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Удосконалення технологічного процесу виготовлення корпусу сальника Н321.117.000.007 шляхом інтенсифікації операції контролю радіального биття

керівник проекту *Дегтярьов Іван Михайлович, к.т.н.доцент*

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від «4» грудня 2023 року №1401-VI

2. Строк подання студентом проекту (роботи) «17» грудня 2023 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи) \_\_\_\_\_

- Креслення деталі «Корпус сальника».

- Типовий технологічний процес виготовлення деталі «Корпус сальника».

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Виконати аналіз первинної інформації про деталь.

2. Удосконалити технологічний процес виготовлення деталі.

3. Розробити конструкцію контрольного пристрою та виконати його дослідження.

4. Розглянути питання охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

## 5. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання ви- дав	завдання прийняв
ОП та БВНС	Фалько В.В. ст. викладач кафедри ЕтаПТ		

## 6. Дата видачі завдання «25» вересня 2023 року

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Вступ	25.09.2023	Виконано
2	1. Виконати аналіз первинної інформації про деталь.	10.09.2023	Виконано
3	2. Удосконалити технологічний процес виготовлення деталі.	15.10.2023	Виконано
4	3. Розробити конструкцію контрольного пристрою та виконати його дослідження.	27.11.2023	Виконано
5	4. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.	03.12.2023	Виконано
6	Висновки.	11.12.2023	Виконано
7	Оформлення роботи.	12.12.2023	Виконано
8	Оформлення слайдів у форматі Power Point	14.12.2023	Виконано

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Олексій ЗАЄЦЬ**

\_\_\_\_\_ (ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи (проєкту)

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Іван ДЕГТЯРЬОВ**

\_\_\_\_\_ (ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка виконана на 54 сторінках, включає 29 рисунків, 10 таблиць, бібліографії із 26 джерел.

В сучасному світі машинобудування характеризується багатоміноменклатурністю виробів і нестабільністю обсягів випуску продукції тому необхідно для збереження конкурентоздатності підприємства максимально знижувати собівартість виготовлення продукції, як за рахунок зменшення часу на виготовлення так і зменшення часу на контрольні операції, а також підвищення їхньої якості. Контрольні операції є важливими і від них залежить чи буде деталь якісно перевірена і відповідно чи буде виконувати свої функції якісно у виробі. Впровадження будь-якого контрольного пристрою у виробничий процес повинно бути обґрунтовано за критеріями досягнення необхідної точності та швидкості контролю, а отже інженерне розроблення і чисельне моделювання конструкції контрольно-вимірювального пристрою для радіального биття являє актуальну наукову й практичну задачу.

**Метою дослідження** є удосконалення виготовлення корпусу сальника Н321.117.000.007 шляхом інтенсифікації операції контролю радіального биття.

**Об'єкт дослідження:** технологічний процес оброблення корпусу сальника.

**Предмет дослідження:** контрольно-вимірювальний пристрій для визначення радіального биття деталі «Корпус сальника».

**Наукова новизна:** удосконалена методика проведення дослідження компонентів контрольно-вимірювальних пристроїв на прикладі контролю радіального биття деталі «Корпус сальника» з метою визначення раціональних параметрів елементів контрольно-вимірювального пристрою, при яких забезпечується необхідна точність контролю биття, мінімальні габарити та достатня жорсткість пристрою.

КОРПУС САЛЬНИКА, ОБРОБЛЕННЯ, ЗАГОТОВКА, КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ, РАДІАЛЬНЕ БИТТЯ.

## ABSTRACT

The explanatory note is made on 54 pages, includes 29 drawings, 10 tables, bibliography from 26 sources.

In the modern world of mechanical engineering, it is characterized by a wide range of products and the instability of production volumes, therefore, in order to preserve the competitiveness of the enterprise, it is necessary to reduce the cost of manufacturing products as much as possible, both by reducing the time for manufacturing and reducing the time for control operations, as well as improving their quality. Control operations are important and it depends on them whether the part will be qualitatively checked and, accordingly, whether it will perform its functions qualitatively in the product. The introduction of any control device into the production process must be justified by the criteria of achieving the necessary accuracy and speed of control, and therefore the engineering development and numerical modeling of the design of the control-measuring device is an actual scientific and practical task.

**The purpose of this work** is the improvement of the production of the H321.117.000.007 oil seal housing by intensifying the operation of controlling radial runout.

**The object of research:** technological process of processing the oil seal housing.

**The subject of the study:** control and measuring device for determining the radial runout of the «Oil seal housing» part.

**Scientific novelty:** an improved method of conducting a study of control-measuring device layouts using the example of control of the radial runout of the «Oil seal housing» part in order to determine the rational parameters of the control-measuring device elements, which ensure the necessary runout control accuracy, minimal dimensions and sufficient rigidity of the device.

OIL SEAL HOUSING, PROCESSING, BILLET, CONTROL AND MEASURING DEVICE, RADIAL BEATING.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ 8	8
1.1 АНАЛІЗ СЛУЖБОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ МАШИНИ, ВУЗЛА ДЕТАЛІ. ОПИС КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ДЕТАЛІ І УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ.....	8
1.2 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ УМОВ ТА ВИМОГ ДО КОНСТРУКЦІЇ ДЕТАЛІ. ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗАВДАНЬ ЩОДО ЇЇ ВИГОТОВЛЕННЯ.....	9
1.3 ХАРАКТЕРИСТИКА ТИПУ ВИРОБНИЦТВА ТА ОРГАНІЗАЦІЙНОЇ ФОРМИ ВИРОБНИЦТВА.....	10
1.4 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ДЕТАЛІ.....	11
1.5 АНАЛІЗ БАЗОВОГО АБО ТИПОВОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ.....	12
1.6 ВИСНОВКИ ТА ЗАВДАННЯ ДЛЯ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ.....	13
РОЗДІЛ 2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ.....	14
2.1 СКЛАДАННЯ ВАРІАНТІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАРШРУТІВ ТА ВИБІР ОПТИМАЛЬНОГО .....	14
2.2 ОБҐРУНТУВАННЯ СПОСОБУ ОТРИМАННЯ, РОЗРАХУНОК ТА ФОРМУЛЮВАННЯ ТЕХНІЧНИХ ВИМОГ НА ВИГОТОВЛЕННЯ ПЕРВИННОЇ ЗАГОТОВКИ .....	15
2.3 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМ БАЗУВАННЯ ТА ЗАКРІПЛЕННЯ .....	18
2.4 ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР МОДЕЛЕЙ МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ .....	20
2.5 ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР ВЕРСТАТНИХ ПРИСТРОЇВ, РІЗАЛЬНОГО ТА ВИМІРЮВАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТІВ .....	21
2.6 РОЗРАХУНОК РЕЖИМІВ РІЗАННЯ.....	21
2.7 ПРОЕКТУВАННЯ ЗАСОБІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОСНАЦЕННЯ.....	26
2.8 ВИСНОВОК.....	37

РОЗДІЛ 3 НАУКОВЕ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	39
3.1. АНАЛІЗ СТАНУ ДОСЛІДЖЕНЬ В ОБЛАСТІ ПРОЄКТУВАННЯ, ВИГОТОВЛЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ.....	39
3.2 РОЗРОБЛЕННЯ 3D – МОДЕЛІ КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ ТА ЙОГО МОДАЛЬНИЙ АНАЛІЗ.....	44
3.3 ВИСНОВОК.....	49
ВИСНОВКИ.....	51
СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	52

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Наразі машинобудівна галузь дає нову техніку у всі галузі народного господарства та суспільства.

Наразі на виробничих підприємствах проводиться постійний пошук нових шляхів підвищення продуктивності праці, що є у впровадженні нових та більш ефективних технологій. Тому важливістю тут є підвищення продуктивності виготовлення в цілому, що і є мінімізація основного та допоміжного часу на усіх переходах не тільки механічних операцій але і контрольних.

Скорочення часу випуску продукції передбачає усунення проблем, тобто переходів на яких витрачається часу в декілька разів більше, ніж на інших переходах чи операціях, наприклад як контроль параметрів биття з жорсткими допусками.

Контрольні операції це ті від яких залежить чи буде деталь якісно перевірена і відповідно чи буде виконувати свої функції якісно у виробі. Впровадження будь-якого контрольного пристрою у виробничий процес повинно бути обґрунтовано за критеріями досягнення необхідної точності та швидкості контролю, а отже інженерне розроблення і чисельне моделювання конструкції контрольновимірювального пристрою являє актуальну наукову й практичну задачу.

Зараз для підвищення конкурентоздатності продукції, що випускається на підприємствах є зниження собівартості та підвищення продуктивності випуску деталей типу корпусів сальника, що містять точні допуски по параметрам биття.

Контрольні пристрої відіграють важливу роль у виробництві якісної та конкурентоспроможної продукції, особливо в умовах багатомноменклатурного виробництва, яке вимагає швидкого переоснащення при переході до контролю деталей іншої номенклатури. Впровадження будь-якого контрольновимірювального пристрою у виробничий процес повинно бути обґрунтовано за критеріями досягнення необхідної точності контролю, що задана конструктором на кресленнях деталей, що можуть бути проконтрольовані у ньому, а отже є актуальною задачею.



**Метою дослідження** є удосконалення виготовлення корпусу сальника НЗ21.117.000.007 шляхом інтенсифікації операції контролю радіального биття.

**Об'єкт дослідження:** технологічний процес оброблення корпусу сальника.

**Предмет дослідження:** контрольний пристрій для визначення радіального биття деталі «Корпус сальника».

**Апробація результатів кваліфікаційної роботи магістра.** Не має.

**Публікації.** Не має.

**Структура й обсяг кваліфікаційної роботи магістра.** Робота складається із вступу, трьох розділів, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 54 сторінки, у тому числі 29 рисунків, 10 таблиць, бібліографії із 26 джерел на трьох сторінках.

## РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

### 1.1 Аналіз службового призначення машини, вузла деталі. Опис конструктивних особливостей деталі і умов експлуатації

Деталь «Корпус сальника» Н321.117.000.007, креслення якої наведено в додатку А, що запропонована для кваліфікаційної роботи є однією з найважливіших деталей виробу «Кран шаровий DN50 PN16».

Кран шаровий відноситься до запорної арматури, яка призначена для перекриття потоку робочого середовища (вода, повітря, газ (природний, пропан, бутан), мазут, рослинні та технічні мастила, нафтопродукти, дизельне паливо, гас, бензин та інші рідкі та газоподібні середовища без змісту абразиву при температурі до 200С). Шаровий кран отримав свою назву через сферичної форми затвору. Принцип дії полягає в повертанні навколо своєї осі і перпендикулярно трубопроводу кулі, яка має отвори для проходу і для припинення подачі робочого середовища. До кулі з двох сторін примикають ущільнювальні кільця, які і відповідають за герметичність кульового крана.

Технічна характеристика виробу «Кран шаровий DN50 PN16»:

- герметичність клас А по ГОСТ9544;
- приєднання до трубопроводу – фланцеве;
- тип управління: Р ручний привід;
- кліматичне виконання за ДСТУ 15150-2009 У1 – помірне (температура нс. -45°С до +50 °С);
- повний середній термін служби - 20 років;
- повний середній ресурс не менше 8 000 циклів;
- напрацювання на відмову не менше 1 500 циклів;
- серійно виготовляються за ТУ У 29.1-35907383-001:2008.

Деталь і виріб експлуатується в приміщеннях з помірними умовами в діапазоні температур від +5 до + 40 °С.

Сама деталь і виріб при роботі створюють шум на рівні 40-50 Дб.

## 1.2 Аналіз технічних умов та вимог до конструкції деталі. Визначення технологічних завдань щодо її виготовлення

Дана деталь «Корпус сальника» НЗ21.117.000.007 відноситься до деталей типу фланців, так як відношення  $l/d < 1$  виготовлена зі Сталі 20, яка використовується у крані шаровому. Деталь корпус сальника - ущільнення у вигляді кільця, щільно з'єднує між собою різні деталі. Призначення - герметизувати зазори між з'єднуваними деталями і таким чином виключати протікання рідин.

Розглянемо функціональне призначення деяких конструктивних елементів: конструктивними елементами на даному корпусі являються отвори з різьбою, які слугують для приєднання інших деталей шарового крану.

Матеріал деталі – Сталь 20 ДСТУ 1050-2016. Деталь сама по собі є достатньо жорсткою, так як має досить велику товщину стінок майже по всьому об'єму, і в районі поверхонь закріплення на токарних операціях, тобто під час оброблення не буде деформуватися під дією сил закріплення (наприклад, в трикулачковому патроні). Внаслідок того, що деталь жорстка можна використовувати високоінтенсивні режими обробки на чорнових операціях.

Для аналізу в цьому пункті розглянемо зовнішню циліндричну поверхню  $\varnothing 32f9$  з шорсткістю за критерієм Ra 3,2 мкм, та величиною радіального биття 0,1 мм відносно циліндричної поверхні отвору  $\varnothing 34H7$  призначена для базування вузла і недопущення витоку рідини, тому вимоги до поверхні обґрунтовані.

Враховуючи важкодоступність і складність контролю радіального биття відносно поверхні  $\varnothing 34H7$  для виконання коректного установлення заготовки, щоб забезпечити точність, якість контролю цю операцію треба здійснювати у спеціальному контрольному пристрої.

В цілому ж креслення виконане за усіма вимогами, що пред'являються до таких документів, на кресленні досить видів і перерізів для представлення форми деталі і можливості її виготовлення, також вказані всі розміри.

### 1.3 Характеристика типу виробництва та організаційної форми виробництва

Тип виробництва по ДСТУ 3.1108-74 характеризується коефіцієнтом закріплення операцій  $K_{з.о.}$ .

Виконаємо розрахунок  $K_{з.о.}$  програмним методом за допомогою комп'ютера, використовуючи у якості вхідних даних норми часу по виготовленню деталі із базового технологічного процесу на відповідних операціях (табл. 1.1). В таблиці час вказано лише на механічні операції. Річний обсяг виготовлення – 250 штук.

Таблиця 1.1 – Технологічний процес виготовлення деталі

Номер операції	Найменування операції	Штучно-калькуляційний час, хв
015	Токарно-гвинторізна	20
020	Токарно-гвинторізна	35
030	Токарна з ЧПК	17
035	Токарна з ЧПК	10
045	Вертикально-свердлильна	26
050	Вертикально-фрезерна	31

За результатами розрахунку, які наведені в додатку Б,  $K_{з.о.} = 27,83$ , що говорить про те, що тип виробництва дрібносерійний, і раціонально обрати форму організації робіт – групову.

Особливості групової форми організації робіт це те, що заготовки обробляються невеликими партіями в основному кування і лиття в піщано-глинисті форми. Устаткування використовується універсальне і спеціалізоване. В основному використовують універсальні верстати, також широко використовуються верстати з ЧПК. Устаткування розставляються по технологічним групам.

Кваліфікація робітників вище, ніж в масовому виробництві, але нижче ніж в одиничному.

#### 1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі

В даному пункті будемо розглядати оцінку технологічності деталі «Корпус сальника» НЗ21.117.000.007 в контексті майбутнього дослідження, що буде у розділі 3, а саме контролю радіального биття  $\varnothing 32f9$  відносно внутрішньої циліндричної поверхні  $\varnothing 34H7$ , тому розглянемо стандартні пункти аналізу технологічності які стосуються саме цього питання:

– за матеріалом деталі. Дана деталь виготовлена зі сталі 20 ДСТУ 1050-2016, що технологічно, оскільки матеріал нічим нелегований, тому є дешевим, але в той же час сталь м'яка і в'язка, що з точки зору оброблення заважає досягнути гарної шорсткості і відповідно контроль биття на поверхні  $\varnothing 32f9$  нетехнологічний;

– за технологічністю геометричних форм поверхонь. Контроль радіального биття поверхні відносно базової внутрішньої циліндричної поверхні у даному випадку викликає складнощі, оскільки контрольована поверхня мала за довжиною та важко розмістити стандартну ніжку індикатора при загальному габариті деталі, що суттєво перевищує контрольовану поверхню, тобто треба використати індикатор з мінімальним розміром головки, яка є з рухомою ніжкою, що ускладнює сам процес контролю тому за цим показником деталь є нетехнологічною;

– за проставленням розмірів. Щодо розмірів, то саме лінійні розміри проставлені з обох сторін деталі, що не зручно при обробленні і контролі. На токарних операціях з великою кількістю переустановлень, як вказано у базовому технологічному процесі витримування цих розмірів ускладнено, бо зростає похибка базування, тому доцільніше було б поставити вищезазначені розміри від одного з торців деталі. Все це дозволило б зменшити похибку базування;

– за правильністю обґрунтування прийнятих значень граничних відхилень. На поверхні  $\varnothing 32f9$  не проставлені граничні відхилення, що не зручно при обробленні на робочих місцях, адже потребує наявності таблиці допусків. Допуск на цю поверхню за 9-м квалітетом, що передбачає мінімум дві стадії обробки, та величина биття 0,1 мм може бути отримана, що характеризує технологічність деталі по даному показнику.

### 1.5 Аналіз базового або типового технологічного процесу

Даний пункт будемо виконувати на підставі базового технологічного процесу. У даному технологічному процесі послідовність механічної обробки відповідає загальноприйнятим етапам побудови технологічного процесу, але є недоліки.

В даному пункті будемо розглядати саме недоліки типового технологічного процесу поверхні Ø32f9 на токарній чистовій операції, а також її контролю.

У базовій технології оброблення Ø32f9 здійснюється на токарно-гвинторізному верстаті моделі 1К625 у трьохкулачковому патроні. При цьому спочатку виконується чорнова обробка на іншому верстаті, що наближує заготовку до форми готової деталі, адже початкова заготовка являє собою суцільний шматок прокату. Потім на чистовій операції поверхня Ø32f9 обробляється за два проходи, щоб зменшити всі похибки форми та розташування уточненням. Тому загалом оглядова поверхня точиться три рази. Це все займає велику кількість часу за заводською технологією. Верстат 1К625 давно морально застарів і має повільне переміщенням робочих органів, малу жорсткість та знос вузлів враховуючи через його вік.

Тому виникає нагальна необхідність створення контрольно-вимірювального пристрою (КВП) для контролю радіального биття, що пояснюється призначенням деталі. Зараз на виробництві контроль даного параметра відбувається на самому верстаті після обробки, а потім контроль не проводиться через відсутність КВП. Так як контроль проходить відразу після токарних операцій, то його не можна вважати правильним, тому що є внутрішні деформації від сил закріплення, та температурні деформації заготовки. Після точіння цієї поверхні деталь ще піддається обробці на свердлильних та фрезерних операціях, де теж є деформації.

Вся ця сукупність факторів не дозволяє здійснювати якісний контроль прогресивно. Тому у проекті пропонується розробити спеціальний КВП для контролю радіального биття, що дозволить суттєво підвищити загальну продуктивність, і точність контролю.

## 1.6 Висновки та завдання для удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі

Загалом з аналізу у попередніх пунктах, можна зробити наступні висновки, щодо існуючої ситуації по технології виготовлення та контролю зовнішньої циліндричної поверхні Ø32f9 для переходу до другого розділу, зокрема:

- у базовій технології застосовуються старі верстати, пристрої, різальні та вимірювальні інструменти;

- матеріал заготовки – якісна нелегована сталь, що добре з точки зору режимів обробки, але якість поверхні отримати важко через те що сталь в'язка. Наразі вартість металу висока, тому для економії матеріалу і часу пропонується розрахувати заготовку, що буде наближена за формою і розмірами до готової деталі;

- відсутність окремого контролю радіального биття.

Враховуючи це та дрібносерійну форму організації виробництва пропонується:

- застосувати прогресивний токарний верстат з ЧПК для отримання Ø32f9, а також об'єднати свердлильні і фрезерні операції в одну – комплексну з ЧПК для подальшої широкої номенклатури, що характерна для даного типу виробництва;

- чорнову та чистову токарні операції виконати на різних верстатах;

- розробити спеціальний пристрій для контролю радіального биття Ø32f9 в ньому;

- застосувати твердосплавний інструмент з покриттям для токарних операцій, щоб підвищити швидкості різання.

## РОЗДІЛ 2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

### 2.1 Складання варіантів технологічних маршрутів та вибір оптимального

Розглянемо декілька типових маршрутів для подібних деталей, таких як «Корпус сальника». При цьому будемо укрупнювати операції та максимально обробляти поверхні за один установ. Тому, необхідно прийняти рішення про принцип подальшого проектування, а саме або концентрації операцій одного типу і стадії обробки.

Маршрутну технологію будемо будувати з урахуванням рекомендацій з відповідної літератури.

Наведемо кілька технологічних маршрутів оброблення і виберемо оптимальний.

Маршрут №1:

005 Заготівельна. Штамповка.

010 Термічна обробка.

015 Токарна з ЧПК. Чорнове точіння.

020 Вертикально-свердлильна.

025 Вертикально-фрезерна.

030 Слюсарна. Нарізування різьб і зачистка заусенок.

035 Токарна з ЧПК. Чистове точіння.

Маршрут №2:

005 Заготівельна. Штамповка.

010 Термічна обробка.

015 Токарна з ЧПК. Чорнове точіння.

020 Слюсарна. Нарізування різьб і зачистка заусенок.

025 Вертикально-фрезерна.

030 Вертикально-свердлильна.

035 Токарна з ЧПК. Чистове точіння.



Маршрут №3:

005 Заготівельна. Штамповка.

010 Термічна обробка.

015 Токарна з ЧПК. Чорнове точіння.

020 Токарна з ЧПК. Чистове точіння.

025 Комплексна з ЧПК.

030 Слюсарна. Зачистка заусенок.

Аналіз показав, що третій маршрут найбільш раціональний з точки зору обробки деталі, так як у перших двох варіантах абсолютно не враховують конфігурацію деталі, точність розташування і якість, яка вказана конструктором.

## **2.2 Обґрунтування способу отримання, розрахунок та формулювання технічних вимог на виготовлення первинної заготовки**

Завданням у цьому пункті є визначення найбільш ефективного способу виготовлення заготовки. До даної деталі не вказані вимоги, що вона має бути виготовлена з поковок, тому може бути виготовлена як литтям так і прокатом. Але через те, що для лиття необхідно розробляти спеціальну форму і це занадто дорого і раціонально лише у великосерійному і масовому типах виробництва, то залишимо для аналізу два варіанти, які і будемо економічно розраховувати, а саме поковку на КГШП і прокат.

Тому першим варіантом є отримання заготовки прокатом, як в базовій технології. Заготовка представляла собою циліндр діаметром 170 мм, так як це найближчий за стандартом масою 12 кг. Тому заготовку обдирають начорно з припуском  $2\div 3$  мм на першій токарній операції.

Другим варіантом буде спосіб отримання заготовки штампуванням КГШП. Цей метод більш точний, який має мінімальні припуски, тому втрата матеріалу буде менше.

Розміри заготовки і її масу розрахуємо за другим варіантом за стандартною методикою і визначимо її масу. Процес розрахунків показано у додатку В.

Визначимо собівартості заготовок за обома варіантами.

Розрахунок вартості заготовки, одержуваної прокатом визначаємо за формулою:

$$S_{\text{заг1}} = \left( \frac{C_i}{1000} \cdot Q_2 \cdot \cdot \right) - (Q - q) \cdot \frac{S_{\text{відх}}}{1000}, \text{ грн.} \quad (2.1)$$

де  $C_i = 50000$  грн. – ціна 1т заготовок;

$Q_2 = 12$  кг – маса заготовки за базовим технологічним процесом;

$q = 3,6$  кг – маса готової деталі;

$S_{\text{відх}} = 4000$  грн. – ціна 1т відходів.

$$S_{\text{заг1}} = \left( \frac{50000}{1000} \cdot 12 \right) - (12 - 3,6) \cdot \frac{4000}{1000} = 581 \text{ грн.}$$

$$K_{M1} = \frac{3,6}{12} = 0,21.$$

Розрахунок вартості заготовки, одержуваної штампуванням на КГШП:

де  $C_i = 100000$  грн. – ціна 1т заготовок;

$Q_2 = 7,5$  кг – маса штампованої заготовки;

$k_T = 1$  – коефіцієнт що залежить від точності штампованої заготовки;

$k_M = 1$  – коефіцієнт, що залежить від марки матеріалу (для сталі 20);

$k_c = 0,9$  – коефіцієнт що залежить від групи складності (для другої групи складності);

$k_B = 1,0$  – коефіцієнт, що залежить від матеріалу заготовки (для сталі 08X18H10T);

$k_{II} = 1$  – коефіцієнт що залежить від обсягу виробництва заготовок.

$$S_{\text{заг1}} = \left( \frac{100000}{1000} \cdot 5,8 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \right) - (5,8 - 3,6) \cdot \frac{4000}{1000} = 427,1 \approx 427 \text{ грн.}$$

$$K_{M2} = \frac{3,6}{7,5} = 0,57.$$

Порівнюючи два варіанти видно, що маса заготовки на КГШП менше, а коефіцієнт використання матеріалу більше, ніж прокату.

З результатів видно, що в умовах дрібносерійного виробництва найбільш вигідним буде використання поковки штампованої на КГШП. Розрахунок вартості чорнової операції не доцільно проводити, так як і так ціна за другим варіантом нижча. Тому у якості заготовки для деталі «Корпус сальника» приймаємо поковку на КГШП.

Результати попередніх розрахунків заготовки на КГШП зводимо в таблицю В.1 (додаток В) та формуємо технічні вимоги, які вноситимуться в креслення.

Технічні вимоги:

1. Гр. II Сталь 20 твердість 141-163 НВ ГОСТ 25054 - 81.
2. Поковка штампована на КГШП ГОСТ 7505-89.
3. Клас точності - Т4, група сталі - М1, ступінь складності - С2, індекс - 10.
4. Невказані радіуси закруглень - R 3...4 мм.
5. Штампувальні ухили - 5-7°.
6. Допустима величина зміщення по поверхні штампа - 2 мм.
7. Допустимі відхилення по випуклості не більше 2 мм.
8. Шорсткість поверхонь поковки Ra 25 мкм.

Ескіз заготовки наведено на рисунку 2.1.

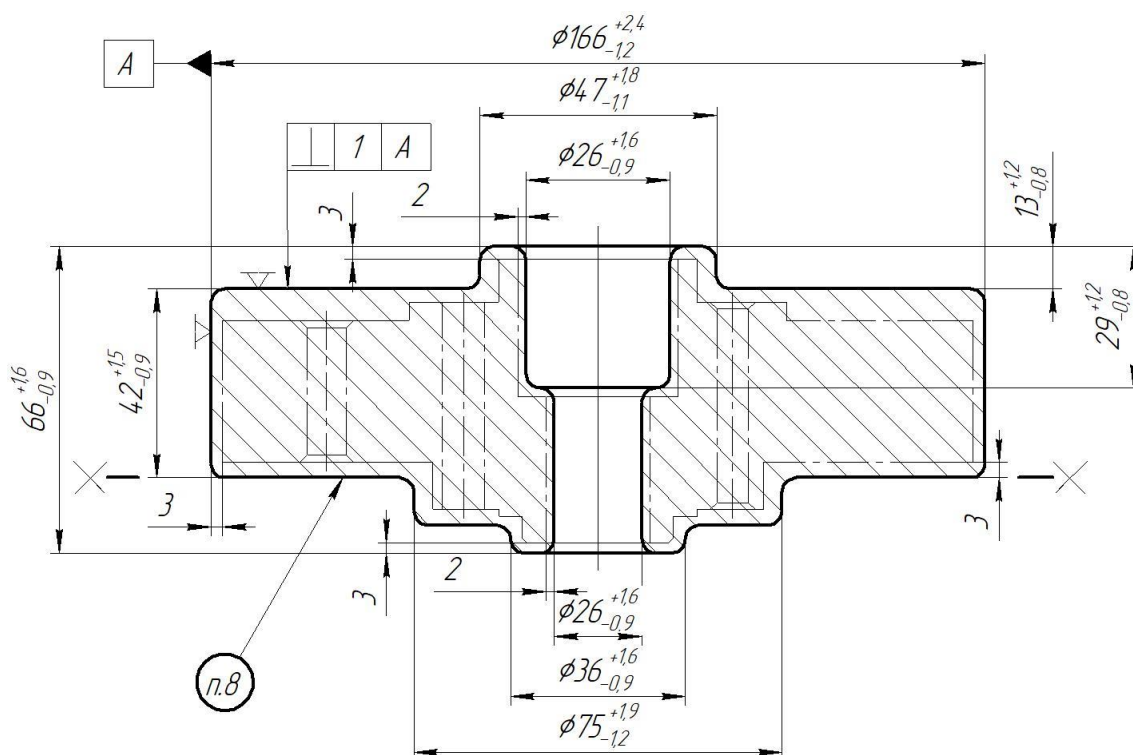


Рисунок 2.1 – Ескіз заготовки

### 2.3 Призначення та обґрунтування схем базування та закріплення

Для розгляду в цьому пункті було обрано чистову токарну з ЧПК операцію технологічного процесу, так як саме на ній формується допуск радіального биття 0,1 мм, тому її доцільно вибрати для аналізу з точки зору похибки базування.

Розглянемо дві схеми базування і виконаємо їх порівняння з точки зору похибки базування та жорсткості при обробці. Перший варіант операційного ескізу даної операції наведено на рис. 2.2.

На даній операції заготовка встановлюється по другому зліва торцю – установча база (3 ступені волі), та внутрішньою поверхнею 34 мм – подвійна опорна база (2 ступені волі). Закріплення відбувається кулачками токарного патрона.

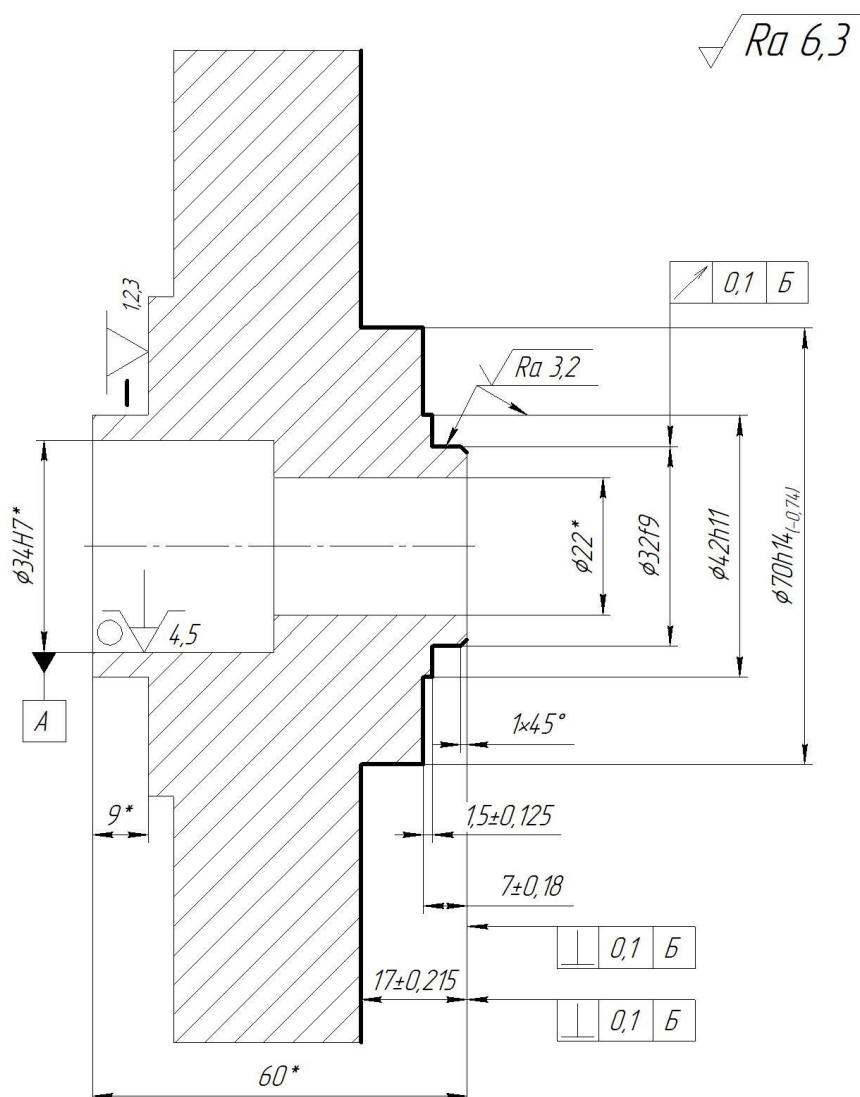


Рисунок 2.2 – Операційний ескіз токарної з ЧПК операції (варіант 1)

Другим варіантом схеми базування розглядаємо базування деталі також по третьому зліва торцю, та внутрішньою поверхнею 34 мм – подвійна опорна база (2 ступені волі). Закріплення здійснюватиметься кулачками патрона на розтиск. Операційний ескіз за другим варіантом на дану операцію наведено на рисунку 2.3.

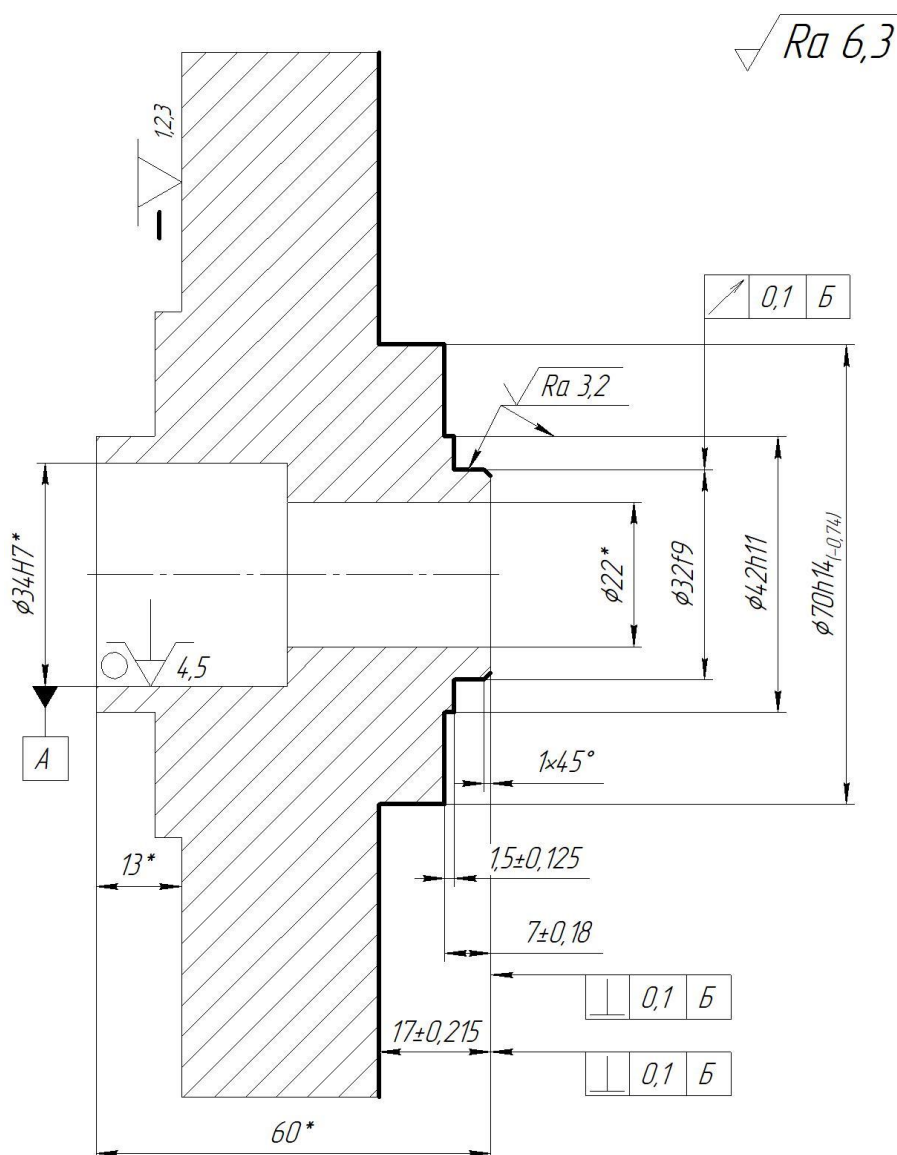


Рисунок 2.3 – Операційний ескіз токарної з ЧПК операції (варіант 2)

Аналізуємо дві схеми базування деталі за критерієм зручності і надійності, а також похибки на лінійні розміри, тому визначаємо похибку базування для двох варіантів. У якості розміру, на який буде впливати похибка базування розглянемо розміри  $1,5 \pm 0,125$  мм.

– за першим варіантом  $\varepsilon_{61,5} = T_{60} + T_9 = 0,25 > 0,1 + 0,1 = 0,2$  мм – тому в цьому варіанті браку немає;

– за другим варіантом  $\varepsilon_{61,5} = T_{60} + T_{13} = 0,25 < 0,1 + 0,16 = 0,26$  мм – тому в цьому варіанті брак є.

Отже з точки зору лінійних розмірів і жорсткості приймаємо варіант №1.

## 2.4 Обґрунтування та вибір моделей металорізальних верстатів

Для операції токарна чистова з ЧПК пропонуємо використовувати металорізальний верстат моделі HAAS ST-10, паспортні дані якого були взяті з [5].

Вибір даного обладнання робився з огляду на технологічні методи обробки поверхонь на даній операції і можна зробити висновок, що даний верстат підходить для здійснення заданої операції. Потужність даного обладнання становить 9,3 кВт, що буде достатньо для обробки.

Таблиця 2.1 – Технічна характеристика верстата моделі HAAS ST-10

Параметри	Чисельні дані
Найбільший діаметр обробленої заготовки, мм:	
- над станиною	310
- над супортом	160
Найбільший діаметр прутка, що проходить через отвір шпинделю, мм	35
Найбільша довжина обробленої заготовки, мм	740
Частота обертання шпинделю, об/хв	0-6500
Кількість швидкостей шпинделю	безступінчасте
Подача супорта, мм/хв:	
- повздовжня	22 м / хв
- поперечна	18 м / хв
Кількість ступенів подач	безступінчасте
Потужність електричного двигуна головного привода, кВт	9,3
Габаритні розміри l x b x h, мм	3721x2307x2170
Маса, кг	3568

Такі габарити робочого простору дозволять встановити пристрій та обробити заготовку із заданою точністю.

## 2.5 Обґрунтування та вибір верстатних пристроїв, різального та вимірювального інструментів

Для установки і закріплення деталі на операції токарна з ЧПК в якості пристрою використовуємо трикулачковий патрон. Патрон із пневматичним приводом. У даному пристрої шляхом простої переналадки можуть оброблятися деталі подібні до заданої (диски, фланці з  $l/d < 1$ ).

Для обробки заданих поверхонь на операції застосовуємо такі різальні інструменти:

– прохідний упорний з ромбічною пластиною із твердого сплаву T15K6 по ISO - PCLNR2525M12, головний кут в плані -  $95^\circ$ , кут при вершині –  $80^\circ$ , довжина РІ - 170 мм, всі зовнішні поверхні отримуються даним РІ, НхВ=25х25.

– розточувальний з ромбічною пластиною із твердого сплаву T15K6 по ISO – S16 - MCLNR, головний кут в плані -  $93^\circ$ , кут при вершині -  $55^\circ$ , переріз – круглий d16, всі внутрішні поверхні на чистовій операції отримуються даними ріжучими інструментами поступово.

Допоміжні інструменти для даної операції не потрібні.

Для контролю розмірів на операції застосовуємо універсальний шкальний інструмент, а саме штангенциркуль ШЦ-П-200-0,05 ДСТУ 166-2009, мікрометр МК25-50 ДСТУ 6507-2010, нутромір мікрометричний НМ18-35 ДСТУ 10-2008.

## 2.6 Розрахунок режимів різання

В даному пункті виробляємо розрахунок режимів різання на операції токарна з ЧПК. Причому розрахунок режимів різання аналітичним методом виконуємо на основний перехід чистове точіння  $\varnothing 32f9$ , так як на даній поверхні отримується допуск радіального биття 0,1 мм, який і буде аналізуватися в розділі 3. Розрахунок проводимо по [10], а на інші поверхні табличним методом і зводимо в табл. 2.2 за рис. 2.2.

Вихідні дані: на токарному з ЧПК верстаті проводиться чистове точіння  $\varnothing 32f9$ . Оброблюваний матеріал – сталь 20 з межею міцності  $\sigma_B$  – 350 МПа.

Геометричні параметри різця:

- головний кут у плані  $\varphi = 95^{\circ}$ ;
- допоміжний кут у плані  $\varphi_1 = 5^{\circ}$ ;
- кут при вершині  $\varepsilon = 80^{\circ}$ ;
- матеріал інструменту - твердий сплав Т15К6.

Глибина різання при точінні  $t = 0,2$  мм.

Подача:  $S = 0,05-0,12$  мм / об, що обирається з [10], приймаємо середнє значення подачі  $S = 0,07$  мм / об, так як треба отримати шорсткість Ra 3,2 мкм.

Отже подача при підрізуванні торця  $S = 0,07$  мм / об.

Швидкість різання при точінні визначаємо за формулами [10]:

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v, \text{ м/хв}, \quad (2.3)$$

де  $C_v = 112$  – коефіцієнт у формулі швидкості різання, що залежить від оброблюваного матеріалу, інструментального матеріалу [10];

$y = 0,4$  – коефіцієнт у формулі швидкості різання, що залежить від оброблюваного матеріалу, інструментального матеріалу [10];

$x = 0,09$  – коефіцієнт у формулі швидкості різання, що залежить від оброблюваного матеріалу, інструментального матеріалу [10];

$p = 0,15$  – коефіцієнт у формулі швидкості різання, що залежить від оброблюваного матеріалу, інструментального матеріалу [10];

$m = 0,35$  – коефіцієнт у формулі швидкості різання, що залежить від оброблюваного матеріалу, інструментального матеріалу [10];

$T = 120$  хв – період стійкості фрези при обробці сталі 20 [10];

$K_v$  – загальний поправочний коефіцієнт, що враховує конкретні умови обробки.

$$K_v = K_{MV} \cdot K_{ПV} \cdot K_{ИV}, \quad (2.4)$$

де  $K_{MV}$  – поправочний коефіцієнт на оброблюваний матеріал [10];

$K_{ИV} = 1,0$  – поправочний коефіцієнт на інструментальний матеріал [10];



$K_{IV} = 1,0$  – поправочний коефіцієнт, який враховує стан поверхні [10].

Коефіцієнт  $K_{MV}$  визначаємо за формулою:

де  $n_V = 1,0$  – показник ступеня, що враховує групу сталі по оброблюваності для фрезерування [10];

$$K_{MV} = 1 \cdot \left(\frac{750}{350}\right)^{1,0} = 1,28.$$

Визначаємо загальний поправочний коефіцієнт  $K_V$  за формулою 2.4:  
 $K_V = 1,28 \cdot 1 \cdot 1 = 1,18.$

Визначаємо швидкість різання за формулою 2.3:

$$V = \frac{112}{120^{0,35} \cdot 0,2^{0,09} \cdot 0,07^{0,4}} \cdot 1,28 = 131,5 \text{ м/хв.}$$

Розраховуємо частоту обертання шпинделя за формулою:

$$n = \frac{1000 V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 131,5}{3,14 \cdot 32} = 1571 \text{ об/хв.}$$

Подачу  $S = 0,097$  мм/об і частоту обертання шпинделя  $n = 1571$  об/хв не округляем до паспортних даних, так як верстат має безступінчасте регулювання.

Визначаємо силу різання:

$$P_Z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p, \quad (2.5)$$

де  $C_p = 90$  – коефіцієнт у формулі сили різання, що залежить від виду обробки, оброблюваного матеріалу, інструментального матеріалу [10];

$y = 0,7$  – коефіцієнт у формулі сили різання, що залежить від оброблюваного матеріалу, інструментального матеріалу [10];

$x = 0,5$  – коефіцієнт у формулі сили різання, що залежить від оброблюваного матеріалу, інструментального матеріалу [10];

$n = 0,85$  – коефіцієнт у формулі сили різання, що залежить від оброблюваного матеріалу, інструментального матеріалу [10];

Визначаємо силу різання за формулою:

$$P_z = 10 \cdot 90 \cdot 0,2^{0,5} \cdot 0,07^{0,7} \cdot 131,5^{0,85} \cdot 1 \approx 142 \text{ Н.}$$

Потужність різання при точінні визначаємо за формулою 2.6:

$$N = \frac{P_z \cdot V_d}{1020 \cdot 60} = \frac{142 \cdot 131,5}{1020 \cdot 60} = 1,31 \text{ кВт.}$$

Потужність різання при точінні не перевищує потужності верстата кВт,  $N = 1,31 < N_B \cdot \eta = 9,3 \cdot 0,9 = 8,25 \text{ кВт}$ , отже обробка можлива.

Визначаємо основний час  $T_o$  за формулою:

$$T_o = \frac{L \cdot i}{n \cdot S}, \quad (2.7)$$

де  $L$  – довжина робочого ходу інструменту;

$i = 1$  – число проходів

$$T_o = \frac{8 \cdot 1}{1571 \cdot 0,07} = 0,03 \text{ хв.}$$

Довжина робочого ходу інструмента:  $L = 5 + 3 = 8 \text{ мм}$ .

Розрахунок режимів різання на інші переходи на даній операції здійснюємо табличним методом за [6].

Таблиця 2.2 – Таблиця режимів різання

Номер і текст переходу	Параметри режимів обробки					L, мм	T <sub>o</sub> , хв	Вид режима
	t, мм	S, мм/об	n, об/хв	V, м/хв	i			
Операція 030 – токарна з ЧПК								
Підрізати торець Ø32/Ø22	0,2	0,07	1571	131	1	8	0,03	Аналітичний
Точити поверхню Ø32	0,2	0,07	1571	131	1	8	0,03	Табличний
Точить фаску 1x45°	1	0,07	1571	131	1	2	0,01	Табличний

Точить поверхню Ø 42	0,4	0,1	1450	132	1	10	0,08	Табличний
Підрізати горець Ø70/Ø42	0,2	0,1	1310	128	1	19	0,13	Табличний
Точити поверхню Ø70	0,2	0,1	1310	128	1	12	0,09	Табличний
Розточити отвір Ø22	0,2	0,05	1893	110	1	34	0,37	Табличний
Разом							0,74	

Технічне нормування операцій здійснюємо згідно вибору з відповідної літератури норм допоміжного часу.

Визначаємо допоміжний час  $T_e$  на аналізованій операції за формулою:

$$T_B = T_{B,уст} + T_{B,оп} + T_{B,вим}, \text{ хв} \quad (2.8)$$

де  $T_{e,уст} = 0,4$  хв – допоміжний час на установку і зняття заготовки [6 с.53];

$T_{e,оп} = 0,9$  хв – допоміжний час для здійснення операції;

$T_{e,вим} = 1,1$  хв – допоміжний час на вимірювання.

Тоді допоміжний час  $T_e$  за формулою 2.8:

$$T_B = 0,4 + 0,9 + 1,1 = 2,4 \text{ хв.}$$

Визначення штучного часу  $T_{шт}$ :

$$T_{шт} = (\sum T_o + T_B \cdot K_{ТВ}) \cdot (1 + a_{огр.} + a_{тех.} + a_{отл.}/100), \text{ хв} \quad (2.9)$$

де  $a_{огр.} + a_{тех.} + a_{отл.}$  – час на обслуговування робочого місця, відпочинок і особисті потреби, що дорівнює 8% [6];

$K_{ТВ} = 1,23$  – поправочний коефіцієнт на допоміжний час в залежності від розміру партії оброблюваних деталей і серійності виробництва.

Тоді штучний час  $T_{шт}$ :

$$T_{шт} = (0,74 + 2,4 \cdot 1,23) \cdot \left(1 + \frac{14}{100}\right) = 4,2 \text{ хв.}$$

Визначаємо штучно-калькуляційний час за формулою:

$$T_{шт-к} = \left( T_{шт} + \frac{T_{п.з.}}{N} \right), \text{ хв} \quad (2.10)$$

де  $N=24$  шт. – кількість деталей в партії;

$T_{пз}=25,1$  хв – підготовчо-заключний час, хв.

Тоді штучно-калькуляційний  $T_{шт-к}$  час за формулою 2.10:

$$T_{шт-к} = \left( 4,2 + \frac{25,1}{24} \right) = 5,24 \text{ хв.}$$

## 2.7 Проектування засобів технологічного оснащення

В даній роботі за завданням необхідно розробити контрольнo-вимірювальний пристрій для контролю радіального биття  $\varnothing 32f9$  деталі «Корпус сальника» на операції технічного контролю.

Згідно з завданням необхідно виконати контроль радіального биття  $\varnothing 32f9$  деталі щодо внутрішньої циліндричної поверхні бази А, що має допуск 0,1 мм згідно з кресленням (додаток А).

Річна програма випуску  $N=250$  деталей. Такт випуску деталей при двозмінній роботі дорівнює 963 хвилин згідно з пунктом, що свідчить про невисоку інтенсивність контролю. При заданому періоді виробництва КВП повинен здійснити 1250 циклів контролю.

Контроль биття виконується після всіх операцій.

Уточнення і аналіз точності параметрів контрольованої поверхні.

Точність розміру.

Як уже встановлено, номінал контрольованого розміру 32 мм. Він повинен відповідати точності 9-го квалітету, так як вказано на кресленні деталі. Верхнє відхилення його згідно ДСТУ 25347-2011  $es = -10$  мкм; нижнє відхилення  $ei = -32$  мкм. Отже допуск  $T = 20$  мкм. Остаточнo поставимо розмір  $32f9(-0,01; -0,032)$  мм/

Точність форми.

На кресленні не оговорений допуск форми контрольованої поверхні. На цій поверхні виникатиме відхилення від площинності. Тому визначимо допуск круг-

лості, який пов'язаний з допуском на розмір і становить при рівні відносної геометричної точності А (нормальна відносна геометрична точність) 60% від допуску на розмір, тобто, максимальне значення відхилення від круглості складе

$$T_{\square}=0,6 \cdot T_{32}=0,6 \cdot 22=12,2\text{мкм.}$$

Отже по ДСТУ 24643-2011 приймаємо найближче менше стандартне значення 10 мкм, що відповідає 8-й ступені точності.

Точність розташування поверхонь.

Конструктором обговорений допуск радіального биття, який становить 0,1 мм, а згідно з ДСТУ найближчий стандартний менший допуск дорівнює 0,1 мм, що відповідає 10-му ступеню точності.

Ступінь шорсткості.

Згідно креслення, конструктором задана шорсткість контрольованої площини за критерієм Ra = 3,2 мкм.

Вибір схеми контролю.

З усієї сукупності поверхонь, що утворюють деталь, претендувати на базові можуть дві: внутрішня циліндрична поверхня Ø34H7, яка і задана конструктором на кресленні як база і, яка є найточнішою поверхнею на деталі. Також у якості базової має бути застосована і торцева поверхня Ø80/42 мм. Проведемо уточнення і аналіз точностних параметрів цих поверхонь.

Точність розмірів.

– зовнішня циліндрична

Як уже встановлено, номінал розміру базової поверхні 34 мм. Він відповідає точності 7-го квалітету, так як вказано конструктором на кресленні деталі. Поле допуску розміру H7. Верхнє відхилення  $e_s = +0,025$  мм; нижнє відхилення  $e_i = 0$  мм. Отже допуск  $T = 25$  мкм. Остаточню проставимо розмір Ø34 (+0,025; 0) мм.

– торець

Номинал розміру базової поверхні 80 мм (за кресленням). Його відхилення за кресленням а9, що відповідає допуску 9-го квалітету. Поле допуску вказано конструктором а9. Верхнє відхилення його згідно ДСТУ 25347-2011  $es = -0,07$  мкм; нижнє відхилення  $ei = -0,19$  мм. Отже допуск  $T = 120$  мкм. Остаточню про- ставимо розмір 80 (-0,07; -0,19) мм.

Точність форми.

На кресленні не вказані допуски форми базової поверхні. На цій поверхні будуть виникати такі відхилення форми: відхилення циліндричності і відхилення від круглості, окремими випадками якого є овальність і огранювання, а також часні відхилення профілю поздовжнього перерізу – конусообразність, бочкообразність, седлообразність, хоча ці відхилення в більшій мірі притаманні деталям типу валів. Тому визначимо допуск круглості, циліндричності і профілю поздовжнього перерізу, які пов'язані з допуском на розмір і складають при рівній відносній геометричній точності А (нормальна відносна геометрична точність) 30% від допуску на розмір, тобто, максимальне значення відхилення від круглості, циліндричності і профілю поздовжнього перерізу складе

$$T_{O/o} = 0,3 \cdot T_{34} = 0,3 \cdot 25 = 7,5 \text{ мкм.}$$

Отже приймаємо найближче менше значення 5 мкм, що відповідає 5-му ступеню точності.

На кресленні не обговорений допуск форми даної поверхні. На цій поверхні виникатиме відхилення від площинності. Тому визначимо допуск площинності, який пов'язаний з допуском на розмір і становить при рівній відносній геометричній точності А 60% від допуску на розмір, тобто, максимальне значення відхилення від площинності складе

$$T_{\square} = 0,6 \cdot T_{80} = 0,6 \cdot 120 = 75 \text{ мкм.}$$

Отже приймаємо найближче менше стандартне значення 63 мкм, що відповідає 9-му ступеню точності.

Ступінь шорсткості.

Згідно креслення параметри шорсткості  $\text{Ø}34\text{H}7$  – 1,6 мкм за критерієм Ra і торця 3,2 мкм за критерієм Ra. Це відповідає точносним вимогам.

Вибір і обґрунтування схеми базування.

Складемо порівняльну таблицю кількісно-точнісних параметрів базової і контрольованої поверхонь. Вона дозволить прийняти обґрунтоване рішення про придатність розглянутих поверхонь в якості базових.

Таким чином з таблиці видно, що параметри базових поверхонь: точність розміру і форми – вище, а ступінь шорсткості нижче, ніж аналогічні параметри контрольованої поверхні, отже за даними показниками ці поверхні можна прийняти в якості базових.

Так як деталь базується установкою на оправку і установкою по торцю, а також притискається зверху прижимом, то похибка базування безпосередньо впливає на точність вимірювання. Деталь буде позбавлена п'яти ступенів свободи. Дана схема дозволяє сумістити конструкторську і вимірювальну бази, в результаті чого похибка базування буде дорівнювати нулю.

Таблиця 2.7 – Точнісні параметри поверхонь

Найменування точнісного показника	Контрольована поверхня	Базові поверхні	
		$\text{Ø}34\text{H}7$	торець $\text{Ø}80/\text{Ø}42$
1. Точність розміру (квалітет)	9	7	9
2. Точність форми (ступінь точності)	10	6	8
3. Точність розташування поверхонь (ступінь точності)	6	5	9
4. Ступінь шорсткості	Ra=3,2мкм	Ra=1,6мкм	Ra=3,2мкм

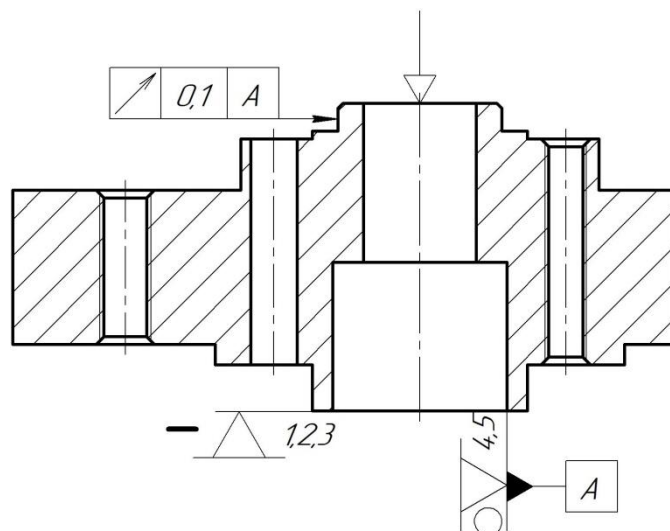


Рисунок 2.7 – Схема базування деталі на контрольній операції

Вибір і обґрунтування схеми закріплення.

Деталь при контролі розташовується вертикально. Закріплення контрольованої деталі здійснюється через швидкозмінну шайбу з силою до 10Н. Похибка закріплення при використанні даної схеми дорівнює нулю.

Вибір контактного або безконтактного методу вимірювання.

При контактних вимірах вимірювальний наконечник притискається до поверхні вимірюваної деталі. У загальному випадку можуть бути точковий, лінійний і поверхневий контакти. Необхідно прагнути до створення точкового контакту, в даному випадку плоска деталь – сферичний наконечник. Однак внаслідок наявності вимірювального зусилля точковий контакт викликає змінання вимірюваного виробу в точці контакту.

Для забезпечення точкового контакту приймаємо наконечник сферичної форми при радіусі сфери не менше 5 мм, типу НР з твердосплавної вставкою по ДСТУ 11007-2006.

Дана величина радіусу сфери наконечника обрана виходячи з міркувань, що при таких параметрах наконечника площі контакту буде достатньо для виконання умови незмінання поверхні деталі, а також зменшення ймовірності виникнення похибки внаслідок збільшення забруднення зони контакту.

З огляду на твердість контрольованої поверхні і допуск контрольованого параметра 0,1 мм, геометричні параметри наконечника орієнтовно призначаємо



вимірювальне зусилля 5Н. В цьому випадку очікувана похибка від вимірювального зусилля визначається за формулою Герца:

$$\Delta_{yc} = 0,43 \cdot k \cdot \sqrt[3]{\frac{P_{yc}^2}{r}}, \quad (2.12)$$

де  $k$  – коефіцієнт, що залежить від матеріалу наконечника. При твердому сплаві  $k = 0,81$ ;

$P_{yc}$  – вимірювальне зусилля, Н;

$r$  – радіус наконечника, мм.

Тоді похибка від вимірювального зусилля:

$$\Delta_{yc} = 0,43 \cdot 0,81 \cdot \sqrt[3]{\frac{5^2}{5}} = 0,595 \text{ мкм.}$$

Вибір статичного або динамічного методу контролю.

При статичному режимі контрольована деталь в процесі вимірювання нерухома щодо установчих елементів КВП і результат вимірювання визначається, коли всі елементи приладу прийшли в стан спокою.

У нашому випадку деталь для здійснення контролю вимагає повороту навколо своєї осі на  $360^\circ$ , так як інакше проконтролювати з даною точністю (радіальне биття) неможливо, тому в нашому випадку приймаємо динамічний режим контролю.

Вибір розташування деталі при контролі.

Реалізація переміщення деталі щодо елементів КВП в процесі налагодження та контролю, а саме обертання навколо власної осі на  $360^\circ$ , буде здійснюватися без особливих зусиль з боку контролера, так як стакан буде з'єднаний з фланцем, який встановлений на опорах кочення (рис. 2.8), що варто відзначити як позитивний момент в конструкції КВП.

Вибір засобу вимірювання.

Допустима сумарна похибка вимірювання КВП знаходиться як частина виробничого допуску контрольованого параметра  $T_{пр} = 100$  мкм:

$$\Delta_{\text{вим}} = k \cdot T_{\text{пр}} \quad (2.13)$$

де  $k$  – відносна похибка вимірювання, яка залежить від квалітету або ступеня точності контрольованого параметра (для 9-го ступеня точності  $k = 0,35$ ).

Тоді:

$$\Delta_{\text{вим}} = 0,35 \cdot 100 = 35 \text{ мкм.}$$

Відповідно до ДСТУ 8.051-2001 рекомендується прийняти похибку 30 мкм.

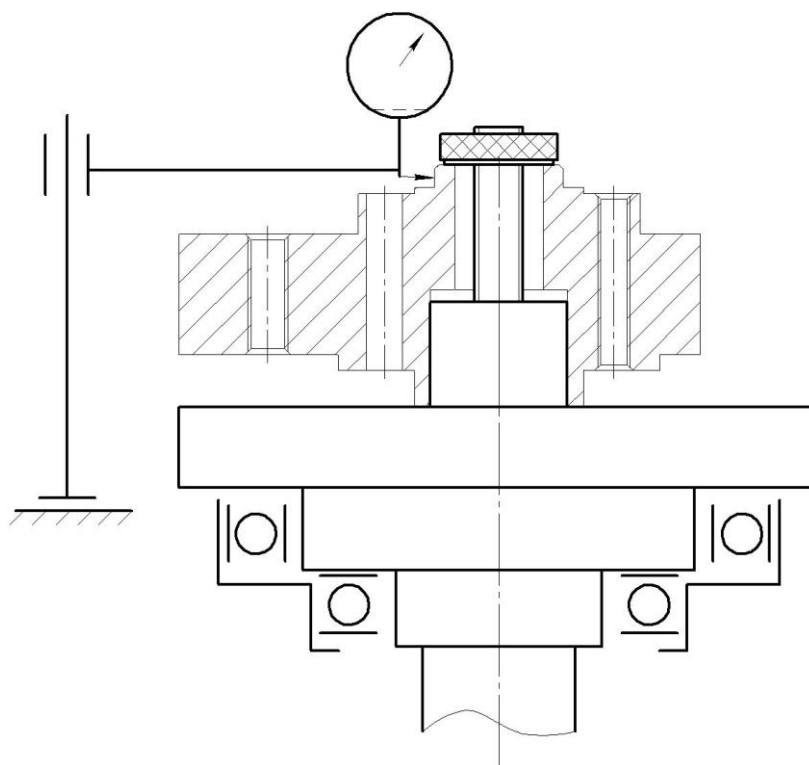


Рисунок 2.8 – Схема контролю деталі при базуванні її на оправці

Визначимо допустиму похибку засоби вимірювання (інструментальну похибку):

$$\Delta_{\text{ін}} = (0,6 - 0,8) \cdot \Delta_{\text{вим}} \quad (2.14)$$

Приймаємо коефіцієнт 0,6:

$$\Delta_{\text{ін}} = 0,6 \cdot 30 = 18 \text{ мкм.}$$

Інтервал поділки шкали  $[a]$  приймається з рекомендацій [11] рівний від 0,9 до 2,5 мм, оскільки менша відстань між сусідніми штрихами шкали може утруд-

нити зчитування показань засобу вимірювання, а більше не доцільно. Тому приймаємо  $[a] = 1$  мм, як найбільш поширене в практиці.

Межа вимірювання за шкалою  $[A]$  повинна перевищувати допуск  $T_{np}$ , щоб зняття показань здійснювалось без зайвих турбот. Тому приймаємо:

$$[A] = 2 \cdot T_{np} = 2 \cdot 100 = 200 \text{ мкм.}$$

Межа вимірювання засобу (діапазон вимірювань) визначається умовами експлуатації. Для відносних вимірювань цілком достатньо прийняти  $[B] = 1$  мм.

Допустиму варіацію показань приймаємо  $[W] = 10$  мкм.

Вимірювальна умова  $P_{yc}$  обумовлюється характером контролюючих поверхонь при вимірюванні, жорсткістю контрольованої поверхні, величиною допуску вимірюваного параметра. Значення вимірювального зусилля було прийнято в попередній роботі, отже прийmemo його як допустимий  $[P_{зyc}] = 5$  Н.

Допустиме коливання вимірювального зусилля обумовлено величиною  $[\Delta P] = 1$  Н [11].

Встановлюється необхідний ресурс (показник експлуатаційної надійності) засобу вимірювання, який визначається кількістю вимірювальних циклів  $[K]$  і ймовірністю безвідмовної роботи засоби вимірювання  $[q]$  (%).

Ймовірність безвідмовної роботи  $[q] = 85\%$ , виходячи з можливостей вимірювальних засобів, що випускаються інструментальної промисловістю.

Кількість вимірювальних циклів дорівнює 1500 циклів (вимір деталей протягом 5 років). Отже приймаємо  $[K] = 1500$  циклів.

Згідно сталим цінами на контрольно-вимірювальні засоби, встановимо витрати на придбання СІ:  $[L] = 250$  грн.

Пошук засобу вимірювання по заданим обмеженням.

Здійснюємо пошук засобу вимірювання за таблицями ричажно-зубчастих вимірювальних головок. Пошук здійснюємо відповідно до паспортів й каталогів технічних характеристик для важільно-зубчастих та інших вимірювальних головок. Для уникнення необхідності застосування важельних механізмів застосуємо

індикатор з рухомою ніжкою, яка може повертатися в просторі для здійснення контролю. Найбільш близьким за показниками для контролю торцевого биття буде використання індикаторної головки TESA Lateral 01017143, з наступними параметрами:  $A = 500$  мкм,  $B = 3$  мм,  $P_{зyc} = 3$  Н,  $\Delta P_{yc} = 0$ ,  $W = 5$  мкм,  $K = 200000$ ,  $q = 95\%$ ,  $C = 5500$  грн.

Пошук здійснюємо відповідно до паспортів й каталогів технічних характеристик для важільно-зубчастих та інших вимірювальних головок. Найбільш близьким за показниками для контролю торцевого биття буде використання індикаторної головки TESA Lateral 01017143, що має такі метрологічні характеристики:

Інші індикаторні головки мають надлишкову точність та меншу надійність. Тому остаточно вибираємо індикатор TESA Lateral 01017143.

Розробка кінематичної схеми КВП.

Розробка ескізу функціонального вузла.

Реалізуючи даний крок розробимо ескіз функціонального вузла, що викликає найбільший інтерес з точки зору важливості його роботи в КВП і складності проектування.

Наведемо ескіз функціонального вузла обертання деталі (рис. 2.10, 2.11), згідно з принциповою кінематичною схемою і схемою розміщення елементів КВП. Розглянемо позитивні і негативні сторони кожного з компоновань.

Контроль параметра – торцевого биття, буде забезпечений в обох випадках з достатньою точністю, так як осьове биття більшого упорного підшипника 1,8 мкм, а радіально-упорного 2 мкм (при торцевому битті контрольованої поверхні 60 мкм), тому як більш технологічний варіант приймаємо другий ескіз функціонального вузла, зображений на рисунку 2.11.

Розрахунок фактичної сумарної похибки КВП

А для цього необхідно, щоб сумарна фактична похибка вимірювання КВП не перевищувала допустиму похибку вимірювання:

$$\Delta_{\phi} \leq [\Delta_{ИЗМ}] \quad (2.16)$$

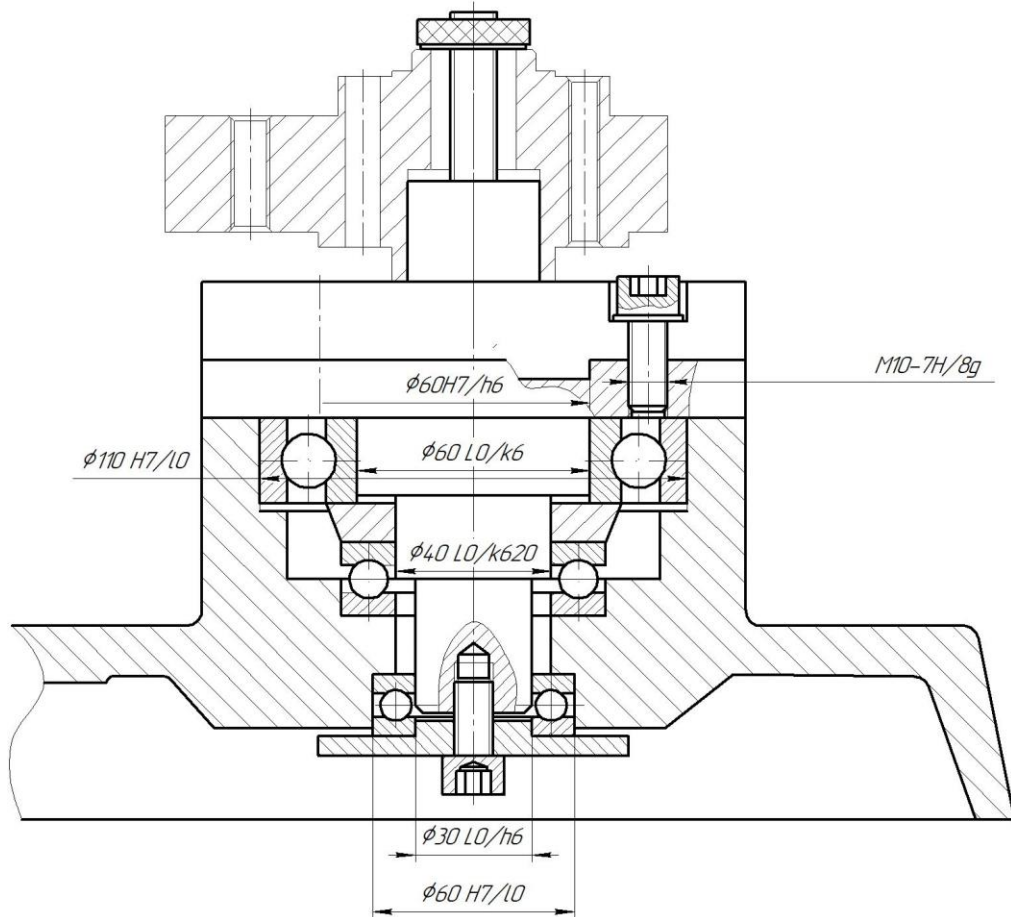


Рисунок 2.10 – Ескіз функціонального вузла (варіант 1)

Фактична похибка КВП визначається за формулою:

$$\Delta_{\phi} = \sqrt{\Delta_{ин}^2 + E^2 + \Delta_{э}^2 + \Delta_{ус}^2 + \Delta_t^2 + \Delta_p^2}, \quad (2.17)$$

де  $\Delta_{ин} = 5$  мкм – похибка засобу вимірювання;

$E$  – похибка установки;

$\Delta_{э}=0$  – похибка міри або еталона, так як при контролі беремо еталон;

$\Delta_{ус}$  – похибка від вимірювального зусилля;

$\Delta_t = 0$  – похибки від температурних деформацій, цієї похибкою можна знехтувати, оскільки контроль деталей буде проводитися не відразу після їх виготовлення і доставки на стіл ВТК, а з витримкою певного часу, для того щоб температура деталі і температура всього КВП зрівнялася;

$\Delta_p$  – похибка передавальних пристроїв.

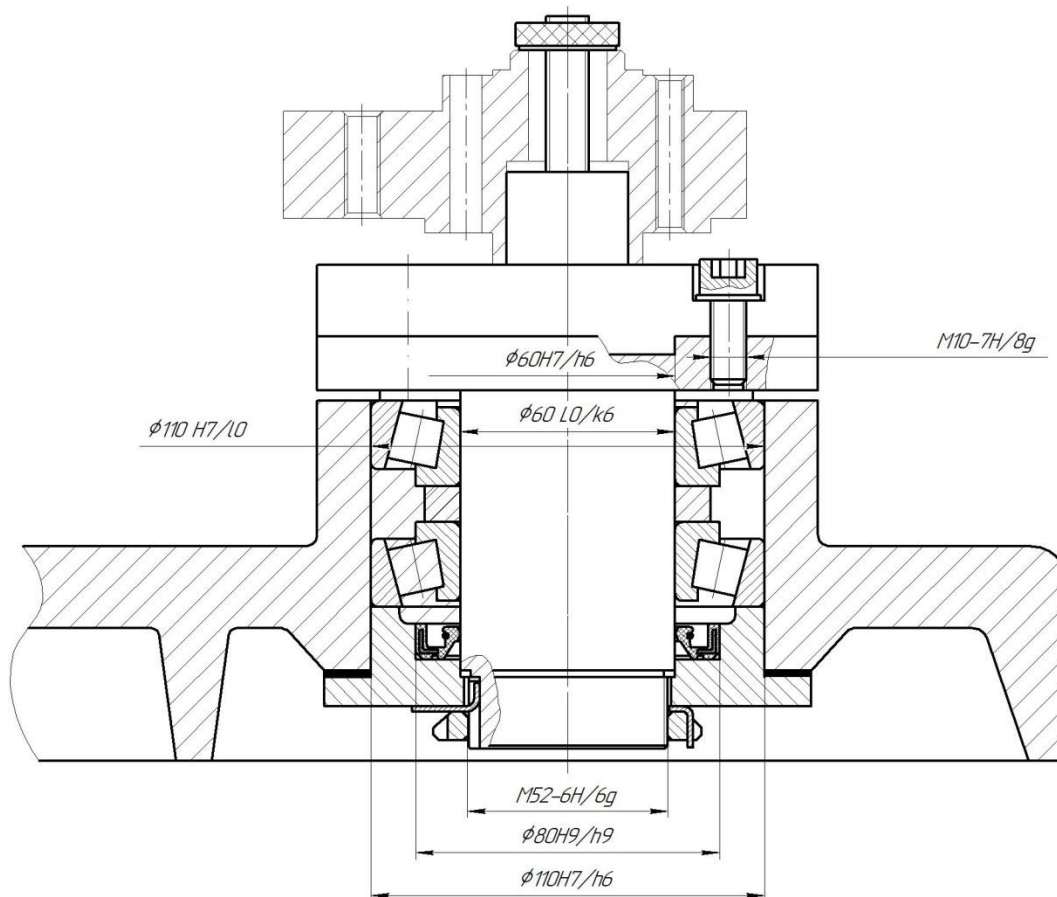


Рисунок 2.11– Ескіз функціонального вузла (варіант 2)

Похибка установки визначається як:

$$E = \sqrt{E_{\delta}^2 + E_z^2 + E_{np}^2}, \quad (2.18)$$

де  $E_{\delta} = 0$  – похибка базування, визначена раніше;

$E_z = 0$  – похибка закріплення, яка дуже мала, тому що сила закріплення дорівнює приблизно 10Н;

$E_{np}$  – неточності виготовлення елементів пристрою.

Неточності виготовлення елементів пристосування визначаємо за формулою:

$$E_{np} = \sqrt{E_{np1}^2 + E_{np2}^2}, \quad (2.19)$$

де  $E_{np1} = 2$  мкм – похибка, що виникає внаслідок осьового биття в радіально-упорних підшипниках 7212 ДСТУ 27635-2007, клас точності 0 [15], яка безпосередньо впливає на показання при контролі торцевого биття;

$E_{np2} = 0$  – похибка, що виникає внаслідок неточності розташування індикатора щодо контрольованої деталі, похибкою можна знехтувати оскільки вимірювання відносні;

$$E_{np} = \sqrt{2^2 + 0^2} = 2 \text{ мкм.}$$

Похибка установки:

$$E = \sqrt{0^2 + 0^2 + 2^2} = 2 \text{ мкм.}$$

Фактична похибка КВП:

$$\Delta_{\phi} = \sqrt{3^2 + 3^2 + 0^2 + 0,503^2 + 0^2 + 0^2} = 9,31 \text{ мкм.}$$

Визначення впливу похибок вимірювання на результати контролю.

Кількість неправильно забракованих деталей при контролі коливань розмірів  $n = 2 \%$ , при кількості перевірених деталей за 5 років

$$n = 0,02 \cdot 1250 = 25 \text{ шт.}$$

Техніко-економічний ефект від застосування КВП.

В даному пункті відзначимо лише те, що КВП для контролю заданого параметра на підприємстві не має, отже спроектований КВП, який відноситься до II групи складності (включаючи в себе 25-40 деталей), вартість якого дорівнює приблизно 33800 грн. Буде виправданим рішенням.

Спроектований КВП призначений для контролю готової продукції та забезпечений необхідною документацією, в якій висвітлюються результати перевірок, здійснюваних метрологічною службою підприємства відповідно до встановлених локальними схемами при випуску з виробництва та при експлуатації.

## 2.8 Висновок

У розділі удосконалення технологічного процесу виготовлення корпусу сальника у якості заготовки була прийнята поковка штампована на КГШП.

Проаналізовано заводський технологічний процес виготовлення деталі та змінена послідовність операцій і універсальне устаткування.

Докладно виконано аналіз схем базування та закріплення заготовки на операції токарна з ЧПК, на якій отримується допуск радіального биття, що і є об'єктом дослідження. При цьому визначені похибки базування, призначенні верстати, оснащення, режими різання та виконано технічне нормування операції.

Спроектований контрольно-вимірвальний пристрій для контролю радіального биття, та виконано його робоче креслення, що дозволить виконати 3D – модель та провести його інженерне дослідження.



## РОЗДІЛ 3 НАУКОВЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 3.1. Аналіз стану досліджень в області проєктування, виготовлення та дослідження контрольно-вимірювальних пристроїв

У сучасному машинобудуванні контроль якості виробів дуже важливий. Особливо велика роль контролю під час виробництва за принципом повної взаємозамінності. Застосування універсальних вимірювальних інструментів і калібрів малопродуктивно, але завжди забезпечує потрібну точність і зручність контролю. Контрольні пристрої підвищують продуктивність праці контролерів, покращують умови їх роботи, підвищують якість та об'єктивність контролю. Контрольні пристрої застосовують для перевірки заготовок, деталей і вузлів машин. Пристрої для контролю деталей застосовують на проміжних етапах обробки (міжопераційний контроль) і для остаточного приймання, виявляючи точність розмірів, взаємного положення поверхонь і правильність їхньої геометричної форми [16].

Важливість контролю підтверджується різноманіттям наукових праць у яких розглядається:

- моніторинг еволюції точності розмірів і властивостей деталей в процесах формування її геометричних параметрів з контрольованими властивостями;
- аналіз точності базування під час контролю;
- аналіз впливу шорсткості поверхні на результати контролю, як базової так і контрольованої поверхонь;
- створення принципів автоматизованого контролю на робочому місці і його точність;
- деформації під час контролю і після зняття внутрішніх напружень деталі;
- забезпечення дотримання норм і правил під час контролю параметрів відносного розміщення поверхонь;
- контроль процесів складання і готових складальних одиниць на предмет похибок їх взаємного розміщення.

Зокрема у роботі [17] розглядається контроль складальних одиниць після їх складання роботами. Дослідження здебільшого зосереджено на металевих частинах високої жорсткості, які непридатні для складання деталей низької жорсткості. Крім того, коли складання здійснюється звичайним методом, то контроль пропускної здатності та кількість параметрів, які потрібно налаштувати, є значною, і може виникнути нестабільна контактна сила. У цьому дослідженні запропоновано два алгоритми, а саме контроль пропускної здатності зі змінною жорсткістю (ACVS) і контроль пропускної здатності з адаптивною жорсткістю (ACAS), які підходять для роботизованого складання деталей з низькою жорсткістю. Відповідно після введення даних видів контролю при складанні доведено, що похибки положення елементів та поверхонь у збірці зменшились на 50-60% в залежності від розміру елемента. Для елементів великих розмірів зменшення похибок складало навіть до 80%.

Дослідження вченого Aluchi [18] спрямовані на те що вирішується питання досягнення високої точності та швидкого реагування, а також контроль зусилля з низьким перевищенням за рахунок методу активного контролю похибок профілю оброблюваної деталі, що є важливими для гарантування точності видалення матеріалу та якості поверхні при роботизованому шліфуванні. Результати контролю похибок форми після шліфування показують, що максимальна похибка керування зусиллям сумісного кінцевого контролера з керуванням зусиллям зменшується на 57,5% порівняно з похибкою жорсткого кінцевого контролера з керуванням зусиллям, а перевищення контролю зусилля зменшується з 15,6% до майже 0 за тієї самої швидкості відповіді. Максимальна та середня абсолютні похибки глибини шліфування за допомогою розробленого кінцевого контролера зменшуються на 11,9% та 32,1% відповідно порівняно з традиційним жорстким кінцевим контролером, а середня шорсткість поверхні готової деталі зменшується на 19,2%.

У роботі Нуу [19] показано дослідження нового процесу та методу контролю площинності тонкостінних деталей може стати важливою теоретичною та прикладною основою для високоточного та високоякісного виготовлення тонкостінних компонентів в аерокосмічній та інших областях. Запропоновано метод ко-

нтролю площинності на основі фіксації льодом для фрезерування тонкостінних деталей плоских деталей із тонкостінного алюмінієвого сплаву 7117. Суть методу полягає в застосуванні низької температури приблизно  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  до плоскої тонкостінної деталі за допомогою морозильної ванни для утримання заготовки на місці, щоб контролювати площинність після процесу торцевого шліфування тонкої стінки. Після фіксації за допомогою льоду під час оброблення результати контролю показали зменшення відхилення від площинності від 5,8% до 40,3%; площинність процесу обробки зменшується зі збільшенням товщини заготовки від 3-8%.

Під час виготовлення деталей не менш важливим аспектом є і контроль затиску та деформацій що виникають після нього. В роботі [20] розглядається складання та обслуговування тонкостінних деталей з температурою плавлення  $57,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  де використовується адаптивна системи затиску, яка могла б регулювати положення затиску, коли матеріал був рідким, відповідно до напруження та зняття деформації після грубої обробки. Після цього деформацію заготовки можна було усунути під час чистової обробки. Порівняно з аналогом, що використовує традиційне вакуумне пристосування, максимальна деформація та відхилення від площинності зменшені на 62,0% та 67,9% відповідно, що проконтрольовано за допомогою спеціального пристрою, таким чином ефективно покращуючи точність виготовлення тонкостінних деталей.

Оскільки останні тенденції у виробничих інженерних дисциплінах демонструють чіткий розвиток сталого, а також економічно ефективного проектування процесів формування, методи контролю отриманих таким методом заготовок набувають все більшої актуальності. Тому у роботі [21] вчені розробили спеціальних контрольний пристрій з трьома індикаторами та дослідили відхилення форми та взаємного розміщення поверхонь заготовки, які проходять у майбутньому механічне оброблення та які залишаються необробленими. Однак для успішного встановлення замкнутого циклу контролю властивостей та систематичне розуміння взаємності розмірів після формування та властивостей кінцевого продукту. Також ця робота досліджує еволюцію точності розмірів, а також властивостей продукту для ряду процесів формування.

У роботі [22] автори розробили спеціальний КВП для контролю геометричних відхилень гнутих деталей довільної форми оскільки, наприклад, залишкові напруги сильно впливають на наступні етапи процесу. У цій роботі пропонується багатопараметрична структура керування зі зворотним зв'язком, яка здатна контролювати як геометрію заготовки за допомогою КВП, так і вибрані механічні властивості матеріалу.

Автори у роботі [23] після процесу оброблення контролюють паралельність поверхонь деталей низької жорсткості. При цьому спочатку вони контролюються допуск паралельності до оброблення, а потім контролюють його після шліфування одразу і через добу після того як заготовка була підвішена вертикально, щоб уникнути деформації від власної ваги.

Процеси контролю биття і його вплив на показники якості поверхонь також досліджувалися у [24 та 25], де у першій роботі розглядалось биття інструменту та його наслідки, як важлива область дослідження в рамках моделювання, імітації та контролю сил при фрезеруванні. Биття інструменту призводить до того, що ріжучі кромки інструменту відчувають нерівномірні зусилля під час фрезерування. Цей факт також впливає на довговічність інструменту та погіршує якість поверхні заготовки. У цій статті представлено процедуру для зменшення ефекту биття інструменту шляхом його початкового контролю перед обробленням та вивірки і встановлення у межах допустимих значень. Змодельовані та експериментальні результати, представлені в цій статті, демонструють ефективність і переваги цієї нової процедури корекції биття інструменту за допомогою спеціального КВП. У другій же роботі радіальне биття вимірювалось на спеціальному стенді, де встановлювалась оправка з інструментом окремо, причому оправка ще і мала можливість балансування.

Дослідження [26] присвячено контролю якості поверхні обробленої деталі після операції торцевого фрезерування в залежності від геометрії ріжучого інструменту та похибки інструменту. У цій роботі представлена чисельна модель для прогнозування профілю поверхні та шорсткості поверхні як функції цих факторів, що включає алгоритм генерації випадкових значень, який дає змогу визна-

чити зміну шорсткості поверхні за значеннями, які можуть бути прийняті інструментом. помилки. Ця робота зосереджена на ріжучих інструментах з круглими пластинами та впливі похибок інструменту, таких як радіальні та осьові биття, для контролю яких було розроблено спеціальний КВП.

Висока точність сучасних машин зумовлює використання в контрольних пристроях вимірювачів високої точності і важливість правильного вибору принципової схеми та конструкції пристосування для контролю. Підвищення точності вимірювання може призвести до ускладнення та подорожчання пристосування та зниження його продуктивності. Для перевірки невеликих і середніх деталей застосовують стаціонарні КВП, а для великих - переносні. Поряд з одномірними знаходять широке застосування багатовимірні пристосування, де за одну установку перевіряють кілька параметрів. Контрольні пристрої повинні забезпечувати задану точність і продуктивність контролю, бути зручними в експлуатації, простими у виготовленні, надійними при тривалій роботі та економічними.

Авторами статті [27] проведені дослідження в галузі проектування контрольних пристроїв та запропоновано використовувати принцип «форми затискних елементів» та величини сил закріплення, для визначення їх оптимального місця положення на деталі та залежно від цього оптимальну величину сили закріплення при контролі. Результатом є розроблення програмних додатків, що дозволяють з'єднувати даний алгоритм із бібліотеками затискних елементів та проводити підбір або автоматизоване проектування затискних елементів з параметрами під конкретну деталь.

У роботі [28] авторами розроблена скінченноелементна модель контрольного пристрою із деталлю, що дозволяє визначати похибки поверхонь деталі залежно від точності контролю та проводити їх автоматизовану оптимізацію. При цьому модель враховує зміну коефіцієнта тертя між пристроєм та деталлю у результаті та величину мікронерівностей на контактуючих поверхнях.

Аналіз літературних джерел показав, що у даний час науковці займаються розрахунками та розробкою моделей процесів взаємодії поверхонь КВП та деталі, а також дослідженням точності установки при зміні параметрів пристрою. Також

багато уваги приділяється методам активного контролю та управління даним процесом. Проте недостатньо уваги приділяється дослідженню стабільності та жорсткості самих КВП, адже у металообробних цехах, де зазвичай на окремих дільницях і розміщені столи відділу технічного контролю виникає багато зовнішніх збурень, що спричинені роботою обладнання. Також в сучасних умовах важливо приділити увагу зниженню металомісткості КВП при забезпеченні достатньої точності у межах певного діапазону розмірної групи контрольованих деталей, що є актуальною задачею.

### **3.2 Розроблення 3D – моделі контрольованого пристрою та його модальний аналіз**

Для виконання розрахунків чисельного моделювання на початковому етапі була виконана побудова 3D – модель контрольованого пристрою разом із деталлю (рис. 3.1). Модель будувалась з максимальним спрощенням усіх елементів з метою забезпечення більш швидких розрахунків, щоб не використовувати впуску ресурси комп'ютера, але при цьому не щоб не втрачалась їх точність. При проектуванні будемо використовувати правила, алгоритми та аксіоми досягнення максимальної жорсткості, а саме:

- вильоти в конструкції повинні бути мінімальними;
- маса деталей повинна прямувати до мінімуму;
- габарити повинні зменшуватися за принципом «знизу – вгору».

Для подальшого аналізу окремо було виконано збереження індикаторної стійки з метою виявлення її власних коливань і порівняння із загальними коливаннями конструкції (рис. 3.2).

Так як відділ технічного контролю знаходиться неподалік цехів або безпосередньо в цеху то, щоб запобігти виникненню резонансу в процесі вимірювання тому, що це може вплинути на точність вимірювання за допомогою вбудованого модуля в програмному комплексі ANSYS виконаємо інженерне дослідження спроектованого КВП та визначимо частоти власних коливань КВП і потім порівняємо з частотами, що можуть виникати при роботі цеху. За допомогою цих ре-

зультатів буде можливість за необхідності удосконалити пристрій щоб запобігти резонансу і підвищити точність вимірювань.

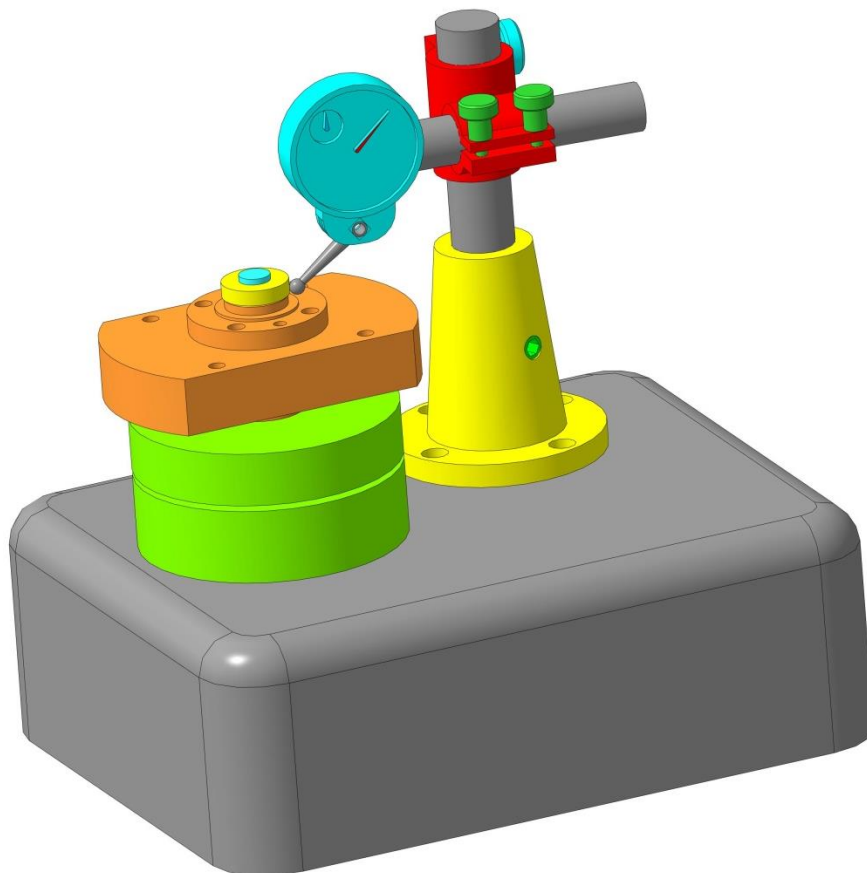


Рисунок 3.1 – Спроектований КВП із деталлю (3D-модель)

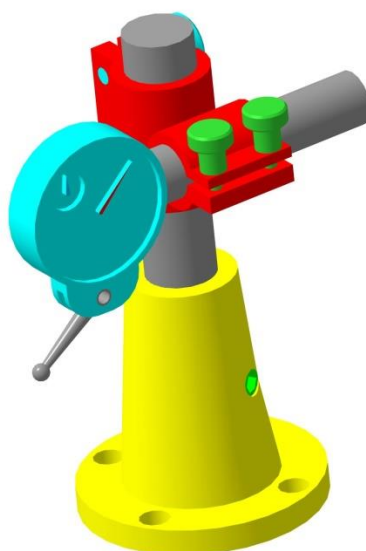


Рисунок 3.2 – 3D-модель стійки з індикатором

Так як у конструкції ВП усі деталі виготовлені зі сталі 40Х з термообробкою до 40...45 НRC, то механічні властивості матеріалів, які використовуються у моделі, наступні:

- модуль пружності  $E$ , Гпа – 200;
- коефіцієнт Пуасона  $\mu$  – 0,3;
- густина  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup> – 7800;
- межа міцності при розтягуванні [ $\sigma_{\text{розт}}$ ], Мпа – 880;
- межа міцності при стисненні [ $\sigma_{\text{ст}}$ ], МПа – 910;
- межа текучості  $\sigma_T$ , МПа – 760.

Для визначення частот власних коливань КВП умовно розділимо його на дві частини. Під час досліджень граничними умовами було закріплення КВП за нижньою поверхнею основи, що імітує встановлення на стіл ВТК, а також всі поверхні об'єднані між собою шляхом об'єднання вузлів з типом контакту «Bonded», що виключає можливі переміщення. Типи контактів «Bearing» задані в місцях установлення підшипників з указанням параметрів їх жорсткості  $C$  та  $C_0$  за технічними характеристиками кожного з них. Ілюстрації скінчено-елементної сітки КВП зображено на рис. 3.3. Розміри сітки на деяких деталях відрізняються для отримання більш точних результатів, та більш якісного відображення можливих деформацій.

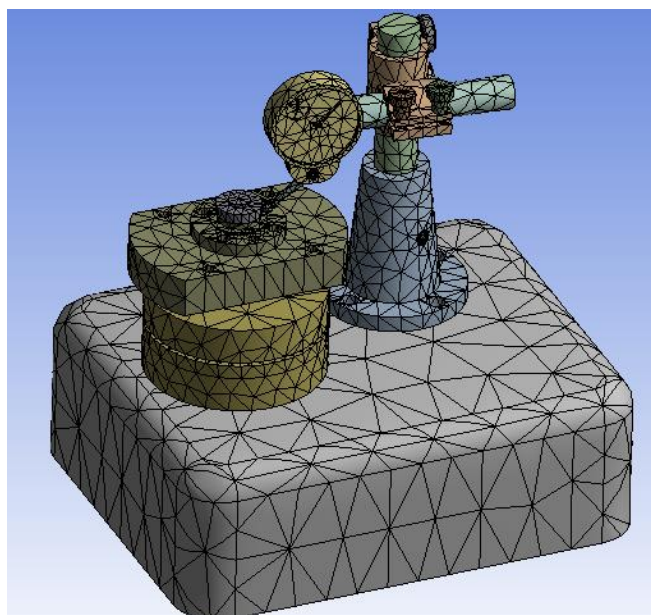


Рисунок 3.3 – КВП із скінчено-елементною сіткою



Так як КВП буде працювати в цеху з високим рівнем вібрацій, то розглянемо перші шість частот коливань всього КВП рис. 3.4 – 3.9 на яких наведено форми власних коливань досліджуваного КВП.

З отриманих результатів та величини коливань можна зробити висновок, що розроблений КВП буде нормально функціонувати і коливання обладнання в цеху ніяк не вплинуть на точність вимірювання.

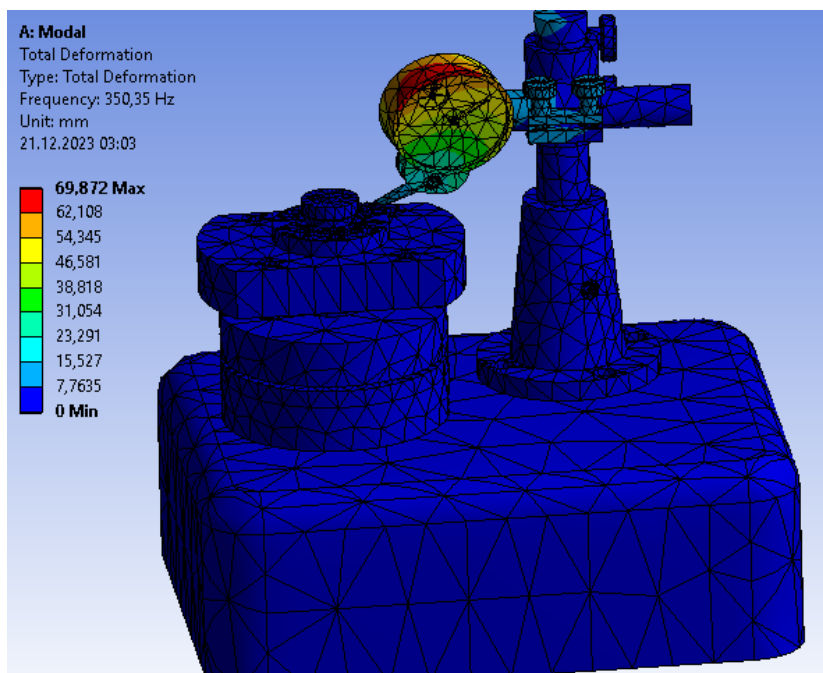


Рисунок 3.3 – Ілюстрація першої власної частоти КВП

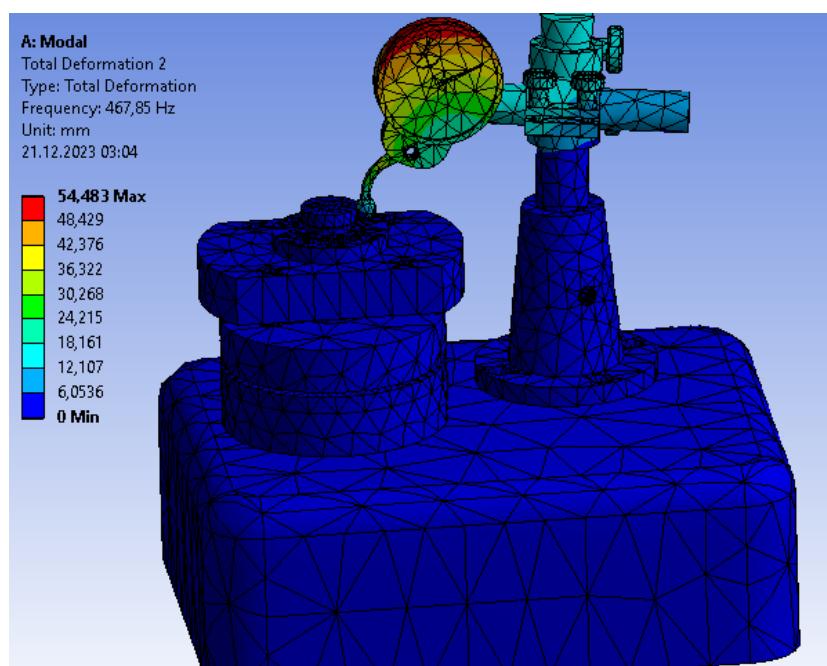


Рисунок 3.4 – Ілюстрація другої власної частоти КВП

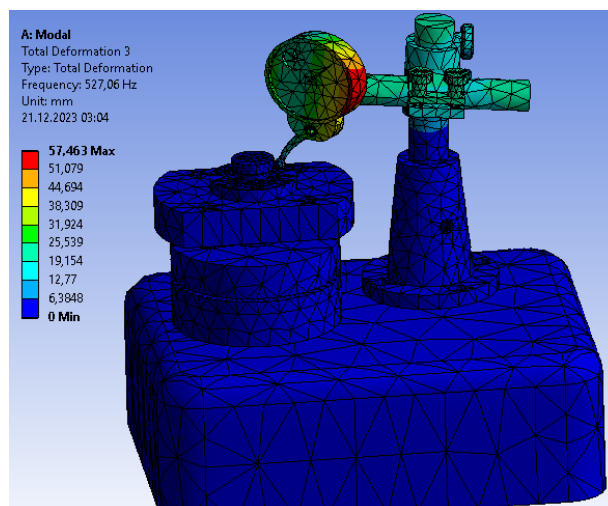


Рисунок 3.5 – Ілюстрація третьої власної частоти КВП

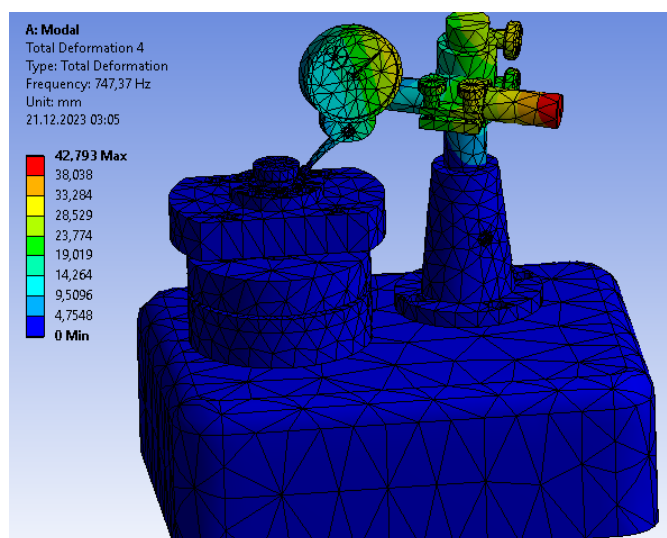


Рисунок 3.6 – Ілюстрація четвертої власної частоти КВП

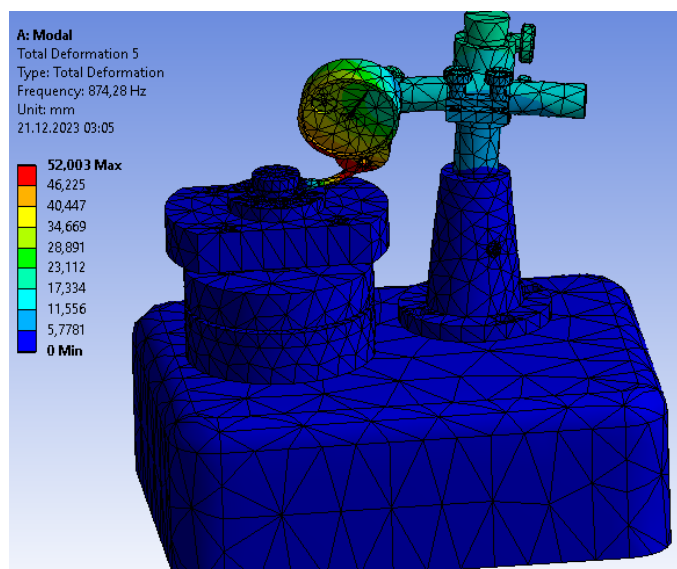


Рисунок 3.7 – Ілюстрація п'ятої власної частоти КВП

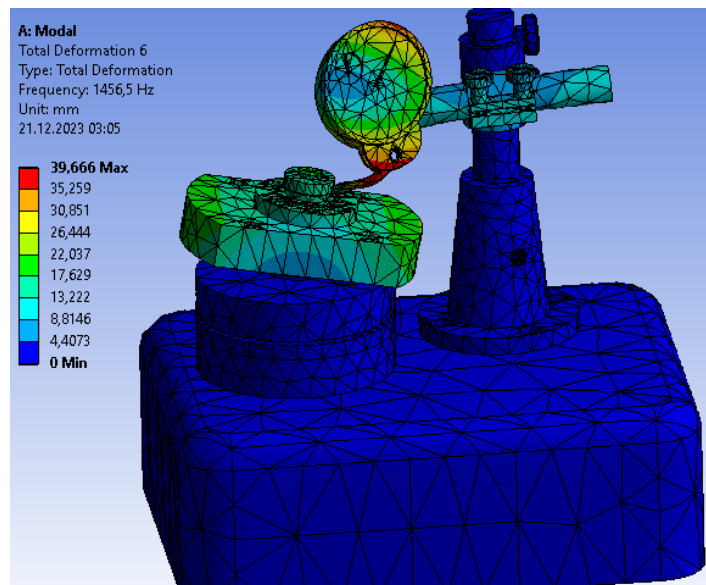


Рисунок 3.8 – Ілюстрація шостої власної частоти КВП

Також результати модального аналізу дозволяють зробити висновок, що найбільш податливим елементом КВП є стійка. Проте на рисунках видно, що на кожній частоті коливання відбуваються по-різному. Так наприклад на першій частоті 350 Гц максимальні коливання індикатора в горизонтальній площині, тоді як на шостій частоті вже навіть контрольована деталь починає змінювати своє положення, але це відбувається при значно більшій частоті 1450 Гц. Так як під час розрахунків не виникло помилок, та в принципі модель відповідає законам фізики і теоретичної механіки, бо раціонально можна передбачити, що консольно закріплені елементи на певному вильоті будуть колитися більше, так як і показали результати інженерного аналізу, тому розрахунки виконано вірно і модель є адекватною. Даний КВП буде працювати надійно, адже навіть у цеху з вібраційним обладнанням частота не перевищує 250 Гц.

### 3.3 Висновок

1. На основі методик та аналізу сучасного стану розробок в галузі проектування та застосування контрольовано-вимірювальних пристроїв виконано кількісний та якісний аналіз контрольованої операції, що дозволило перейти до проектування КВП.

2. Базуючись на алгоритмах та рекомендаціях, щодо проектування контрольно-вимірювальних пристроїв сконструйовано КВП для контролю радіального биття деталі, створені його 3D моделі для подальшого аналізу та досліджень.

3. Проведено чисельне моделювання модального аналізу в програмному середовищі ANSYS. Було виявлено шість мод коливань, що дозволить попередити появу резонансу та встановлено, що граничні частоти обертання обладнання в цеху не досягнуть до першої власної частоти, тому даний контрольний пристрій можна використовувати в механообробних цехах.

## ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи магістра було виконано наступний обсяг робіт:

- аналіз первинної інформації, який включав у себе характеристику і особливості крана шарового та деталі, технічних вимог до неї, визначено тип виробництва, питання технологічності та огляд базового технологічного процесу з виявленням недоліків та постановкою завдання на удосконалення;

- виконано удосконалення базового технологічного процесу виготовлення деталі в частині підбору раціонального маршруту обробки, розрахунку вихідної заготовки, призначено схеми базування з мінімальними похибками та дотриманням розмірів на аналізовану операцію, для якої також підбрані сучасні металорізальні верстати та інструменти, а також розраховані режими оброблення;

- для аналізованої операції за класичними методиками розрахунку спроектовано контрольний пристрій для досліджуваного параметра радіального биття в роботі.

У результаті в існуючий технологічний процес виготовлення деталі внесено зміни спрямовані на його вдосконалення, а саме змінена послідовність операцій, замінено універсальне устаткування на обладнання з ЧПК. В якості заготовки була прийнята поковка штампована на КГШП та спроектований контрольно-вимірювальний пристрій і до токарної з ЧПК операції, на якій і обробляється аналізована поверхня  $\varnothing 32f9$ , а саме радіальне биття та розроблена карта наладки.

У розділі наукового дослідження розглянуті питання розробки контрольно-вимірювального пристрою для інтенсифікованого, якісного контролю радіального биття кришки. Визначені частоти коливань запропонованого пристрою та теоретично встановлено, що при застосуванні у металообробних цехах резонансу не буде.

У додатку «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» виконаний розрахунок природнього та штучного освітлення, який дозволяє підібрати освітлення для цеху, де виготовляється деталь «Корпус сальника».

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Бойко, Ю. І. Технологія машинобудування. Курсове проектування: навч. посіб. / Ю. І. Бойко, О. А. Литвиненко. – Київ: НУХТ, 2018. – 195 с.
2. Добрянський, С. С. Технологічні основи машинобудування. [Електронний ресурс]: підручник для студ. спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» / С. С. Добрянський, Ю. М. Малафєєв; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 379 с.
3. Мазур, М. П. Основи теорії різання матеріалів : підручник / М. П. Мазур, Ю. М. Внуков, В. Л. Доброскок, В. О. Залога та ін.; під заг. ред. М. П. Мазура. – 2-ге вид., перероб. і доп. – Львів : Новий Світ-2000, 2011. – 422 с.
4. Петров, О. В. Технологічна оснастка : навчальний посібник / О. В. Петров, С. І. Сухоруков. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 123 с.
5. Технології виготовлення деталей складної форми. Частина 1 [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньо-професійної програми «Технології машинобудування» та освітньо-наукової програми «Технології машинобудування» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; Ю. В. Петраков, С. В. Сохань, В. К. Фролов, В. М. Кореньков. – Електронні текстові дані. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 288 с.
6. Технології виготовлення деталей складної форми. Частина 2 [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньо-професійної програми «Технології машинобудування» та освітньо-наукової програми «Технології машинобудування» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; Ю.В.Петраков, С.В. Сохань, В.К. Фролов, В.М. Кореньков. – Електронні текстові дані. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 102с.
7. Паливода Ю. Є. Технологія оброблення корпусних деталей : навчальний посібник / Ю. Є. Паливода, І. Г. Ткаченко, Ю. Б. Капаціла, Ів. Б. Гевко. – Тернопіль : ТНТУ , 2016. – 156 с.

8. Паливода Ю.Є. Технологія оброблення важелів та вилок : навчальний посібник / Ю. Є. Паливода, Ю. Б. Капаціла, І. Г. Ткаченко. – Тернопіль : ТНТУ , 2013. – 56 с.

9. Паливода Ю.Є. Технологія оброблення валів : навчальний посібник / Ю. Є. Паливода, І. Г. Ткаченко, Ю. Б. Капаціла. – Тернопіль : ТНТУ , 2016. – 198 с.

10. Паливода Ю. Є. Заготовки у машинобудівному виробництві : навчально-методичний посібник / Паливода Ю.Є., Дячун А.Є. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2023. – 148 с.

11. Паливода Ю.Є. Технологія оброблення зубчастих коліс : навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» галузі знань 13 «Механічна інженерія» / укладачі : Ю. Є. Паливода, Ю. Б. Капаціла, І. Г. Ткаченко. – Тернопіль : ТНТУ, 2016. – 136 с.

12. Паливода, Ю. Є. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки : навчально-методичний посібник / Ю. Є. Паливода, А. Є. Дячун, Р. Я. Лещук. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. – 240 с.

13. Приходько, В. П. Розмірне моделювання та аналіз технологічних процесів [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» / В. П. Приходько ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 249 с.

14. Паливода Ю. Є. Розмірні ланцюги : навчально-методичний посібник / укладачі : Ю. Є. Паливода, А. Є. Дячун, Ю. Б. Капаціла, І. Г. Ткаченко. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2018. – 132 с.

15. Технології формоутворення сучасних складнопрофільних деталей [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» спеціалізацій «Технології виготовлення літальних апаратів», «Технології машинобудування» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Ю. В. Петраков, С. В. Сохань, В. К. Фролов, В. М. Кореньков. – Електронні текстові дані. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 380 с.

16. Control device configuration for rapid manufacturing planning / S. Neriv, K. Lang, // *Computer-Aided Manufacturing*. – 2021. – Vol. 11. – P. 1040–1063.
17. CAE of low-stiffness parts through admittance control with control device / A. Jan, H. Lun, J. Sam // *CIRP Annals*. – 2020. – Vol. 14. – P. 1078–1089.
18. Surface grinding of curved parts based on a designed active force-controlled end-effector with optimized series elastic component / H. Chen, J. Yang // *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. – 2022. – Vol. 37. – P. 1646–1661.
19. Research on the control method of flatness of thin-walled parts milled from aluminum alloy based on ice-fixation / G. Kivin, L. Macl // *International Journal of Lightweight Materials and Manufacture*. – 2023. – Vol. 3. – P. 563–573.
20. Chuck clamp system for deformation control of aerospace thin-walled parts / E. Zi, F. Tun, Q. Chang, et. al. // *Journal of Engineering Control*. – 2019. – Vol. 17. – P. 311–3245.
21. Controlling the dimensional accuracy and product properties in property-controlled forming processes / A. Hitzner, O. Lonchin, K. Brian, et. al. // *Advances in Industrial and Manufacturing Engineering*. – 2021. – Vol. 33. – P. 891–899.
22. Control of Geometry and Bearing balls / A. Duval, F. Kaiser, J. Stronger, et. al. // *CIRP Annals*. – 2022. – Vol. 17. – P. 815–823.
23. Surface precision control of flat mechanical parts after grinding / L. Kun, H. Deng, Q. Mai, et. al. // *Journal of Manufacturing Processes*. – 2018. – Vol. 48. – P. 95–114.
24. Super dynamic analysis of runout correction in milling / E. Cifuentec, H. Nancia, L. Hagenor, A. Ideie // *International Journal of Manufacturing Processes*. – 2019. – Vol. 12. – P. 19–37.
25. Control device for real-time monitoring method of depths of cut and runout for milling process utilizing FEA analysis of control force / J. Koen, A. Opaka, Q. Yamamoto // *Precision Engineering*. – 2018. – Vol. 43. – P. 306–315.
26. Influence of radial and axial runouts on surface roughness in face milling with round insert cutting tools / P. Franco, M. Estrems, F. Faura // *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. – 2019. – Vol. 63. – P. 1555–1565.