

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)

2023 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**

корпусу крейцкопфа 317-212.024-01 шляхом оптимізації

пристрою для контролю перпендикулярності

Здобувача групи **ТМ.м-21**

(шифр групи)

Тверезовського Олексія Олеговича

(прізвище, ім'я, по батькові)

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

Олексій ТВЕРЕЗОВСЬКИЙ

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник

канд. техн. наук, ст. викладач Анна НЕШТА

(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)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка виконана на 86 сторінках, включає 18 рисунки, 12 таблиць, бібліографію із 26 джерел.

В роботі запропоноване вдосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус крейцкопфа» 317-212.024-01. Був визначений тип виробництва – середньосерійний. Виконаний аналіз технологічності конструкції деталі, службового призначення виробу, вузла, аналіз технічних вимог, що пред'являються до деталі. Спроектовано контрольно-вимірювальний пристрій для вимірювання перпендикулярності торця відносно різьбової поверхні, що становить 0,016 мм. У науково-дослідній частині розглянуті питання проектування контрольно-вимірювального пристрою для ефективного контролю перпендикулярності торцевої поверхні до осі різьбового отвору. Визначені власні частоти коливань спроектованого КВП та встановлено, що при обраній сфері застосування резонанс частот не виникне, також визначено, що динамічна жорсткість є достатньою.

Метою дослідження є удосконалення технологічного процесу виготовлення корпусу крейцкопфа 317-212.024-01 шляхом оптимізації конструкції пристрою для контролю перпендикулярності.

Об'єкт дослідження: технологічний процес виготовлення деталі Корпус крейцкопфа 317-212.024-01.

Предмет дослідження: контрольно-вимірювальний пристрій для контролю перпендикулярності торця деталі відносно внутрішньої різьбової поверхні.

Наукова новизна: за допомогою методик проведення інженерного аналізу та досліджень розроблено та теоретично перевірено конструкцію спеціального контрольно-вимірювального пристрою для ефективного контролю перпендикулярності торця відносно базової внутрішньої різьбової поверхні.

КОРПУС КРЕЙЦКОПФА, КОМПРЕСОРНА УСТАНОВКА, ОПТИМІЗАЦІЯ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ, КОНТРОЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ

ABSTRACT

The explanatory note is prepared on 86 pages, includes 18 figures, 12 tables, a bibliography with 26 sources.

The paper proposes an improvement to the technological process of manufacturing the "Kreuzkopf Housing" 317-212.024-01. The production type was determined to be medium-volume. An analysis of the technological aspects of the part's design, the functional purpose of the product, assembly analysis, and analysis of technical requirements for the part was conducted. A control-measuring device was designed for measuring the perpendicularity of the end face relative to the threaded surface, with a tolerance of 0.016 mm. In the research part, issues of designing a control-measuring device for effective control of the perpendicularity of the end surface to the axis of the threaded hole are considered. The natural frequencies of vibration of the designed control-measuring device are determined, and it is established that there will be no resonance frequencies in the chosen application sphere. It is also determined that the dynamic stiffness is sufficient.

The aim of the study is to improve the technological process of manufacturing the Kreuzkopf Housing 317-212.024-01 by optimizing the design of the device for perpendicularity control.

Research Object: Technological process of manufacturing the Kreuzkopf Housing 317-212.024-01.

Research Subject: Control-measuring device for controlling the perpendicularity of the part's end face relative to the internal threaded surface.

Scientific novelty: Using engineering analysis and research methodologies, a design for a specialized control-measuring device for effective control of the perpendicularity of the end face to the base internal threaded surface has been developed and theoretically validated.

KREUTZKOPF HOUSING, COMPRESSOR INSTALLATION,
OPTIMIZATION, TECHNOLOGICAL PROCESS, TECHNOLOGICAL
FEASIBILITY, CONTROL DEVICE.

Зміст

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ.....	5
1.1 Аналіз службового призначення машини, вузла деталі. Опис конструктивних особливостей та умов експлуатації	5
1.2 Аналіз технічних умов та вимог до конструкції деталі. Визначення технологічних завдань щодо її виготовлення	7
1.3 Характеристика типу виробництва та організаційної форми виробництва....	9
1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі.....	10
1.5 Аналіз існуючого технологічного процесу виготовлення деталі.....	12
1.6 Висновок та завдання для удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі	13
РОЗДІЛ 2 УДОСКОНАЛЕННЯ ІСНУЮЧОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ.....	15
2.1 Складання варіантів технологічних маршрутів та вибір оптимального	15
2.2 Вибір та обґрунтування способу виготовлення вихідної заготовки.....	16
2.3 Розрахунок припусків на обробку поверхні обертання	17
2.4 Призначення та обґрунтування схем базування та закріплення заготовки ..	19
2.5 Обґрунтування та вибір моделей металорізальних верстатів	20
2.6 Обґрунтування та вибір верстатних пристроїв, різального та вимірювального інструментів	22
2.7 Визначення режимів різання та технічне нормування операцій.....	23
2.9 Проектування засобів технологічного оснащення	29
2.10 Висновок	53
РОЗДІЛ 3 НАУКОВЕ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	54
3.1. Важливість контрольно-вимірювальних пристроїв у виробництві	54

3.2 Теоретичне обґрунтування вибраного методу дослідження	58
3.3 Розроблення 3D-моделі конструкції верстатного пристрою та його скінчено-елементне дослідження.....	60
3.4 Висновок	67
ВИСНОВКИ.....	68
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	70
ДОДАТОК А	73
ДОДАТОК Б	74
ДОДАТОК В	75
ДОДАТОК Г	76
ДОДАТОК Д.....	77
ДОДАТОК Е	78
ДОДАТОК Ж.....	80
ДОДАТОК К.....	81
ДОДАТОК Л.....	82
ДОДАТОК М.....	83

ВСТУП

Актуальність теми: в сучасному машинобудуванні виробництво характеризується різноманітністю виготовлюваних виробів та непостійністю обсягів їх виробництва. Машинобудування виступає ключовим гравцем у постачанні новітньої техніки для всіх галузей національної економіки, визначаючи технічний прогрес країни та впливаючи на створення матеріальної бази нового суспільства. У цьому контексті зниження собівартості виробництва є критично важливим для забезпечення конкурентоспроможності підприємства.

Контрольно-вимірювальні пристрої відіграють ключову роль у виробництві якісної та конкурентоспроможної продукції, особливо в умовах різноманітного виробництва, що вимагає швидкого переоснащення при переході до контролю деталей іншого асортименту. Проблемою, яку ставлять контрольні пристрої, є їхня надмірна металомісткість. Останнім часом сучасні виробництва впроваджують контрольні пристрої, що дозволяють швидко переналагоджуватися на контроль деталей різних типорозмірів, маючи достатню жорсткість при мінімальній масі.

Впровадження будь-якого контрольно-вимірювального пристрою у виробничий процес повинно бути обґрунтовано з урахуванням критеріїв досягнення необхідної точності контролю, визначеної конструктором на кресленнях деталей, що підлягають контролю. Такий підхід представляє собою актуальну наукову та практичну задачу.

Метою дослідження є удосконалення виготовлення корпусу крейцкопфа 317-212.024-01 шляхом оптимізації операції контролю відхилення від перпендикулярності.

Об'єкт дослідження – технологічний процес виготовлення корпусу крейцкопфа.

Предмет дослідження – контрольно-вимірювальний пристрій для визначення відхилення від перпендикулярності.

Методи дослідження. Робота виконана з використанням сучасних положень технології машинобудування та проектування прогресивних технологічних процесів із використанням верстатів із ЧПК, різальних інструментів зі змінними непереточувними пластинами, а також прогресивного технологічного оснащення. Для вирішення завдань в графічній частині кваліфікаційної роботи використовувалось програмне середовище SOLIDWORKS, а для дослідження конструкції контрольно-вимірювального пристрою пакет ANSYS.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ІСНУЮЧОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

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

Деталь «Корпус крейцкопфа», що розглядається в даній роботі, є складовою компресорної установки 2ГМ10А-П-18/9-26, рисунок 1.1

Поршневі компресорні установки типу 2ГМ10А-П-18/9-26 на опозитній базі 2ГМ10А призначені для стиснення природного газу і подачі його як палива до газотурбінних двигунів (ГТД) газоперекачувальних агрегатів (ГПА).



Рисунок 1.1 – Компресорна установка на базі 2ГМ10А

Установка 2ГМ10А-П-18/9-26 в блочному виконанні призначена для розміщення в легкому укритті ангарного типу з температурою зовнішнього середовища укриття не менше +5°C. Компресор 2ГМ10А-П-18/9-26 – поршневий

одноступінчастий горизонтальний дворядний на швидкохідній базі 2ГМ10А (1000 об/хв). Привід – газопоршневий ГПК10 потужністю 500 кВт.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики поршневого компресора 2ГМ10А-П-18/9-26

Тип компресора		Поршневий дворядний на опозитній базі 2ГМ10А
Поршневе зусилля	т	10
Кількість рядів	шт.	2
Хід поршня	мм	150
Максимальна частота обертання колінчатого вала	об/хв	1000
Максимальна потужність на валу компресора	кВт	580
Тип підшипників		підшипники ковзання

Принцип дії поршневих компресорів простий: спочатку за рахунок дії кривошипно-шатунного механізму на поршень діє штовхальна сила, що примушує поршень робити зворотні рухи, внаслідок чого виникає розріджений тиск, і в камеру надходить газ. При зворотному ході поршня збільшується тиск, і, при досягненні величини тиску, що перевищує силу опору пружини, притискає нагнітальний клапан – відбувається виштовхування газу у нагнітальний патрубок.

Крейцкопф забезпечує сполучення поршня і шатуна у крейцкопфовому кривошипно-шатунному механізмі. При такому сполученні поршень є жорстко з'єднаним зі штоком, а останній сполучений з крейцкопфом через циліндричний шарнір.

Дане сполучення дозволяє розвантажити поршень від бокового зусилля, так як його дія переноситься на крейцкопф. Така конструктивна схема дозволяє створити другу робочу порожнину у циліндрі під поршнем і забезпечити двосторонню дію поршневої машини. При цьому шток проходить через сальниковий ущільнювач у штоковій кришці циліндра, що забезпечує необхідну герметичність.

Тобто основне призначення корпусу крейцкопфа це передача зусилля від кривошипно-шатунного механізму до поршня. З одного боку в корпус вгвинчується шток поршня, а з іншого вставляється палець крейцкопфа на якому сидить шатун, який може вільно обертатися на пальці. При цьому корпус може бути виконаний в різноманітних формах в залежності від різних факторів.

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

Відповідно до службового призначення визначаються технічні вимоги на виготовлення деталі. Проаналізувавши робоче креслення деталі, можна зробити висновок, наявних проєкцій та перерізів для нормального читання креслення. Відповідно до існуючих стандартів вони розміщені правильно, вказані всі потрібні вихідні дані: розміри, точність, шорсткість, допуски на форму та взаємне розміщення поверхонь.

Крейцкопф в кривошипно-шатунному механізмі крейцкопфних компресорів призначений для передачі зусиль від шатуна, що має коливальний рух навколо пальця крейцкопфа, до поршня, що має зворотно-поступальний рух.

Крейцкопфи малих компресорів виготовляються, як правило, цільними, без відокремлених повзунів, а середніх та важких компресорів – збірними, з корпусу та двох повзунів. Остання обставина дозволяє регулювати (за допомогою прокладок різної товщини) величину зазору між крейцкопфом і направляючими станини компресора, компенсуючи розбіжність осей циліндра і направляючих станини.

Корпус крейцкопфа відноситься до деталей типу корпус, конфігурація деталі це двозубчаста вилка, що має в цілому достатню жорсткість. Особливостями конструкції являється наявність великих отворів у зубцях виделки. Маса деталі складає 21,65 кг, а габарити 295x180x165 мм.

Корпус виготовлений з жароміцної релаксаційностійкої сталі 38Х2МЮА ТУ 26-12-811-90.

Хімічний склад сталі наведено в таблиці 1.2 [19], фізико-механічні властивості наведено в таблиці 1.3 Замінники – сталі 38Х2ЮА, 38ХВФЮ та 20Х3МВФ.

Використання в промисловості: деталі, що азотуються: шестерні, валики, пальці, втулки тощо, що працюють при температурах до 450 град.

Таблиця 1.2 – Хімічний склад сталі 38Х2МЮА, у %

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	Al	Cu
0.35-0.42	0.2-0.45	0.3-0.6	до 0.3	до 0.025	до 0.025	1.35-1.65	0.15-0.25	0.7-1.1	до 0.3

Твердість сталі складає 240...270 НВ

Технологічні властивості сталі марки 38Х2МЮА:

- температура кування, °С: початку 1240, кінця 800. До 50 мм охолодження в штабелях на повітрі, 51-100 мм в ящиках.
- не використовується для зварних конструкцій;
- схильність до відпускнуї крихкості – не схильна;
- флокеночутливість – чутлива.

Таблиця 1.3 – Фізико-механічні властивості сталі 38Х2МЮА

$\sigma_b, \text{МПа}$	$\sigma_m, \text{МПа}$	$KC, \text{МПа}$	$E \times 10^{-5}, \text{МПа}$	$\sigma_{-1}^{32}, \text{МПа}$
980	835	16	2,09	400

Проставлення розмірів на кресленні деталі виконане правильно, у відповідності до ДСТУ, що забезпечує легке читання креслення, вільне виконання і контроль розмірів під час механічної обробки.

Фаски та конуси контролювати кутоміром, скруглення контролювати за допомогою шаблонів.

На кресленні деталі проставлені такі допуски: допуск перпендикулярності ($\pm 0,016$ та $\pm 0,025$), допуск симетричності відносно осі отвору ($\pm 0,03$), допуск на відхилення від циліндричності ($\pm 0,016$), допуск перетину осей ($0,03$) та позиційний допуск ($0,6$).

- допуск симетричності двох площин 170h8 у горизонтальній площині відносно отвору А (M52×3 – 6H) становить 0,03 мм.
- допуск перпендикулярності торця $\varnothing 95$ відносно отвору А (M52×3 – 6H) становить 0,016 мм.
- повне поле допуску на відхилення від перетину осі отвору $\varnothing 115H7$ відносно осі отвору А (M52×3 – 6H) складає 0,03 мм.
- допуск перпендикулярності осі отвору $\varnothing 115H7$ відносно осі отвору А (M52×3–6H) становить 0,025 мм.
- допуск циліндричності отвору $\varnothing 120H12$ становить 0,016мм.
- позиційний допуск розміщення групи отворів $\varnothing 8$ становить 0,6 мм.

1.3 Характеристика типу виробництва та організаційної форми виробництва

Тип виробництва і відповідна йому форма організації робіт визначає характер технологічного процесу і його побудову.

Зважаючи на річну програму випуску $N = 500$ шт. і масу деталі 21,65 кг визначається тип виробництва, в якому виготовляється деталь - середньосерійному згідно розрахункам, приведених в Додатку Б.

Для середньосерійного виробництва характерний випуск виробів досить великими серіями обмеженої номенклатури; серії повторюються з відомою регулярністю за періодом запуску і кількістю виробів у партії; річна номенклатура ширша за номенклатуру випуску в кожному місяці. Виробничий процес ведеться таким чином, що після виконання обробки заготовок на одній операції проводиться обробка цієї ж партії на наступній операції.

За робочими місцями закріплено більш вузьку номенклатуру операцій, Кзо – 10-20 операцій. Устаткування – універсальне і спеціальне, вид руху предметів праці — паралельно-послідовний. Заводи мають розвинуту виробничу структуру, заготівельні цехи спеціалізуються за технологічним принципом, а в механоскладальних цехах створюються предметно-замкнуті ділянки.

Також, при середньосерійному типі виробництва широко використовуються верстати з числовим програмним керуванням, обробні центри, а так само знаходять застосування гнучкі автоматичні системи верстатів з ЧПУ. Переналагодження верстатів, пристосувань і інструментів, а також перебудова виробничого процесу при переході на обробку інших різновидів подібних деталей забезпечуються попередньої технологічної підготовкою.

Середня кваліфікація робітників при середньосерійному типі виробництва вище, ніж в масовому виробництві, але нижче, ніж в одиничному. Поряд з робітниками високої кваліфікації, які працюють на складних універсальних верстатах, і налагоджують використовуються робітники-оператори невисокої кваліфікації, що працюють на настроєних верстатах.

1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі

Один із факторів, який значно впливає на характер технологічного процесу, є технологічність конструкції машини та її деталей. Технологічність конструкції характеризують якісні показники: сукупність властивостей конструкції, які визначають можливість досягнення оптимальних матеріальних затрат при виробництві, експлуатації та ремонті для заданих показників якості та умов виконання роботи ГОСТ 14.205 – 83.

Оцінку технологічності конструкції проводимо по якісним показникам. Якісна оцінка проводиться на етапі вивчення конструкції деталі та технологічних вимог на виготовлення та прийом.

Корпус крейцкопфа відноситься до деталей типу корпус, конфігурація деталі це двозубчаста вилка, що має в цілому достатню жорсткість.

Виготовляється зі сталі 38Х2МЮА ТУ 26-12-811-90. Хімічний склад та фізико-механічні властивості наведені в таблиці 2.1 і таблиці 2.2 відповідно.

Маса готової деталі становить 21,65 кг, тому на механічних операціях треба застосовувати допоміжні підйомні механізми (кран-балки, мостові крани), через що збільшиться допоміжний час та собівартість готової деталі. За масою деталь технологічна. Габарити готової деталі дорівнюють 295x180x165 мм. Робоча зона для обробки такої деталі повинна мати великі розміри, так як використовуване обладнання має великі габарити. Обладнання нормальної точності, тому його обслуговування має не велику вартість.

Креслення деталі виконане відповідно до ГОСТу, на ньому вказана достатня кількість видів і розрізів. Креслення можна прочитати без ускладнень. По даному пункту деталь технологічна.

Деталь «Корпус крейцкопфа» має точні поверхні 6-9 квалітети із шорсткістю Ra 1,6-3,2 мкм, і грубі квалітети 11-14 із шорсткістю Ra 6,3, тому для забезпечення відповідної якості потрібна відповідна кількість операцій. Все це відображається на собівартості виробу. Допуски радіального биття досягаються завдяки принципам сумісності і постійності баз. Для отримання даних вимог треба використовувати точне чистове обладнання, достатню кількість операцій та переходів (чорнові та чистові), відповідні режими різання та технологічну оснастку. Вартість готової деталі збільшиться, тому що буде використовуватися точне обладнання, технологічна оснастка (вимірювальний інструмент та пристосування).

З точки зору зручності базування дана деталь є не технологічною, так як необхідне застосування спеціальних пристроїв на деяких операціях механічної обробки.

З аналізу деталі на технологічність можна зробити висновок, що для заданого типу виробництва вона технологічна, хоча і потребує використання спеціальних пристосувань на певних етапах обробки.

1.5 Аналіз існуючого технологічного процесу виготовлення деталі

Аналіз будемо проводити на підставі базового технологічного процесу. У цьому технологічному процесі послідовність механічної обробки відповідає загальноприйнятим етапам побудови технологічного процесу.

На першій технологічній операції проводиться обробка поверхонь, які на подальших операціях будуть прийняті за базові (чистові). Маршрутний технологічний процес виготовлення деталі наведено в табл. 1.5.

Таблиця 1.5 – Маршрутний технологічний процес виготовлення деталі «Корпус крейцкопфа»

№ операції	Назва операції	Обладнання	№ операції	Назва операції	Обладнання
005	Обробка тиском	КГШП	175	Токарна	Токарний верстат 1П365
010	Термічна обробка	Пн SNO1 22/1100 LHM01	180	Технічний контроль	Стіл ВТК
015	Фрезерна	Фрезерний верстат 6P12	185	Розточувальна	Горизонтально-розточний верстат 2B622Ф4
020	Технічний контроль	Стіл ВТК	190	Шліфувальна	Плоскошліфувальний верстат 3Г71М
025	Размічування	-	220	Розточувальна	Горизонтально-розточний верстат 2B622Ф4
030	Свердлильна	Свердлильний верстат 2Н150	200	Розточувальна	Горизонтально-розточний верстат 2B622Ф4
035	Технічний контроль	Стіл ВТК	205	Розточувальна	Горизонтально-розточний верстат 2B622Ф4
040	Фрезерна	Фрезерний верстат 6P12	210	Технічний контроль	Стіл ВТК
045	Технічний контроль	Стіл ВТК	215	Размічування	-
050	Размічування	-	220	Розточувальна	Горизонтально-розточний верстат 2B622Ф4
055	Розточувальна	Горизонтально-розточний верстат 2B622Ф4	225	Технічний контроль	Стіл ВТК
060	Розточувальна	Горизонтально-розточний верстат 2B622Ф4	230	Розточувальна	Горизонтально-розточний верстат 2B622Ф4
065	Токарна	Токарний верстат 1П365	235	Технічний контроль	Стіл ВТК
070	Технічний контроль	Стіл ВТК	240	Розточувальна	Горизонтально-розточний верстат 2B622Ф4
075	Слюсарна	-	245	Размічування	-
080	Термічна обробка	Пн SNO1 22/1100 LHM01	250	Розточувальна	Горизонтально-розточний верстат 2B622Ф4
085	Размічування	-	255	Технічний контроль	Стіл ВТК
090	Фрезерна	Фрезерний верстат 6P12	260	Свердлильна	Свердлильний верстат 2Н150
095	Стругальна	Стругальний верстат 7210	265	Технічний контроль	Стіл ВТК
100	Технічний контроль	Стіл ВТК	270	Слюсарна	-
105	Доббальна	Доббальний верстат 7А420	275	Розточувальна	Горизонтально-розточний верстат 2B622Ф4
110	Технічний контроль	Стіл ВТК	280	Технічний контроль	Стіл ВТК
115	Размічування	-	285	Слюсарна	-
120	Розточувальна	Горизонтально-розточний верстат 2B622Ф4	290	Отримання покриттів	Ліскоструйний апарат
125	Технічний контроль	Стіл ВТК	295	Слюсарна	-
130	Розточувальна	Горизонтально-розточний верстат 2B622Ф4			
135	Технічний контроль	Стіл ВТК			
140	Стругальна	Стругальний верстат 7210			
145	Фрезерна	Фрезерний верстат 6P12			
150	Технічний контроль	Стіл ВТК			
155	Шліфувальна	Плоскошліфувальний верстат 3Г71М			
160	Технічний контроль	Стіл ВТК			
165	Размічування	-			
170	Токарна	Токарний верстат 1П365			

Технологічний процес виготовлення деталі «Корпус крейцкопфа» в заводському варіанті містить 59 операцій, з яких лише 30 операцій механічної обробки, решта – контрольні, слюсарні та заготівельна.

Аналізуючи заводський технологічний процес можна сказати, що операції обробки обрані вірно. Але є недоліки, які викликані швидше за все застарілістю обладнання і відповідно технологічного процесу.

За сучасних умов, можливостей і конкуренції на ринку для деяких операцій доцільно було б використовувати більш сучасні верстати, які дозволять обробляти деталь при високих швидкостях різання, були б жорсткими по конструкції і давали б необхідну точність. Цим вимогам відповідають верстати нових моделей з ЧПК, як наприклад DOOSAN, HAAS, Fanuc тощо. У існуючому маршрутному технологічному процесі не вказані способи базування і закріплення заготовки, на яких виконуються операційні розміри, докладно не розписаний ріжучий інструмент і вимірювальний інструмент. Ін-струмент треба обирати також відповідно до сучасних технологій, які дозволяють обробляти метал в 3-4 рази швидше в порівнянні з інструментом з швидкоріжучої сталі.

При використанні сучасних верстатів з ЧПК можна скоротити технологічний процес шляхом концентрації операцій, на меншій кількості верстатів, а також зменшити кількість допоміжних операцій типу технічного контролю та слюсарної. Відповідно шляхом зменшення операцій і використання сучасного високопродуктивного інструменту можна зменшити час та собівартість виготовлення деталей. Виходячи з цього, рекомендується змінити технологічний процес відповідно до сучасних технологій та методів обробки та виготовлення деталей.

1.6 Висновок та завдання для удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі

В цьому розділі було проведено аналіз службового призначення машини, вузла і деталі «Корпус крейцкопфа», проаналізовано технічні вимоги до її

виготовлення, а також технологічність деталі. Було визначено що тип виробництва для заданої річної програми випуску відповідає середньосерійному. Відповідно наведені основні характеристики і особливості даного типу виробництва.

Якість виробу, а в даному випадку компресорної установки, куди входить деталь «Корпус крейцкопфа» значною мірою залежить від правильності з'єднання корпусу крейцкопфа зі штоком, та закріплення повзунів крейцкопфа і базування їх в направляючих компресорної установки. Для забезпечення вірного з'єднання цих деталей необхідно, щоб відхилення від перпендикулярності торця корпусу($\varnothing 95$) крейцкопфа до бази А (різьбової поверхні М52х3-6Н) не перевищувало зазначених конструктором допустимих меж. В існуючому технологічному процесі контроль перпендикулярності проводиться на верстаті, що не відповідає технологічності, тому в подальших розділах потрібно буде вирішити цю проблему, шляхом розроблення конструкції контрольно-вимірювального пристрою.

РОЗДІЛ 2 УДОСКОНАЛЕННЯ ІСНУЮЧОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

2.1 Складання варіантів технологічних маршрутів та вибір оптимального

Вихідними даними для цього етапу роботи будуть знання про типові маршрути обробки поверхонь або груп поверхонь.

Побудуємо маршрут обробки, який буде альтернативою вже існуючому і занесемо його в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Альтернативний маршрут обробки

<i>№ операції</i>	<i>Назва операції</i>	<i>№ операції</i>	<i>Назва операції</i>
005	Обробка тиском	075	Шліфувальна
010	Термічна обробка	080	Технічний контроль
015	Фрезерна з ЧПК	085	Токарна з ЧПК
020	Технічний контроль	090	Фрезерна з ЧПК
025	Розточувальна	095	Шліфувальна
030	Токарна з ЧПК	100	Технічний контроль
035	Технічний контроль	105	Розточувальна
040	Слюсарна	110	Технічний контроль
045	Термічна обробка	115	Фрезерна з ЧПК
050	Фрезерна з ЧПК	120	Технічний контроль
055	Технічний контроль	125	Слюсарна
060	Фрезерна з ЧПК	130	Отримання покриттів
065	Слюсарна	135	Слюсарна
070	Технічний контроль		

Порівнюючи існуючий технологічний процес та альтернативний можна побачити що при альтернативному варіанті з використанням сучасних верстатів з ЧПК та концентрації операцій можна скоротити процес. Окрім того при такому варіанті маршрутно-технологічного процесу потребується менше слюсарних та контрольних операцій.

2.2 Вибір та обґрунтування способу виготовлення вихідної заготовки

Спосіб отримання заготовки має суттєвий вплив на трудомісткість та собівартість виготовлення деталі. Ці фактори повинні бути мінімальними, а заготовка повинна мати форму, що мінімізує механічну обробку деталі. Заготовка не повинна мати жодних дефектів. Основними методами утворення форми заготовок або їх основних поверхонь являються лиття, обробка тиском, формування, обробка різанням, наплавлення, металізація, напилювання, заливка рідким металом.

В наявному технологічному процесі виготовлення деталі «Корпус крейцкопфа» заготовку отримували вільним куванням на молотах. Виходячи з конфігурації деталі, габаритів, маси, обсягу випуску, пропонується метод штамповки на кривошипному гарячештамповочному пресі (КГШП).

За існуючим технологічним процесом заготовка отримується вільним куванням на молотах в розмірі 182x198x326 мм.

Таблиця 2.2 – Розрахунок розмірів поковки

Розмір деталі, мм	Припуск на сторону, мм	Додатковий припуск	Допустимі відхилення розмірів заготовки, мм	Прийнятий розмір заготовки, мм	Остаточний розмір елемента заготовки, мм
Довжина 295	3,0	0,2	+3,0 -1,5	301	301 ^{+3,0} _{-1,5}
Довжина 180	2,5	0,2	+1,1 -1,1	183	186 ^{+1,1} _{-1,1}
Ø 100	2,3	0,2	+2,1 -1,1	Ø105	Ø105 ^{+2,1} _{-1,1}
Довжина 165	3,0	0,2	+2,7 -1,3	171	171 ^{+2,7} _{-1,3}
Ø 115	2,5	0,2	+2,4 -1,2	Ø110	Ø110 ^{+2,4} _{-1,2}

У підсумку ми отримуємо заготовку штампуванням на КГШП. Припуски та допуски призначені згідно з ГОСТ 7505-89. Зміщення до поверхні рознімання дорівнює 0,6 мм, відхилення від площини 0,6 мм. Невказані радіуси заокруглень 3,0 мм.

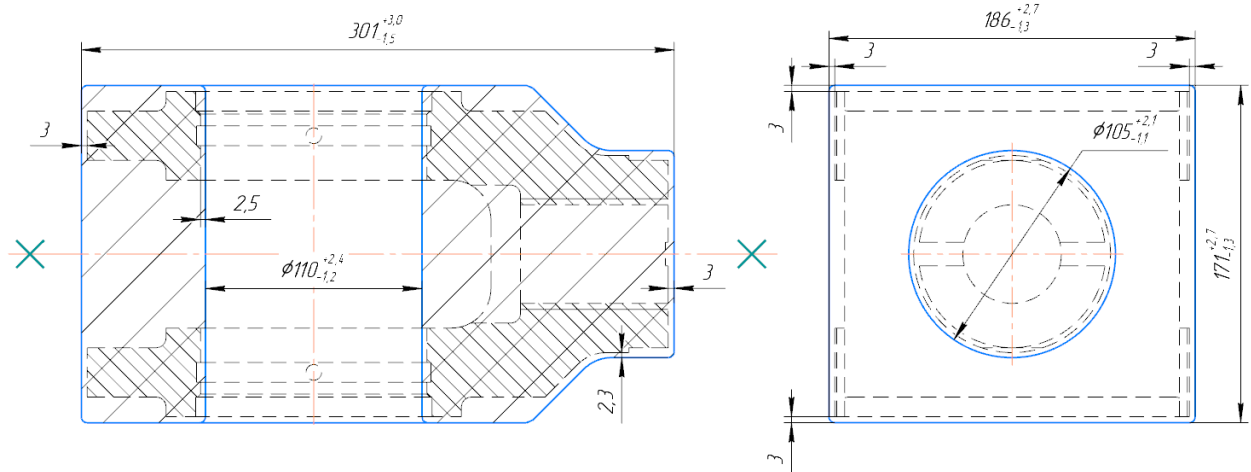


Рисунок 2.1 – Ескіз заготовки

2.3 Розрахунок припусків на обробку поверхні обертання

Величина припусків напряму впливає на собівартість деталі. При збільшеному припуску підвищуються витрати на матеріал, працю, інструмент та інші виробничі витрати, а при зменшеному припуску необхідно підвищувати точність заготовки, що також збільшує собівартість деталі.

Розрахуємо припуски на операцію 105 для внутрішньої циліндричної поверхні $\text{Ø}115\text{H}7 (+0,035)$ на трьох переходах:

- а) штампування
- б) чорнове розточування;
- в) чистове розточування.

Знаходження припуску внутрішньої циліндричної поверхні має вигляд:

$$2Z_{\min(i)} = 2(R_{Z(i-1)} + T_{(i-1)} + \sqrt{p_{(i-1)}^2 + \varepsilon_i^2}), \quad (2.2)$$

де R_{Z-1} – шорсткість поверхні отриманої на попередній операції (переході);

$T_{(i-1)}$ – глибина дефектного шару отриманої на попередній операції (переході);

$p_{(i-1)}$ – величина просторового відхилення форми поверхні отриманої на попередній операції (переході);

ε_i – похибка на виконуваний операції (переході).

Всі перераховані показники є обираються по таблицям окрім $p_{(i-1)}$, яка розраховується для кожної операції:

Для заготовки відхилення дорівнює:

$$\rho_{\text{заг}} = \sqrt{\rho_{\text{зм}}^2 + \rho_{\text{кор}}^2}, \quad (2.3)$$

де $\rho_{\text{зм}}$ – похибка зміщення осі, мкм;

$$\rho_{\text{зм}} = \delta, \quad (2.4)$$

де δ – допуск на розмір від технологічної бази до центру отвору, $\delta = 2,5$ мм

$\rho_{\text{кор}}$ – похибка короблення заготовки, мкм;

$$\rho_{\text{кор}} = \Delta_k \cdot D, \quad (2.5)$$

де Δ_k – питома кривизна заготовки, $\Delta_k = 0,7$ мкм [5, с.186];

D – діаметр заготовки, $D = 110$ мм.

$$\rho_{\text{кор}} = 0,7 \cdot 110 = 77 \text{ мкм.}$$

$$\rho_{\text{заг}} = \sqrt{2,5^2 + 77^2} = 77,04.$$

Величина просторового відхилення буде дорівнювати:

$$p = \rho_{\text{заг}} \cdot K_y, \quad (2.6)$$

де K_y – коефіцієнт уточнення форми:

для чорнового точіння $K_y = 0,06$ [3];

для чистового точіння $K_y = 0,04$ [3];

$$\rho_{\text{чор.роз.}} = 77,04 \cdot 0,06 = 132,08 \text{ мкм;}$$

$$\rho_{\text{чис.роз.}} = 77,04 \cdot 0,04 = 88,05 \text{ мкм.}$$

2.4 Призначення та обґрунтування схем базування та закріплення заготовки

Похибка базування виникає в результаті неспівпадіння вимірювальної та технологічної бази. Саме з цієї причини під час вибору баз бажано за технологічну базу обирати поверхню, яка одночасно могла би бути і вимірювальною базою; обирати базу яка зможе забезпечити точність та жорсткість при закріпленні відповідні до призначених конструктором.

Розглянемо схему базування заготовки, та її можливі варіанти на операції 085 Токарна з ЧПК. На обраній операції відбувається обробка таких поверхонь:

- зовнішні циліндричні: $\text{Ø}100\text{h}11$ та $\text{Ø}95$ мм;
- внутрішня циліндрична $\text{Ø}48,85^{+0,4}$ (під різь M52x3-7H);
- внутрішня різь M52x3-7H;
- конічна поверхня під кутом 45° та переходом через скруглення R20 в циліндричну поверхню $\text{Ø}100\text{h}11$;
- лінійні розміри: 1280 мм, 140 мм до умовного перетину конічної поверхні та циліндричної поверхні $\text{Ø}100\text{h}11$, 11,5 мм.

Після аналізу конструкції можна зробити висновок, що для даної операції є лише одна можлива схема базування, в чотирикулачковому патроні по поверхням 186×171 з упором в прилягаючий торець (див. рис. 2.2).

За даною схемою деталь буде позбавлена п'яти ступенів свободи:

- установча, торець деталі прилягаючий до поверхонь перетином 170×185 мм, позбавляє деталь трьох ступенів свободи: переміщення вздовж осі X і обертання навколо осей Y та Z;
- подвійна опорна, поверхня прямокутного перетину, позбавляє деталь двох ступенів свободи: переміщень уздовж осей Z та Y.

При даному способі базування всі деталі матимуть однакову налагоджену похибку базування на лінійні розміри. Похибка базування для лінійного розміру 1280 буде дорівнювати нулю, оскільки вимірювальна та технологічна бази збігаються, похибка базування на лінійні розміри 40 мм та 1,5 мм буде

дорівнювати допуску на розмір 280 мм: $\epsilon_{640}=\epsilon_{61,5} = 0,52$ мм, що перевищує допуск на дані розміри, але беручи до уваги що розмір 280 мм є довідковим, ми можемо призначити для нього менший допуск для зменшення похибки базування.

Таблиця 2.4 – Індеси та номери зв'язків

Індекс координати		X	x'	y	y'	z	z'	ω_x	ω'_x	ω_y	ω'_y	ω_z	ω'_z
Спосіб реалізації	Реакція	-	R	R	R	R	R	-	-	R	R	R	R

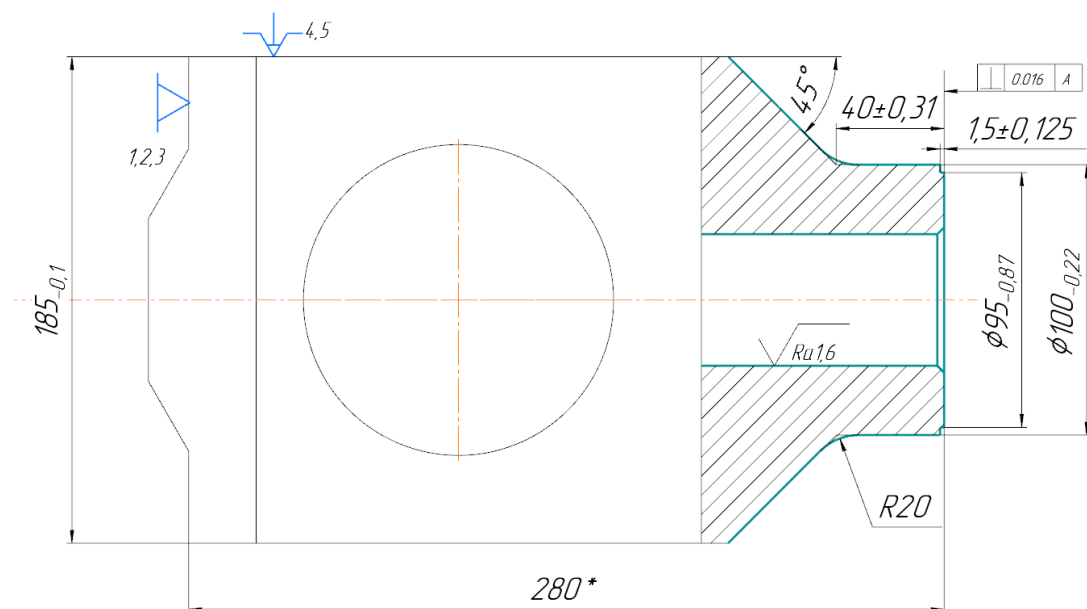


Рисунок 2.2 – Схема базування в чотирьохкулачковому патроні

2.5 Обґрунтування та вибір моделей металорізальних верстатів

До вибору металорізальних верстатів потрібно підходити зі всією відповідальністю. Пошук рекомендуються проводити згідно з існуючими каталогами-довідниками, дотримуючись вимог [1]: враховувати технологічні методи оброблення поверхонь на даній операції; потужність двигунів верстатів;

габарити робочого простору верстатів; тип виробництва; кількість встановлених інструментів в магазині.

Операція 085 – Токарна з ЧПК.

Поверхні та розміри що обробляються на даній операції були проаналізовані в попередньому пункті.

Зважаючи на вимоги до верстату для обробки даної деталі обираємо токарно-гвинторізний верстат з ЧПК моделі Haas ST-45. Технічна характеристика верстата наведена в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Технічна характеристика верстата моделі Haas ST-45

Максимально діаметр встановлюваної заготовки, мм	
над станиною	876
над супортом	648
Максимальний оброблюваний діаметр заготовки, мм	648
Максимальна довжина точіння (без патрона), мм	1118
Посадка шпинделя	A2-11
Максимальна частота обертання шпинделя, об/хв	1400
Максимальний крутний момент на шпинделі (при $n=150$ об/хв), Нм	1898
Максимальна потужність на шпинделі, кВт	29,8
Діаметр отвору в шпинделі, мм	178
Максимальний діаметр оброблюваного прутка, мм	165
Діаметр 3-кулачкового гідро- або пневмопатрона, мм	457
Параметри точності:	
Точність позиціонування супорта, мм	$\pm 0,0050$
Повторюваність позиціонування супорта, мм	$\pm 0,0025$
Величина робочих переміщень по осям, мм	
по осі OX	432
по осі OZ	1118
Максимальна швидкість переміщень робочих органів по осям X та Z, м/хв	18,0
Кількість керованих осей	2

Проаналізувавши технічну характеристику верстата на операції 085 Токарна з ЧПК, можна зробити висновок, що верстат моделі Haas ST-45 відповідає вимогам для обробки на даній операції, тому що його технічні характеристики та технологічні можливості цілком забезпечують безперешкодну обробку деталі на даній операції.

2.6 Обґрунтування та вибір верстатних пристроїв, різального та вимірювального інструментів

Використання технологічної оснастки допомагає зменшити трудомісткість, збільшити безпечність та точність обробки. За допомогою технологічного оснащення робота для працівників стає комфортнішою, для них знижується фізичне навантаження.

У загальному обсязі засобів технологічного оснащення приблизно 50% складають верстатні пристрої. Використання верстатних пристроїв дозволяє: надійно базувати і закріплювати оброблювану деталь із збереженням її жорсткості в процесі обробки; стабільно забезпечувати високу якість оброблюваних деталей при мінімальній залежності якості від кваліфікації робітника; підвищити продуктивність і полегшити умови праці робітника в результаті механізації пристроїв; розширити технологічні можливості використовуваного обладнання.

Операція 085 – Токарна з ЧПК.

Для цієї операції в якості верстатного пристрою використовується спеціальний 4-кулачковий патрон з пневмоприводом.

Ріжучий інструмент підбираємо відповідно до сучасних каталогів та довідників:

- Різець прохідний: державка – DWLNR3232P08: D – тип механічного кріплення пластини – прижим зверху, W – форма пластини шестигранна з кутом при вершині 80°; L – головний кут в плані, що дорівнює 95°, N – задній кут, що дорівнює 0°; R – виконання – праве, 32×32 – перетин державки в мм; P – довжина різця – 170 мм, 08 – довжина ріжучої кромки – 8 мм. Пластинка WNMG080408W;

- Різець розточний: S25T-PSKNR12: S – оброблюваний матеріал – сталь; 25 – діаметр державки – 25 мм; T – довжина різця – 300 мм; P – система кріплення пластини – фіксація штифтом або прижим важелем; S – форма пластини – квадрат 90°; K – головний кут в плані – 75°; N – задній кут – 0°; R – виконання – праве; 12 – довжина ріжучої кромки – 12 мм. Пластинка SNMG120412;

- Різець різьбовий: CNR0025P16AND: C – система кріплення пластини – тільки прижим; N – призначення – внутрішня різь; R – виконання праве; 00 – державка круглого перетину; 25 – діаметр хвостовика – 20 мм; P – довжина різця – 170 мм; 16 – довжина ріжучої кромки – 16 мм; A – інша інформація – сталеві з канавками для ЗОР; HD – придатна для важкої обробки. Пластинка 16NR3.0ISO CP500.

Для закріплення різців з круглою державкою обираємо перехідник VDI30 AV-D25-JHP з внутрішнім діаметром 25 мм.

Обираємо вимірювальний інструмент:

Калібр-скоба 8113-0354 h11 ГОСТ 16775-93, різьбовий калібр-пробка М52х3-6Н ПР/НЕ ГОСТ 2016-86, Штангенциркуль ШЦК-І-0-300-0,02 ГОСТ 166-89.

2.7 Визначення режимів різання та технічне нормування операцій

Проведемо розрахунок режимів різання для операції 085 Токарна з ЧПК.

На цій операції виконується чистова обробка поверхонь. Розрахуємо режими різання для обточування зовнішньої циліндричної поверхні Ø100 мм для інших переходів режими різання призначаємо табличним методом [5,6]. Припуск для обробки на цій операції, після чорнового точіння, для даного розміру залишили 1 мм на сторону.

Вихідні дані для розрахунку: вид обробки – чистове точіння, поверхня – попередньо оброблена, діаметр поверхні – 102 мм, кількість проходів - 4, матеріал заготовки – сталь 38Х2МЮА з межею міцності $\sigma_B=980$ МПа, ЗОР – емульсія. Зважаючи на те, що хімічний склад пластинок невідомий, в призначенні табличних коефіцієнтів ми будемо брати за основу твердий сплав Т15К6.

Розрахуємо глибину різання за прохід [4]:

$$t = \frac{D_3 - D_{\text{дет}}}{2 \cdot i}, \quad (2.7)$$

де D_3 – діаметр в стані заготовки;

$D_{\text{дет}}$ – діаметр після точіння;

i – кількість проходів.

$$t = \frac{102 - 100}{2 \cdot 4} = 0,25 \text{ мм.}$$

Визначаємо подачу за рекомендаціями до пластинок [4, с. 268, табл. 14]:

$$S = 0,26 \text{ мм/об.}$$

Стійкість інструмента $T = 90$ хв. Розрахуємо швидкість різання за формулою [4, с. 265]:

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v, \quad (2.8)$$

де $C_v=420$; $x=0,15$; $y=0,20$; $m=0,20$ – коефіцієнти та показники у формулі швидкості різання [4, с. 269].

K_v – поправочний коефіцієнт на швидкість різання, котрий враховує фактичні умови різання, визначається за формулою [4, с. 268]:

$$K_v = K_M \cdot K_n \cdot K_u, \quad (2.9)$$

де $K_M = 0,85$ – поправочний коефіцієнт, враховуючий вплив матеріалу заготовки [4, с. 262];

$K_u = 1,4$ – поправочний коефіцієнт, враховуючий матеріал інструмента [4, с. 263];

$K_n = 0,85$ – поправочний коефіцієнт, враховуючий вплив стану поверхні заготовки [4, с. 263].

$$K_v = 0,85 \cdot 1,4 \cdot 0,85 = 1,01.$$

За формулою (6.7) розраховуємо швидкість різання:

$$V = \frac{420}{90^{0,2} \cdot 0,25^{0,15} \cdot 0,26^{0,2}} \cdot 1,01 = 278 \text{ м/хв.}$$

Відповідно до цього частот обертання шпинделя буде розраховуватися за формулою [4, с 280]:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}; \quad (2.10)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 278}{3,14 \cdot 102} = 868 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо частоту обертання $n = 870$ об/хв. Отже фактична швидкість різання буде складати:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}; \quad (2.11)$$

$$V = \frac{3,14 \cdot 102 \cdot 870}{1000} = 278,64 \text{ м/хв.}$$

Розраховуємо силу різання [4, с. 271]:

$$P_z = 10C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p, \quad (2.12)$$

де $C_p = 300$, $x=1,0$, $y=0,75$, $n=-0,15$ – коефіцієнти та показники в формулі [4, с. 273];

K_p – поправочний коефіцієнт, який враховує умови різання, розраховується за формулою [4, с. 271]:

$$K_p = K_m \cdot K_\varphi \cdot K_\gamma \cdot K_\lambda \cdot K_r, \quad (2.13)$$

де $K_m = 1,17$ – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив якості оброблюваного матеріалу на силові залежності [4, с. 264];

$K_\varphi = 0,89$ – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив головного кута в плані на силові залежності [4, с. 275];

$K_\gamma = 1,0$ – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив переднього кута на силові залежності 4, с. 275];

$K_\lambda = 1,0$ – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив кута нахилу головного леза на силові залежності [4, с. 275];

K_r – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив радіуса при вершині на силові залежності (для твердосплавних пластин не враховується) [4, с. 275].

$$K_p = 1,17 \cdot 0,89 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,04.$$

Підставляємо всі коефіцієнти в формулу (6.8):

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 0,25^1 \cdot 0,26^{0,75} \cdot 278,64^{-0,15} \cdot 1,04 = 120,744 \text{ Н.}$$

Розраховуємо потужність необхідну для обробки за формулою [4, с. 271]:

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60}; \quad (2.14)$$

$$N = \frac{120,744 \cdot 278,64}{1020 \cdot 60} = 0,55 \text{ кВт.}$$

Максимальна можлива потужність на шпинделі верстата Haas ST-45 складає 29,8 кВт, що перевищує розраховане значення потужності потрібної для обробки. Розраховуємо основний час обробки за формулою [5, с. 5]:

$$T_o = \frac{L_p + l'_1 + l''_1}{S \cdot n}, \quad (2.15)$$

де L_p – довжина різання, $L_p = 30,25$ мм;

$l'_1 = ctg \varphi \cdot t = ctg 95^\circ \cdot 0,25 = 0,27$ мм – величина врізання різця;

$l''_1 = 3$ мм – перебіг інструмента.

$$T_o = \frac{30,25 + 0,27 + 3}{0,26 \cdot 740} = 0,17 \text{ хв.}$$

Режими різання для всіх інших поверхонь обираємо табличним методом за допомогою каталогів. Обрані режими різання наведені в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Режими різання призначені для операції 170 Токарна з ЧПК

Номер та назва переходу	Параметри режимів різання						
	i	t, мм	S, мм/об	V, м/хв	n, об/хв	L, мм	T _o , хв
1	2	3	4	5	6	7	8
Поверхня Ø100	4	0,25	0,26	278,64	870	30,25	0,17
Торець Ø100	3	0,5	0,33	282,74	900	50,2	0,31
Поверхня Ø95	5	0,5	0,51	223,84	750	1,5	0,03
Поверхня Ø48,85	9	0,5	0,165	199,5	1300	75	3,17
Фаска 2,5x45°	1	2,5	0,165	204,2	1300	2,5	0,03
Різь М52x3-6Н	10	0,3	3	89,85	550	75	0,45
Поверхня 45°	4	0,25	0,26	226,67	650	41,2	0,97
Поверхня R20	4	0,25	0,26	204,2	650	15,3	0,36
Всього	-	-	-	-	-	-	5,49

В основі розрахунків продуктивності праці лежить технічне нормування операцій. З цією метою розраховують технічні норми штучно-калькуляційного часу, так як раніше було визначено тип виробництва – середньосерійне. Технічне нормування будемо проводити для операції «085 Токарна з ЧПК».

Основний час на операції це сума основного часу кожного переходу, його ми беремо з таблиці 2.6:

$$T_o = 5,49 \text{ хв.}$$

Розрахуємо допоміжний час, за формулою [2, с. 101]:

$$T_d = T_{\text{вст}} + T_{\text{кв}} + T_{\text{вим}}, \quad (2.16)$$

де $T_{\text{вст}} = 4,1$ хв - час на установку і зняття заготовки з допомогою підйомника [5, с. 57];

$T_{\text{кв}} = 1,04$ - допоміжний час пов'язаний з керуванням верстата [5, с 79];

$T_{\text{вим}} = 1,035$ хв - час на вимірювання [5, с. 80-89].

$$T_d = 4,1 + 1,04 + 1,035 = 6,175 \text{ хв.}$$

Оперативний час складає [2, с. 102]:

$$T_{\text{оп}} = T_o + T_d, \quad (2.17)$$

$$T_{\text{оп}} = 5,49 + 6,175 = 11,665 \text{ хв.}$$

Окрім цього визначаємо додатковий час, який складається з часу на обслуговування та часу на відпочинок і визначається у відсотках від оперативного часу:

$$T_{\text{дод}} = T_{\text{оп}} \cdot 0,08 = 11,665 \cdot 0,08 = 0,9332 \text{ хв.} \quad (2.18)$$

Знаходимо штучний час [2, с. 101]:

$$T_{\text{шт}} = T_{\text{оп}} + T_{\text{дод}}, \quad (2.19)$$

$$T_{\text{шт}} = 11,665 + 0,9332 = 12,5982 \text{ хв.}$$

Штучно-калькуляційний час визначаємо за формулою [2, с. 101]:

$$T_{\text{шт-к}} = T_{\text{шт}} + \frac{T_{\text{п-з}}}{N}, \quad (2.20)$$

де $T_{\text{п-з}}$ – підготовчо-заклучний час, що складається з часу:

- 1) на отримання креслення і наряду, $T= 4$ хв;
- 2) на ознайомлення з роботою та кресленням, $T= 5$ хв;
- 3) на інструктаж майстра, $T= 2$ хв;
- 4) на отримання основного та допоміжного інструменту, верстатного пристрою та заготовки, $T=10$ хв.

$$T_{\text{п-з}} = 4 + 5 + 2 + 10 = 21 \text{ хв.}$$

$N = 12$ шт. – кількість деталей у партії.

$$T_{\text{шт-к}} = 12,5982 + \frac{21}{12} = 14,35 \text{ хв.}$$

2.9 Проектування засобів технологічного оснащення

Проектування верстатного пристрою на операцію Токарна з ЧПК.

Необхідно спроектувати спеціальний верстатний пристрій для базування та закріплення заготовки на операції 085 Токарна з ЧПК.

На даній операції виконується обточування зовнішньої поверхні $\varnothing 100$ мм з переходом R20 в конусну поверхню з кутом 45° , а також обточування циліндричної поверхні $\varnothing 95$, розточування внутрішньої циліндричної поверхні $\varnothing 48,8$ мм та нарізання внутрішньої різі M52x3-6H.

Для зменшення трудомісткості та часу виконання операції, а також зменшення впливу людського фактора при закріпленні пропоную використовувати пневматичний затиск замість ручного.

На даній операції формуються наступні розміри деталі: лінійна – довжина циліндричної поверхні до умовного перетину поверхонь L40 мм, діаметральний – зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 100$ мм з допуском h11 та скругленням R20 мм та переходом в конічну поверхню під кутом 45° , $\varnothing 95$ мм на довжину L1.5 мм. Всі допуски визначаємо за ДСТУ ISO 286-2.2002, а невказані допуски на розміри беремо за 14 квалітетом точності.

Знаходимо значення допусків на розміри що формуються:

$$T_{\varnothing 100h11} = 220 \text{ мкм};$$

$$T_{\varnothing 95} = 870 \text{ мкм};$$

$$T_{\varnothing 48,8} = 620 \text{ мкм};$$

$$T_{D_2M52x3-6H} = 280 \text{ мкм};$$

$$TL_{40} = 620 \text{ мкм};$$

$$TL_{1,5} = 250 \text{ мкм};$$

$$T_{45^\circ} = 26'.$$

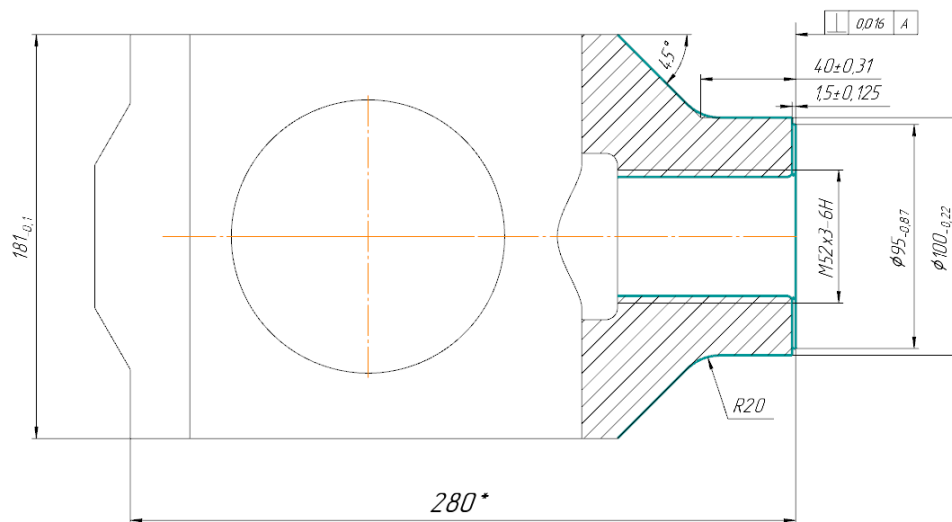


Рисунок 2.3 – Ескіз деталі

Похибка форми циліндричних поверхонь $\varnothing 100_{h11}$, $\varnothing 95$, $\varnothing 48,8$ характеризує відхилення від циліндричності (відповідно до ГОСТ 24642-81), нормується за ГОСТ 24643-81.

Невказані допуски циліндричності поверхні приймаємо в межах 30% від допуску на діаметр.

$$T_1 = 0,3 T_{\varnothing 100} = 0,3 \cdot 220 = 66 \text{ мкм};$$

$$T_2 = 0,3 T_{\varnothing 95} = 0,3 \cdot 870 = 261 \text{ мкм};$$

$$T_3 = 0,3 \cdot T_{\varnothing 48,8} = 0,3 \cdot 620 = 186 \text{ мкм}.$$

Приймаємо найближчі стандартне значення допуску циліндричності:

$$T_1 = 60 \text{ мкм, дане значення відповідає 10-му ступеню точності};$$

$$T_2 = 250 \text{ мкм, дане значення відповідає 13-му ступеню точності};$$

$$T_3 = 200 \text{ мкм, дане значення відповідає 13-му ступеню точності}.$$

Точність взаємного розташування оброблюваних поверхонь регламентовано кресленням та технологічним процесом.

На кресленні деталі можемо побачити що оброблюваний торець деталі має допуск на відхилення від перпендикулярності відносно бази А (різьбова поверхня M52x3-6H) 0,016 мм.

Невказані допуски радіального биття для розмірів $\varnothing 100$ мм $\varnothing 48,8$ мм та $\varnothing 95$ мм приймаємо в межах 60% від допуску на діаметр.

$$T_4 = 0,6 T_{\varnothing 100} = 0,6 \cdot 220 = 132 \text{ мкм};$$

$$T_5 = 0,6 T_{\varnothing 48,8} = 0,6 \cdot 620 = 372 \text{ мкм};$$

$$T_6 = 0,6 T_{\varnothing 95} = 0,6 \cdot 870 = 522 \text{ мкм}.$$

Приймаємо найближчі стандартне значення:

$$T_4 = 100 \text{ мкм};$$

$$T_5 = 300 \text{ мкм};$$

$$T_6 = 600 \text{ мкм}.$$

Шорсткість поверхонь, що формуються на даній операції вказана лише для внутрішньої різьбової поверхні M52x3-6H і дорівнює 1,6 мкм за критерієм Ra; для поверхонь на які шорсткість не вказана на кресленні встановлюємо шорсткість поверхонь на рівні 6,3 мкм за критерієм Ra.

Визначення умов, в яких буде виготовлятися та експлуатуватися проєктований пристрій.

Річна програма випуску даної деталі 500 шт. В пункті 1.3 було визначено тип виробництва, в якому виготовляється деталь – середньосерійному. Даний тип виробництва означає, що пристрій будуть використовувати з досить великою інтенсивністю. В цілому, за період виготовлення деталі “Корпус крейцкопфа” (1 рік) пристрій буде повинен здійснити 500 робочих циклів.

Обробка заготовки на даній операції відбувається на токарно-револьверному обробному центрі Haas ST-45.

Оскільки поверхні, які розглядаються в якості базових (170x185 мм) попередньо шліфовані, мають однакові допуски (-0,1 мм) та однакову шорсткість, то схема базування, яку було запропоновано раніше, є цілком актуальною.

Пропонована схема базування забезпечує дотримання точності операційних розмірів:

- для лінійного розміру $280_{-1,3}$ похибка базування відсутня ($\epsilon_{b_{280}}=0$), тому що технологічною та вимірною базами є один торець (див. рис. 2.2). Таким чином пропонована схема базування забезпечує точність розміру L280;

- для лінійних розмірів $40 \pm 0,31$ та $1,5 \pm 0,125$ мм технологічна база та вимірювальна база (див рис. 6.1) не співпадають, тому похибки базування не дорівнюють нулю ($\mathcal{E}b_{40} \neq 0$, $\mathcal{E}b_{1,5} \neq 0$). У зв'язку з тим що розмір L40, L1,5 L280 та кутовий розмір 45° формуються на одному установі, похибки базування $\mathcal{E}b_{40}$, $\mathcal{E}b_{1,5}$ та $\mathcal{E}b_{45^\circ}$ усуваються, тобто точність розмірів L40, L1,5 та 45° також буде забезпечена даною схемою базування.

Для діаметральних розмірів $\varnothing 100_{-0,22}$ та $\varnothing 95_{-0,87}$ технологічною базою виступає прямокутна зовнішня поверхня розмірами 170x185 мм, а вимірювальними базами зовнішні циліндричні поверхні $\varnothing 100$ та $\varnothing 95$ відповідно (див. рис. 2.2), отже похибки базування не дорівнюють нулю ($\mathcal{E}b_{100} \neq 0$, $\mathcal{E}b_{95} \neq 0$). Але оскільки, ми використовуємо чотирикулачковий патрон із попарним затисканням зустрічних кулачків, то похибка базування на розміри, вказані в радіальному напрямі, буде дорівнювати нулю ($\mathcal{E}b_{100} = 0$, $\mathcal{E}b_{95} = 0$). Таким чином, запропонована схема базування забезпечує точність розмірів $\varnothing 100$ та $\varnothing 95$.

Для визначення взаємного впливу полей збурюючих та зрівноважуючих сил будуємо їх графічну модель (рисунок 2.4) відповідно з прийнятою схемою базування.

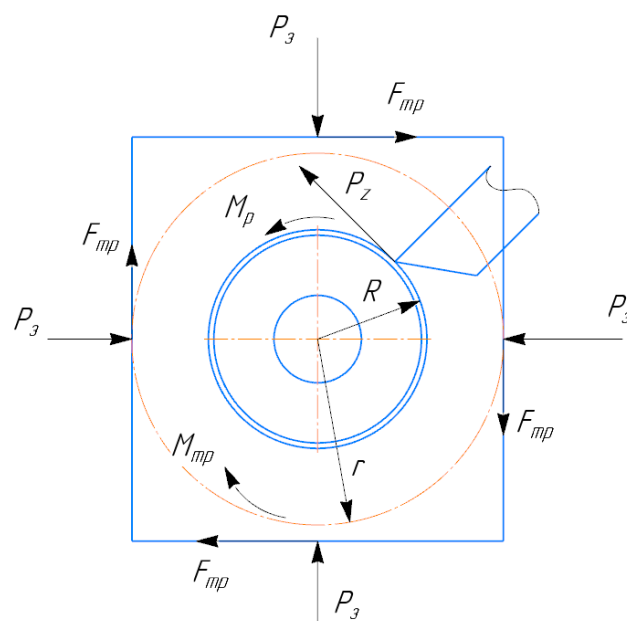


Рисунок 2.4 – Графічна модель полей збурюючих та зрівноважуючих сил

На рисунку 2.4 можна побачити, що на заготовку в процесі різання (точіння) буде діяти тангенціальна складова сили різання P_z , яка створює момент різання $M_{кр}$, який буде діяти на заготовку і сприяти прокрученню заготовки проти годинникової стрілки.

Тим часом кулачки токарного патрона будуть діяти на заготовку силою закріплення W , результатом чого буде момент тертя $M_{тр}$, який буде протидіяти моменту різання $M_{кр}$ та буде направлений за годинниковою стрілкою.

Щоб проаналізувати структуру та якість зв'язків при закріпленні заготовки побудуємо таблицю однобічних зв'язків.

Таблиця 2.7 – Однобічні зв'язки

Індекс зв'язку		x	x'	y	y'	z	z'	ω_x	ω'_x	ω_y	ω'_y	ω_z	ω'_z
Спосіб реалізації	Реакція	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
	Сила закріплення	W	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Сила тертя	-	-	-	-	-	-	$F_{тр}$	$F_{тр}$	-	-	-	-

Для надійного закріплення заготовки в патроні повинна виконуватися умова: $M_{тр} > M_p$, а з урахуванням коефіцієнта запасу $k_{зап}$, який враховує умови закріплення: $M_{тр} = M_p \cdot k_{зап}$, де $M_{тр}$ – момент тертя;

$$M_{тр} = F_{тр} \cdot r, \quad (2.22)$$

де r – радіус закріплення заготовки, оскільки заготовка не циліндричної форми а прямокутної замість, r ми візьмемо радіус кола вписаного в прямокутник з діаметром рівним меншій стороні прямокутника, $r=85\text{мм}$;

$F_{тр}$ – сила тертя;

$$F_{\text{тр}} = W \cdot f, \quad (2.23)$$

де W – сила закріплення;

f – коефіцієнт тертя в місцях контакту кулачків із заготовкою, при контакті обробленої заготовки з опорами і затискними елементами пристосування,

$$f = 0,16 \text{ по [4, с. 85, табл. 10].}$$

M_p – момент різання;

$$M_p = P_3 \cdot R, \quad (2.24)$$

де P_3 – сила закріплення;

R – радіус поверхні різання $R = 50$ мм;

$k_{\text{зап}}$ – коефіцієнт запасу.

Коефіцієнт запасу визначаємо за формулою [3, с. 85]:

$$k_{\text{зап}} = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6, \quad (2.25)$$

де k_0 - коефіцієнт гарантованого запасу, $k_0 = 1,5$ [3, с. 85];

k_1 – коефіцієнт, що враховує збільшення сил різання через випадкових нерівностей на оброблюваних поверхнях, $k_1 = 1$ – для чистової обробки [3, с. 85];

k_2 – коефіцієнт, що характеризує збільшення сил різання внаслідок затушення різального інструменту, $k_2 = 1$ [3, с. 85];

k_3 – коефіцієнт, що враховує збільшення сил різання при переривчастому точінні і торцевому фрезеруванні, $k_3 = 1$ [3, с. 85];

k_4 – коефіцієнт, що характеризує сталість сили закріплення, при використанні гідро- або пневмокамер подвійної дії $k_4 = 1$ [3, с. 85];

k_5 – коефіцієнт, що характеризує ергономіку ручних затискних механізмів, $k_5 = 1$ [3, с. 85];

k_6 – коефіцієнт враховують тільки при наявності моментів, що прагнуть повернути заготовку, $k_6 = 1$ [3, с. 85].

$k_{\text{зап}} = 1,5$ – при розрахунковому значенні коефіцієнта запасу $k_{\text{зап}}$ менше 2,5, приймають значення $K = 2,5$ [3, с. 85].

Сила закріплення визначається за формулою [3, с. 81, табл. 8]:

$$P_3 = 0,7 \cdot P_z \cdot k_{\text{зап}} \cdot L / (D \cdot f), \quad (2.26)$$

де P_z – вертикальна (головна) складова сили різання;

L – довжина деталі, $L = 280$ мм;

D – діаметр закріплення, $D = 170$ мм.

Найбільша сила різання виникає при найбільших значеннях глибини різання та подачі. В даному випадку розраховуємо силу різання для технологічного переходу з найбільшим числовим значенням цих параметрів на даній операції – обробка зовнішньої циліндричної поверхні. Вертикальна (головна) складова сили різання визначається за формулою (6.11):

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_v,$$

де $C_p = 300$, $x = 1,0$, $y = 0,75$, $n = -0,15$ – коефіцієнти та показники в формулі [4, с. 273];

$K_v = 1,04$ (див п.6.5).

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 0,5^1 \cdot 0,51^{0,75} \cdot 223,84^{-0,15} \cdot 1,04 = 418,13 \text{ Н.}$$

Оскільки заготовка має не циліндричну форму, силу закріплення ми визначимо беручи в розрахунок радіус кола вписаного в квадрат зі сторонами 170x170 мм для визначення максимальної сили затиску на кулачках розміщених ближче до центра заготовки. Розраховуємо силу закріплення:

$$P_3 = \frac{0,7 \cdot 418,13 \cdot 2,5 \cdot 280}{170 \cdot 0,16} = 7532,5 \text{ Н.} \quad (2.27)$$

Обґрунтування вибору привода

Визначимо силу на штоці Q з урахування м важільного передаточного пристрою [3, с. 89, табл. 15]:

$$Q = \frac{P_3 \cdot l_2}{l_1 \cdot \eta}, \quad (2.28)$$

де P_3 – сила закріплення, $P_3 = 7532,5$ Н;

l_1 та l_2 – плечі важеля, $l_2=45$ мм $l_1=110,4$ мм;

η – коефіцієнт корисної дії (ККД), $\eta=0,85$.

$$Q = \frac{7532,5 \cdot 45}{110,4 \cdot 0,85} = 3612,1 \text{ Н.}$$

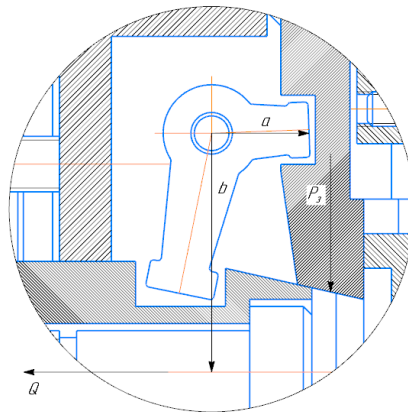


Рисунок 2.5 – Сили що виникають в приводі

Затиск заготовки виконується при подачі стиснутого повітря в штокову порожнину пневмокамери двосторонньої дії. При цьому максимальна сила на штоку розраховується по формулі (для вихідного положення штока) [3, с. 92, табл. 22]:

$$Q = 0,785 \cdot (D^2 - d^2) \cdot p \cdot \eta_{\text{мех}}, \quad (2.29)$$

де Q – сила на штоці, $Q = 3612,1$ Н;

d – діаметр штока, $d = 40$ мм;

D – діаметр діафрагми усередині пневмокамери, мм;

p – тиск стисненого повітря, $p = 0,4$ МПа;

$\eta_{\text{мех}}$ – механічний ККД, $\eta_{\text{мех}} = 0,9$ [3, с. 92].

Опираючись на попередню формулу отримаємо наступний вираз:

$$D = \sqrt{\frac{Q}{0,785 \cdot p \cdot \eta_{\text{мех}}} + d^2}. \quad (2.30)$$

Підставивши всі складові отримаємо:

$$D = \sqrt{\frac{3612,5}{0,785 \cdot 0,4 \cdot 0,9} + 40^2} = 119,9 \text{ мм.}$$

Найближчий більший стандартний діаметр пневмокамери двосторонньої дії обираємо за ГОСТ 13373-67:

$D_{\text{ф}} = 160$ мм;

Визначаємо фактичну силу закріплення: $W_{\text{ф}} = W_{\text{розр}} = 7532,5$ Н.

Визначаємо фактичну силу на штоці:

$$Q = 0,785 \cdot (160^2 - 40^2) \cdot 0,4 \cdot 0,9 = 6782,4 \text{ Н.}$$

Дана сила перевищує необхідну для затиску заготовки силу, отже, спроектований верстатний пристрій забезпечує фіксоване положення деталі при обробці.

Оптимальна довжина ходу штока визначається по формулі:

$$l = \frac{L}{2} = (0,17 \div 0,22)D. \quad (2.31)$$

Приймаємо значення $l = 0,22D$, маємо: $l = 0,22 \times 125 = 27,5$ мм.

Розрахунок на міцність

Для розрахунку на міцність береться шпилька. Вона виготовлена зі сталі 40, у якої межа $\sigma_T=300$ МПа. На даній деталі, при затиску заготовки, саме вразливе місце – різь М40, за допомогою якої шпилька прикріплюється до штока пневмокамери.

Для того щоб не було розриву на шпильці, необхідне виконання умови:

$$\sigma_p \leq [\sigma_p]$$

У свою чергу, допустиме навантаження шпильки $[\sigma_p]$ визначається за формулою:

$$[\sigma_p] \approx 0,67 \cdot \sigma_d$$

Тобто: $[\sigma_p] \approx 0,67 \cdot 300 = 201$ МПа.

Небезпечним є перетин, ослаблене нарізанням різі М40, найменший діаметр якого визначається по формулі:

$$d_1 = d - 2H = d - 1,08 \cdot P, \quad (2.32)$$

де d_1 - внутрішній діаметр різі;

d – зовнішній діаметр різі;

H – висота витка;

P – крок різі (приймаємо стандартний $P=3$ мм).

Тому для різі М40: $d_1=36,319$ мм.

Навантаження шпильки визначається по формулі:

$$\sigma = \frac{Q}{S}, \quad (2.33)$$

де Q – зусилля на штоці ($Q=3612,1$ Н);

S – площа розглянутого перетину шпильки.

Розраховуємо напруження, що виникають на ділянці шпильки з різью:

$$\sigma_I^p = \frac{4Q}{\pi d_f^2} = \frac{4 \cdot 3612,1}{\pi \cdot 36,319^2} = 3,49 \text{ МПа}$$

Максимальні напруження не перевищують припустиме значення $[\sigma_p]$, тобто виконується умова $\sigma_p \leq [\sigma_p]$, отже різь М40 на шпильці витримає навантаження.

Розглянемо розрахунок проектного токарного чотирьохкулачкового патрона, який використовується для базування та закріплення деталі «Корпус крейцкопфа» на токарній операції.

Визначимо розрахункові параметри, які в найбільшій мірі впливають на забезпечення заданої точності поверхонь оброблюваної деталі.

До розрахункових параметрів слід віднести точність взаємного розташування основних і допоміжних конструкторських баз пристрою, а саме радіальне биття робочої поверхні кулачка патрону відносно посадкової циліндричної поверхні патрону, яким останній встановлюється на шпиндель верстата.

Ці параметри є однорідними з похибками, що обумовлені на кресленні деталі як найбільш жорсткі допуски на взаємне розміщення поверхонь, тобто радіальне биття оброблюваної поверхні $\varnothing 100h11$.

Визначимо допустиму похибку виготовлення верстатного пристрою за формулою [4, с.26]:

$$E_{\text{пр}} = T_{\lambda \varnothing 100} - K_T \cdot ((K_{T_1} \cdot \varepsilon_{\lambda \varnothing 100})^2 + \varepsilon_3^2 \varnothing 100 + \varepsilon_y^2 \varnothing 100 + \varepsilon_n^2 \varnothing 100 + \varepsilon_i^2 \varnothing 100 + (K_{T_2} \cdot \omega_{\varnothing 100})^2 + \varepsilon_{\text{ноз } \varnothing 100}^2)^{1/2}, \quad (2.34)$$

де $T_{\lambda \varnothing 100} = 0,3 \cdot 0,22 = 0,066$ мм – найбільший жорсткий допуск розміру, що одержують на даній операції;

$K_T = 1,2$ мкм - коефіцієнт, що враховує можливий відступ окремих складових від нормального закону розподілу випадкових величин;

$K_{T_1} = 0,85$ мм – коефіцієнт, що враховує деяке зменшення граничного значення похибки базування;

$\varepsilon_{\lambda \phi 100} = 0$ – оскільки використовується самоцентруючий пристрій;

$\varepsilon_{\phi 100}^2 = 0$ – похибка закріплення, виникає в результаті зсуву оброблюваних поверхонь заготовок від дії затискної сили (не збігається напрям сили закріплення до допуску розміру, що вимірюється);

$\varepsilon_{y \phi 100}^2 = 3$ мкм - похибка установлення пристрою на верстаті;

$\varepsilon_n^2 \phi 100 = 0$ - похибка перекосу інструмента;

$\varepsilon_i^2 \phi 100 = 0$ - похибка, що виникає внаслідок зношування встановлювальних елементів пристрою;

$K_{T_2} = 0,6$ мкм - коефіцієнт, що враховує ймовірність появи похибки обробки;

$\omega_{\phi 100} = 6$ мкм - середня економічна точність обробки;

$\varepsilon_{noz \phi 84,4}^2 = 0$ - похибка позиціонування (заготовка не повертається).;

Підставляємо значення у формулу (10.1) та отримуємо:

$$E_{пр} = 66 - 1,2\sqrt{9 + (0,6 \cdot 6)^2} = 60,38 \text{ мкм}$$

З урахуванням стандартного ряду, беремо допуск радіального биття робочої поверхні кулачка $\varepsilon_{пр\lambda} = 60$ мкм.

Вказуємо на складальному кресленні пристрою технічну вимогу «допуск радіального биття робочої поверхні кулачка відносно посадкових поверхонь пристрою – не більше 60 мкм.

На кресленні представлений токарний чотирикулачковий пневматичний патрон двосторонньої дії з важільним центруючим механізмом. Дане пристосування призначене для автоматизації затиску деталі на токарних верстатах.

Особливість цього патрона в тому, що затискання заготовки здійснюється попарно зустрічними кулачками, причому затискання відбувається всіма кулачками з однаковою силою. При закріпленні та звільненні заготовки кожна пара кулачків підводиться та відводиться послідовно.

Патрон складається з корпусу 12, гвинта 1, втулок 11, 16, 10, 2 та 15, важелів 4 і 14, кулачків 5, губок 6. Корпус 12 кріпиться до шпинделя верстата через перехідну планшайбу. На гвинті 1 закріплені втулки 11 і 16, між якими встановлені втулки 2 та 11. Втулка 15 має два прорізи, в які входять кінці важелів 14, а під кутом 90° до цих прорізів ще дві, ширші прорізи для проходу кінців важелів. Втулка 2 має всього два прорізи, куди входять кінці важелів 4. Завдяки такому зв'язку важелів з втулками при русі однієї втулки переміщається одна пара важелів. Між втулками 11 та 16 і скошеними на кінці втулками 2 та 15 встановлені компенсатори 3 і 9. Компенсатори здійснюють послідовність підведення та відведення кожної пари кулачків. При переміщенні гвинта 1 вліво переміщуються всі втулки, важелі повертаються на осях 13 і всі кулачки 5 рухаються в радіальному напрямку до центру. (Важелі 4 і 14 входять при цьому у відповідні пази кулачків 5. При досягненні однією парою губок 6 поверхні оброблюваної заготовки, поворот важелів і рух відповідної втулки припиняється. Оскільки тяга 1 продовжує переміщатися, вона зміщує компенсатори 9 в радіальному напрямку 2 або 15. Подальше затискання другою парою кулачків відбувається описаним вище способом. Процес звільнення заготовки відбувається аналогічно, але в цьому випадку працюють компенсатори 3. Налагодження патрона проводиться установкою змінних губок 6. Кулачки 5 сполучаються з губками 6 рифленою поверхнею. Кріплення губок в Т-подібних пазах кулачків 5 проводиться гвинтами 7 та сухарями 8.

Проектування контрольно-вимірювального пристрою

Відповідно до завдання необхідно виконати контроль відхилення від перпендикулярності торця $\varnothing 95$ мм щодо внутрішньої різьбової поверхні М52х3- Н, яка служить базою А, з допуском 0,016 мм згідно креслення деталі.

Згідно з завданням річна програма випуску становить $N=500$ деталей. Це відповідає середньосерійному типу виробництва. За технологічним процесом контроль буде проводитися після одразу після операції токарної з ЧПК на якій формуються ці два розміри.

Як уже встановлено, номінал контрольованого розміру 95 мм. Точність розміру повинна відповідати 14-му квалітету, так як вказано в технічних вимогах креслення деталі. Розмір охоплюється, отже поле допуску його буде $h14$. Верхнє відхилення його згідно ГОСТ 25347-2013 $es = 0$; нижнє відхилення $ei = -740$ мкм. Відповідно допуск $T = 740$ мкм згідно ГОСТ 25347-82. Остаточо проставимо розмір $95h14 (0; -0,74)$.

На кресленні не вказаний допуск форми контрольованої поверхні. На даній поверхні виникатиме відхилення від площинності. Тому визначимо допуск площинності, який пов'язаний з допуском на розмір і при нормальній відносній геометричній точності 60% від допуску на розмір. Отже максимальне значення відхилення від площинності складе $T_{\square} = 0,6 \cdot T_8 = 0,6 \cdot 740 = 444$ мкм.

Отже по ГОСТ 24643-81 приймаємо найближче менше стандартне значення 300 мкм, що відповідає 14-й ступені точності.

Конструктором обговорений допуск торцевого биття торця деталі, який становить 0,016 мм, а згідно з ДСТУ найближчий стандартний менший допуск дорівнює 0,016 мм, що відповідає 7-му ступеню точності.

Згідно креслення, конструктором не задана шорсткість контрольованої площини, тому беремо загальну вказану шорсткість за критерієм $Ra = 6,3$ мкм.

Висновок: під час контролю відхилення від перпендикулярності часті відхилення від площинності, зокрема увігнутість і опуклість, при повороті деталі

на 360° показання можуть показувати неправильні, а ось неправильна форма поверхні (хвилястість) покаже величину відхилення.

За базову поверхню у нас взята внутрішня різьбова поверхня, що дещо ускладнює контроль відхилення. Але оскільки визначити відхилення потрібно, то проведемо аналіз точнісних параметрів поверхні.

Як уже встановлено, номінал розміру базової поверхні М52х3 мм. Квалітет допуску на розмір відповідно з вказаним на кресленні відповідає 6Н. Розмір різьбовий, отже будемо враховувати допуск на середній діаметр різі. Верхнє відхилення його згідно ГОСТ 16093-81 ES = +0,280 мкм; нижнє відхилення EI = 0 мкм. Отже допуск T = 280 мкм згідно ГОСТ 16093-81. Проставимо розмір М52х3-6Н (+0,28;0) мм.

Оскільки поверхня різьбова, і основний розмір від якого залежить контроль це середній діаметр різі, на ній не повинні виникати відхилення форми, адже профіль різі, що нарізається різцем і контролюється різьбовою пробкою, повинні мати сталий профіль. Тому відхиленням форми для даної поверхні можна знехтувати.

Відповідно до креслення, задана конструктором шорсткість базової поверхні за критерієм Ra становить 1,6 мкм.

Вибір і обґрунтування схеми базування.

З огляду на те, що контроль відхилення відбувається щодо бази А, якою є різьбова поверхня, її ми й візьмемо за базову. Тобто умова, що конструкторська база збігається з вимірювальною базою виконується. Проведемо уточнення і аналіз точнісних параметрів поверхонь.

Таблиця 2.8 – Точнісні параметри поверхонь

Найменування точнісного показника	Контрольована поверхня	Базова поверхня
1.Точність розміру (квалітет)	14	6
2.Точність форми (ступінь точності)	14	-
3. Точність розташування поверхонь (ступінь точності)	7	7
4. Ступінь шорсткості	Ra 6,3 мкм	Ra 1,6 мкм

Висновок: з таблиці видно, що параметри базової поверхні: точність розміру, а ступінь шорсткості нижче, ніж аналогічні параметри контрольованої поверхні, отже за даними показниками цю поверхню можна прийняти в якості базової. Оскільки базова поверхня являється різьбовою, то відхилення будемо контролювати не безпосередньо.

Деталь при контролі розташовується вертикально. Закріплення контрольованої деталі не обов'язкове, деталь має великі габарити і велику вагу, тобто під своєю вагою вона не повинна мати жодних зрушень під час контролю. Похибка закріплення при використанні даної схеми повинна дорівнювати нулю.

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 циліндрична деталь – сферичний наконечник. Однак внаслідок наявності вимірювального зусилля точковий контакт викликає змінання вимірюваного виробу в точці контакту.

При безконтактних вимірюваннях чутливий елемент безпосередньо не контактує з вимірюваною деталлю, що усуває знос вхідного елемента і забезпечує мале вимірювальне зусилля, що дуже важливо при контакті з деталями з м'яких металів і сплавів. Однак безконтактні прилади (пневматичні, оптичні) чутливі до забруднення деталі і необхідні додаткові заходи по її очищенню.

З цих причин під час вибору між контактним і безконтактним способами віддаємо перевагу контактному способу адже фізичні властивості матеріалу

деталі високі і дозволяють даний метод ($HV = 240$, $\sigma_b = 980$ МПа, $\sigma_t = 835$ МПа) і контрольована поверхня може сприйняти значне вимірювальне зусилля без деформацій і змінання.

Для забезпечення точкового контакту приймаємо наконечник сферичної форми при радіусі сфери не менше 5 мм, типу НР з твердосплавною вставкою по ГОСТ 11007-66.

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

З огляду на твердість контрольованої поверхні і допуск контрольованого параметра 0,016 мм, геометричні параметри наконечника орієнтовно призначаємо вимірювальне зусилля 3Н. В цьому випадку очікувана похибка від вимірювального зусилля визначається за формулою Герца:

$$\Delta_{yc} = 0.43 \cdot k \cdot \sqrt[3]{\frac{P_{yc}^2}{r}}, \quad (2.35)$$

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:

$$\Delta_{yc} = 0.43 \cdot 0,81 \cdot \sqrt[3]{\frac{3^2}{5}} = 0,42 \text{ мкм},$$

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 під час контролю нерухома, але для здійснення контролю деталь КВП здійснює вертикальний поступальний рух, так як інакше

проконтролювати з даною точністю не видається можливим, тому розглядати плюси і мінуси даного режиму контролю не має сенсу. Приймаємо динамічний режим контролю.

Реалізація переміщення елементів КВП щодо деталі в процесі налагодження та контролю, а саме вертикальний поступальний рух, буде здійснюватися без особливих зусиль з боку контролера, так як повзун буде з'єднаний з направляючою з невеликим зазором.

Вибір засобу вимірювання почнемо з визначення оптимальних метрологічних, експлуатаційних і надійнісних характеристик, які повинен мати засіб вимірювання.

Допустима сумарна похибка вимірювання КВП знаходиться як частина виробничого допуску контрольованого параметра $T_{пр} = 16$ мкм:

$$[\Delta_{изм}] = k \cdot T_{пр} \quad (2.36)$$

де k – відносна похибка вимірювання, яка залежить від квалітету або ступеня точності контрольованого параметра (для 7-го ступеня точності $k = 0,25$).

Тоді:

$$[\Delta_{изм}] = 0,25 \cdot 16 = 4 \text{ мкм.}$$

Відповідно до ГОСТ 8.051-81 рекомендується прийняти 4 мкм.

Визначимо допустиму похибку засоби вимірювання (інструментальну похибку):

$$[\Delta_{ин}] = (0,6 - 0,8) \cdot [\Delta_{изм}]$$

Приймаємо коефіцієнт 0,7:

$$[\Delta_{ин}] = 0,7 \cdot 4 = 2,8 \text{ мкм.}$$

Ціна поділки розраховується залежно від величини допустимої інструментальної похибки засобу вимірювання:

$$[c] = (0,5 - 2) \cdot [\Delta_{ин}]$$

Приймаємо коефіцієнт 1,2, тоді:

$$[c] = 1,2 \cdot 2,8 = 3,36$$

Інтервал поділки шкали $[a]$ приймається з рекомендацій [14] рівний від 0,9 до 2,5 мм, оскільки менша відстань між сусідніми штрихами шкали може затрудняти зчитування показань 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:

$$[A] = 2 \cdot T_{np} = 2 \cdot 16 = 32 \text{ мкм.}$$

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

Допустиму варіацію показань приймаємо $[W] = 2$ мкм.

Вимірювальна умова P_{yc} обумовлюється характером контролюючих поверхонь при вимірюванні, жорсткістю контрольованої поверхні, величиною допуску вимірюваного параметра. Значення вимірювального зусилля було прийнято в по-передній роботі, отже приймемо його як допустимий $[P_{yc}] = 3$ Н.

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

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

Кількість вимірювальних циклів дорівнює 2500 циклів (вимір деталей протягом 5 років). Отже приймаємо $[K] = 2500$ циклів.

Згідно сталим цінами на контрольовано-вимірювальні засоби, встановимо витрати на придбання СІ: $[L] = 3000$ грн.

Пошук засобу вимірювання по заданим обмеженням.

Після того як стали відомі допустимі значення по метрологічним, експлуатаційним і надійнісним показникам, можна почати пошук засобу

вимірювання. Прийнятним вважається засіб вимірювання, значення характеристик якого знаходяться в такому співвідношенні з допустимим:

Здійснюємо пошук засобу вимірювання відповідно до паспортів й каталогів технічних характеристик для індикаторних вимірювальних головок. Найбільш близьким за показниками для контролю перпендикулярності буде використання індикаторної головки Mitutoyo 2109A-10, з наступними параметрами: $A = 200\text{мкм}$, $B = 1\text{ мм}$, $P_{yc} = 1,5\text{Н}$, $\Delta P_{yc} = 0,7\text{Н}$, $W = 1\text{ мкм}$, $K = 200000$, $q = 95\%$, $C = 3000\text{ грн}$.

Порівняємо ці значення з допустимими (розрахунковими), приходимо до висновку, що задані умови точності, надійності і економічності дотримуються:

$$\Delta_{ин} = 2\text{мкм} < |\Delta_{ин}| = 2,8\text{мкм}; c = 1\text{мкм} < |c| = 2,8\text{мкм}; a = 1\text{мм} = |a| = 1\text{мм};$$

$$A = 200\text{мкм} > |A| = 16\text{мкм}; B = 1\text{мм} = |B| = 1\text{мм}; P_{yc} = 1,5\text{ мм} < |P_{yc}| = 3;$$

$$\Delta P = 0,7\text{Н} < |\Delta P| = 1\text{Н}; W = 1\text{мкм} < |W| = 2\text{мкм}; K = 100000 > |K| = 2500;$$

$$q = 95\% > |q| = 85\%; C = 3000\text{грн} = |C| = 3000\text{грн}.$$

Остаточний вибір зупиняємо на індикаторі Mitutoyo 2109A-10.

Розробка кінематичної схеми КВП.

На схемі в спрощеному вигляді зображені основні механізми (функціональні вузли) КВП. Схема дає поняття про характер переміщення, граничні положення, видах зв'язків. Кінематична схема зображена на рис. 2.6.

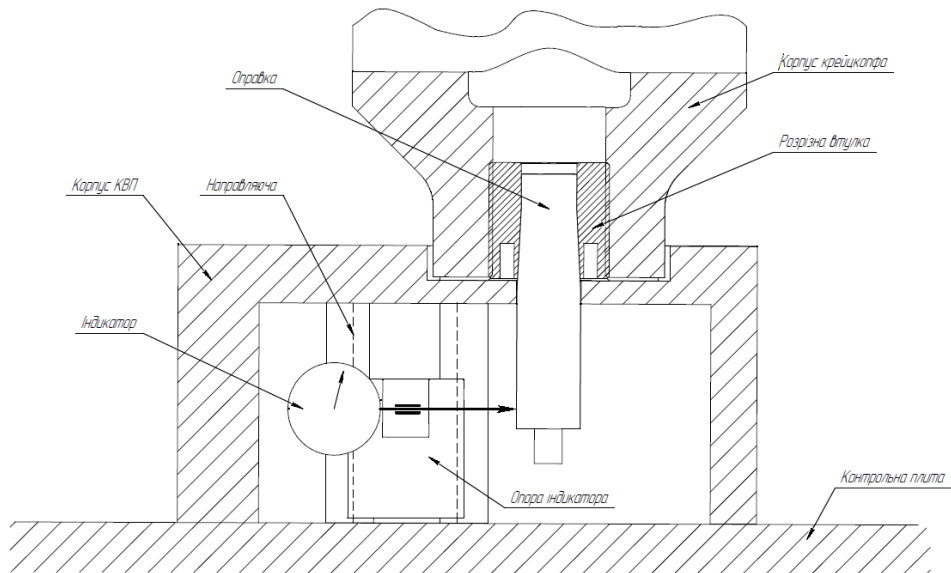


Рисунок 2.6 – Принципова схема КВП

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 деталі (рис. 2.7), згідно з принциповою кінематичною схемою і схемою розміщення елементів КВП. На ескізі проставимо посадки необхідні для збірки КВП.

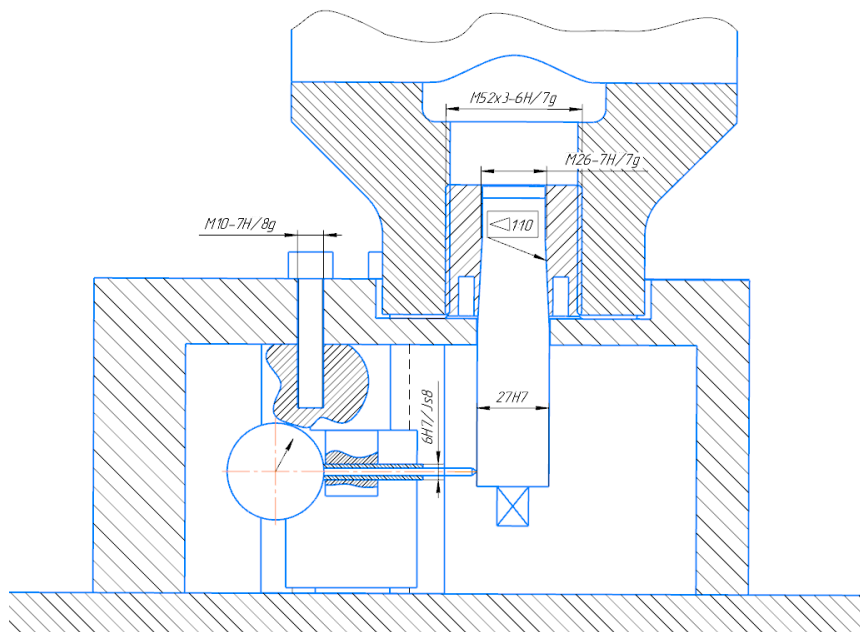


Рисунок 2.7 – Ескіз функціонального вузла КВП

Визначення сумарної фактичної похибки вимірювання КВП – один з найбільш важливих і відповідальних етапів проектування, на підставі якого визначають можливість КВП здійснювати контроль заданих параметрів з необхідною точністю і достовірністю.

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

$$\Delta_{\phi} \leq [\Delta_{\text{изм}}] \quad (2.37)$$

Фактична похибка КВП визначається за формулою:

$$\Delta_{\phi} = \sqrt{\Delta_{\text{ин}}^2 + E^2 + \Delta_{\text{е}}^2 + \Delta_{\text{ус}}^2 + \Delta_{\text{t}}^2 + \Delta_{\text{p}}^2} \quad (2.38)$$

де $\Delta = 2$ мкм – похибка засобу вимірювання;

E – похибка установки;

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

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

$\Delta_{\text{t}} = 0$ – похибки від температурних деформацій, цією 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;

Δ_{p} – похибка передавальних пристроїв.

Похибка установки визначається як:

$$E = \sqrt{E_{\text{б}}^2 + E_{\text{з}}^2 + E_{\text{пр}}^2} \quad (2.39)$$

де $E_{\text{б}} = 0$ – похибка базування, визначена в пункті 2;

$E_{\text{з}} = 0$ – похибка закріплення, яка дуже мала;

$E_{\text{пр}}$ – неточності виготовлення елементів пристрою.

Неточності виготовлення елементів пристосування визначаємо за формулою:

$$E_{\text{пр}} = \sqrt{E_{\text{пр}1}^2 + E_{\text{пр}2}^2} \quad (2.40)$$

де $E_{np1} = 3$ мкм – похибка, що виникає внаслідок зазору в з’єднанні ластівчин хвіст, яка безпосередньо впливає на показання при контролі;

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

$$E_{np} = \sqrt{3^2 + 0^2} = 3 \text{ мкм}$$

Похибка установки:

$$E_{np} = \sqrt{0^2 + 0^2 + 3^2} = 3 \text{ мкм}$$

Похибка вимірювального зусилля визначаємо за формулою:

$$\Delta_{yc} = 0.43 \cdot 0.81 \cdot \sqrt[3]{\frac{1.5^2}{5}} = 0.267 \text{ мкм},$$

Так як в конструкції КВП не має ричага, то $=0$.

Фактична похибка КВП:

$$\Delta_{\phi} = \sqrt{2^2 + 3^2 + 0^2 + 0.267^2 + 0^2 + 0^2} = 3.615 \text{ мкм}$$

Виконуємо перевірку:

$\Delta_{\phi} = 3.615 \text{ мкм} < \Delta_{изм} = 4 \text{ мкм}$ – отже показання КВП достовірні.

2.10 Висновок

У розділі удосконалення маршрутно-технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус крейцкопфа» були прийнято, що в якості заготовки буде використовуватися штамповка на КГШП, оскільки даний спосіб отримання заготовки є більш економічним та продуктивнішим ніж при отриманні заготовки вільним куванням на молотах.

Окрім цього після аналізу базового технологічного процесу виготовлення деталі були внесені зміни для його вдосконалення. А саме базуючись на принципі концентрації операцій та заміні старих універсальних верстатів на нові прогресивні верстати з ЧПК було зменшено кількість операцій, в тому числі через зменшення кількості слюсарних операцій та операцій контролю.

Були проаналізовані схеми базування та закріплення заготовки на операціях із визначенням похибок базування. Проведено розрахунок припусків аналітичним способом на одну з найбільш точних поверхонь. Також на одну з чистових операцій призначенні верстати, оснащення, режими різання та виконано технічне нормування операцій.

Спроековано верстатний пристрій для токарної із ЧПК операції з пневматичним приводом, який дозволить скоротити допоміжний час, підвищити надійність процесу та зменшити фізичне навантаження на працівників. Окрім цього виконана розробка контрольно-вимірювального пристрою для контролю відхилення від перпендикулярності з обґрунтуванням і розрахунками.

РОЗДІЛ 3

НАУКОВЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Важливість контрольно-вимірювальних пристроїв у виробництві

Контроль якості виробів відіграє ключову роль у промисловості, особливо під час виробництва за принципом повної взаємозамінності. Використання універсальних вимірювальних інструментів і калібрів може бути неефективним, проте завжди гарантує необхідну точність та зручність контролю. Контрольні пристрої значно підвищують ефективність роботи контролерів, поліпшують умови їхньої діяльності та сприяють підвищенню якості та об'єктивності контролю. Вони використовуються для перевірки заготовок, деталей і вузлів машин як на етапах обробки (міжопераційний контроль), так і під час остаточного приймання, що включає перевірку розмірів, взаємного розташування поверхонь і геометричної форми .

З огляду на високу точність сучасних машин, важливим є використання в контрольних пристроях вимірювачів високої точності. Вибір принципової схеми та конструкції пристосування для контролю також має велике значення. Збільшення точності вимірювань може призвести до ускладнення та збільшення вартості пристосування, а також зменшення його продуктивності. Стосовно розмірів деталей, для невеликих і середніх використовують стаціонарні контрольні пристосування, а для великих - переносні. Паралельно з одномірними пристроями широке поширення отримали багатовимірні пристосування, які одночасно перевіряють кілька параметрів. Контрольні пристрої повинні гарантувати встановлену точність і продуктивність, бути зручними в експлуатації, простими у виготовленні, надійними при тривалій роботі та економічно доцільними.

У статті [20] було розглянуто проблему вимірювання відхилень форми та розташування поверхонь у великогабаритних деталей. Для вирішення цих проблем, авторами були розроблені різні види схем лазерного вимірювання, такі як поляризаційний, оптичної компенсації, метод інтерферометра та інші. Всі ці

методи були протестовані на практиці в майстерні та показали велику точність. Автоматичне лазерне вимірювання було реалізовано за допомогою порівняння з еталонними формами. В результаті проведеної роботи був розроблений інструмент для вимірювання площинності, перпендикулярності та паралельності великогабаритної заготовки (рис. 3.1), який базується на комбінації оптико-механічного сканера та ПЗЗ-детектора. Результати тестів довели що нова вимірювальна система надійна і може бути впроваджена в виробництво.

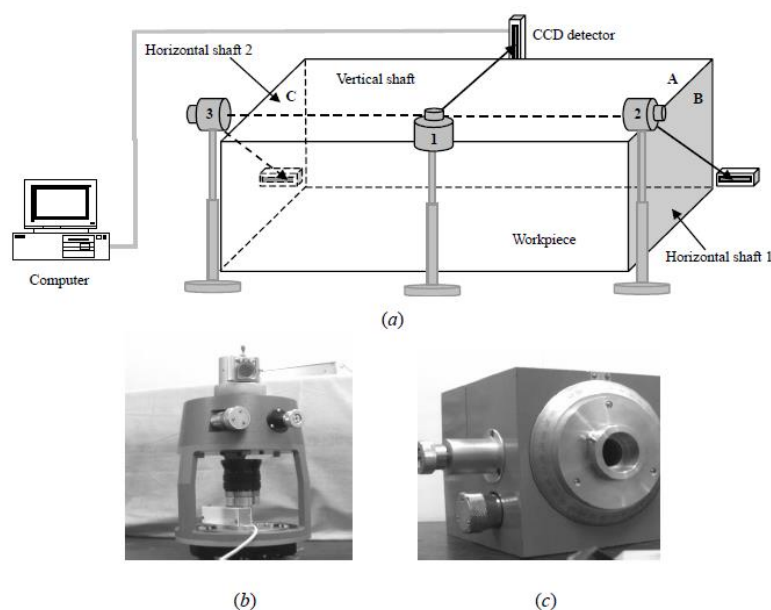


Fig. 4 (a) Measurement system (b) Vertical shaft unit (c) Horizontal shaft unit

Рисунок 3.1 – Інструмент для вимірювання площинності, перпендикулярності та паралельності великогабаритної заготовки

Стаття [21] присвячена розробці нового методу вимірювання перпендикулярності. В статті описується принцип роботи та головні переваги нового методу, у якому вимірювання відбувається за допомогою недифрагуючого променя, який освітлює п'ятикутну призму для отримання вертикального відліку, він використовується як прямолінійний відлік, а ПЗЗ використовується як датчик для вимірювання похибки положення посилання. У роботі також наведено три алгоритми оцінки похибки перпендикулярності. Крім того, цим методом, яким легко керувати, було виміряно перпендикулярність координатно-вимірювальної машини. Результати та аналіз показують, що його робоча відстань може бути

більше 15 м, а точність може бути менше ± 5 мкм/м що виводить вимірювання на новий рівень.

У документі[22] представлено два нові безконтактні методи вимірювання перпендикулярності осі за допомогою системи зору. Загалом перпендикулярний еталон і циферблатний індикатор використовується для вимірювання перпендикулярності осі. Перпендикулярність осі можна отримати шляхом вимірювання відмінності від еталона. Тому її точність залежить від точності перпендикулярного еталона. Саме з цієї причини точність перпендикулярного еталону є надзвичайно важливою, і точність вимірювання перпендикулярності не може перевершувати точність перпендикулярного еталона. У цій статті запропоновано два нові методи, які допоможуть виміряти перпендикулярність осі без використання перпендикулярного еталона. Вимірювання абсолютної перпендикулярності осі може бути досягається системою зору. Здійсненість розроблених авторами методів вимірювання підтверджується кількома експериментальними результатами.

S. Subba Rao та його колеги у цьому документі[23] представили результати дослідження, спрямованого на концептуалізацію та розробку дійсних вимірювань для ключових аспектів управління якістю в міжнародному контексті. Структура управління якістю була концептуалізована з точки зору 13 вимірів. Згодом оперативні показники для 13 вимірів розробляються з точки зору управлінського сприйняття. Дані були зібрані з п'яти країн: США, Індії, Китаю, Мексики та Тайваню. Зразок був розділений на дві випадкові групи. Використовуючи моделювання структурних рівнянь, конструкції були протестовані та вдосконалені з використанням першого набору та повторно перевірені з використанням другого набору. В результаті дослідження було визначено, що оперативні заходи, розроблені в статті, значною мірою задовольняють критеріям одновимірності, конвергентності, дискримінантності та прогностичної валідності в усіх п'яти країнах. Це дослідження робить внесок у потік вимірювань міжнародного управління якістю, надаючи набір дійсних і надійних операційних

заходів. Авторами очікується, що ці заходи допоможуть дослідникам у тестуванні теорії, а також практикам у діагностиці та вдосконаленні систем управління якістю в різних країнах.

Стаття[24] пропонує новий метод визначення форми та координат 3D-об'єкта. Замість гнучкого традиційного дотикового зонда авторами був розроблений високожорсткий білатеральний дотиковий сенсор вібрацій. Запропонований сенсор складається з п'єзоелектричного пристрою та тонкого зонда, що дозволяє йому витримувати високі рівні прискорення. Цей сенсор досягнув значущих результатів у вимірюваннях за короткий час. Також було запропоновано нелінійний синхронний багатоосьовий алгоритм управління для сканування поверхні довільних об'єктів і вимірювання їхньої 3D-форми. Ефективність запропонованого сенсора та алгоритму управління була продемонстрована через експерименти та симуляції.

Автори дослідження, зазначеного у [25], зосередились на розробці контрольних пристроїв і пропонують використовувати принцип "форми затискних елементів" та величини сил закріплення для визначення оптимального розташування їх на деталях та, відповідно, оптимальної сили закріплення при контролі. Фіналом роботи була розробка програмних додатків, які можуть інтегрувати вказаний алгоритм з бібліотеками затискних елементів і виконувати підбір або автоматизоване проектування затискних елементів з урахуванням параметрів конкретної деталі.

У [26] статті автори запропонували метод прогнозування концентричності та перпендикулярності на основі нейронної мережі PSO-BP з метою вирішення проблеми низької точності збірки багатоступневих роторів авіаційних двигунів. Проаналізовано вплив факторів поширення помилки при складанні на основі характеристик конструкції ротора та процесу складання. В результаті роботи створено нейронну мережу для прогнозування концентричності та перпендикулярності збірки багатоступневих роторів. Алгоритм рою частинок використовується для оптимізації гіперпараметрів нейронної мережі, і можна

отримати оптимальні гіперпараметри. Для перевірки ефективності методу прогнозування концентричності та перпендикулярності, запропонованого в цій статті, провели експерименти для чотирьох роторів у зборі з прецизійним ротаційним вимірювальним приладом. Результати показують, що для 30 груп тестових зразків середні відхилення концентричності та перпендикулярності за методом прогнозування нейронної мережі PSO-BP становлять 1мкм і 0,6мкм, відповідно. Точність прогнозування концентричності та перпендикулярності остаточного складання покращено на 4,5мкм і 2,6мкм відповідно, порівняно з традиційним способом складання. Запропонований у цій роботі метод може бути використаний не тільки для керівництва складанням багатоступеневих роторів авіаційного двигуна, але й для розподілу допусків у процесі проектування.

Провівши аналіз наукових джерел можна з впевненістю стверджувати, що сучасні дослідження в галузі обробки матеріалів фокусуються на розрахунках та моделях взаємодії в системі, а також на дослідженні точності механічної обробки при зміні параметрів обробки. Багато уваги приділяється моделюванню нових електронних методах вимірювання та залучення комп'ютерних систем в процесі контролю виробництва. Можна сказати, що епоха контролю однонаправленими негнучкими вимірювальними пристроями закінчується, а їй на зміну приходять багатовекторні безконтактні вимірювальні пристрої. Але все ж використання таких методів вимірювання та контролю при малих обсягах виробництва є недоцільними через їх високу вартість. Використання малих гнучких пристроїв для контролю все ще є актуальним для малих підприємств та підприємств з малими обсягами виробництва. Проте в подальшому більш широке впровадження нових систем, зниження їх вартості сприятиме більшому розповсюдженню таких універсальних оптичних, лазерних та комп'ютерних методів вимірювання, що допоможе покращити системи контролю деталей у будь-якому виробництві.

3.2 Теоретичне обґрунтування вибраного методу дослідження

Методологія визначення динамічних характеристик конструкцій на основі результатів напружено-деформованого стану та резонансних випробувань

включає проведення експериментів з підконструкціями, створення математичних моделей цих підконструкцій на основі результатів експериментального аналізу їх модальних характеристик (власних частот, форм, узагальнених мас і параметрів демпфірування), побудову повної математичної моделі всієї конструкції шляхом синтезу моделей підконструкцій та визначення динамічних характеристик всієї конструкції на основі отриманої математичної моделі. Параметри математичних моделей, такі як матриці інерції, жорсткості і демпфування, є невідомими.

Спочатку будуються математичні моделі підконструкцій в основній системі координат на основі результатів експериментального модального аналізу, використовуючи власні частоти, форми, узагальнені маси та характеристики демпфірування власних коливань. Далі ці моделі трансформуються в фізичну систему координат, використовуючи властивості, такі як симетрія і позитивна визначеність матриць інерції і жорсткості, ортогональність форм власних коливань та позитивна визначеність матриці.

Модальний аналіз – це вивчення динамічних властивостей лінійних структур за допомогою структурного тестування або чисельного моделювання методом скінчених елементів. До динамічних властивостей входять резонансні частоти (власні частоти) та структурні форми (власні типи коливань). Ці властивості залежать від розподілу маси, жорсткості та демпфірування в структурі та визначають поведінку структурних коливань під впливом експлуатаційних навантажень. Кожна деформація лінійної структурної системи може бути виражена як лінійна комбінація структурних форм, які утворюють ортонормовану векторну базу.

Результати модального тестування та аналізу використовуються в різних областях, таких як числове моделювання та тестування, включаючи розрахунки чутливості до вібрацій, аналіз основних причин вібраційних проблем та виявлення пошкоджень. Також ці результати використовуються для введення гнучкості в аналіз системи багатьох тіл та прискорення розрахунків довговічності і віброакустичних властивостей.

Необхідність вирішення проблеми визначення динамічних характеристик великогабаритних конструкцій за результатами випробувань їх складових підконструкцій пояснюється двома причинами. По-перше, у зазначений час конструкції повинні бути підняті на опори під час випробувань. Це часто ускладнює можливість створення умов закріплення об'єкта випробувань, які відповідають умовам експлуатації, що може призводити до значних похибок у визначенні характеристик власних частот коливань. По-друге, великі габарити та складність конструкції в зібраному вигляді можуть ускладнювати проведення експериментального модального аналізу таких конструкцій.

Модальний аналіз, виконаний на базі структурного тестування або моделювання методом кінцевих елементів, допоможе:

- зрозуміти як вібує та деформується виріб;
- приводити в відповідність та обновляти моделі;
- прискорити розрахунки структурних, віброакустичних розрахунків і розрахунків довговічності;
- додати гнучкість в моделі аналізу багатотілих деталей.

3.3 Розроблення 3D-моделі конструкції верстатного пристрою та його скінчено-елементне дослідження

Для виконання розрахунків чисельного моделювання спочатку була побудована 3D – модель контрольно-вимірювального пристрою разом із деталлю (рис. 3.2). Модель будувалась з деяким спрощенням окремих елементів для оптимізації розрахунків, але щоб при цьому не втрачалась їх точність.

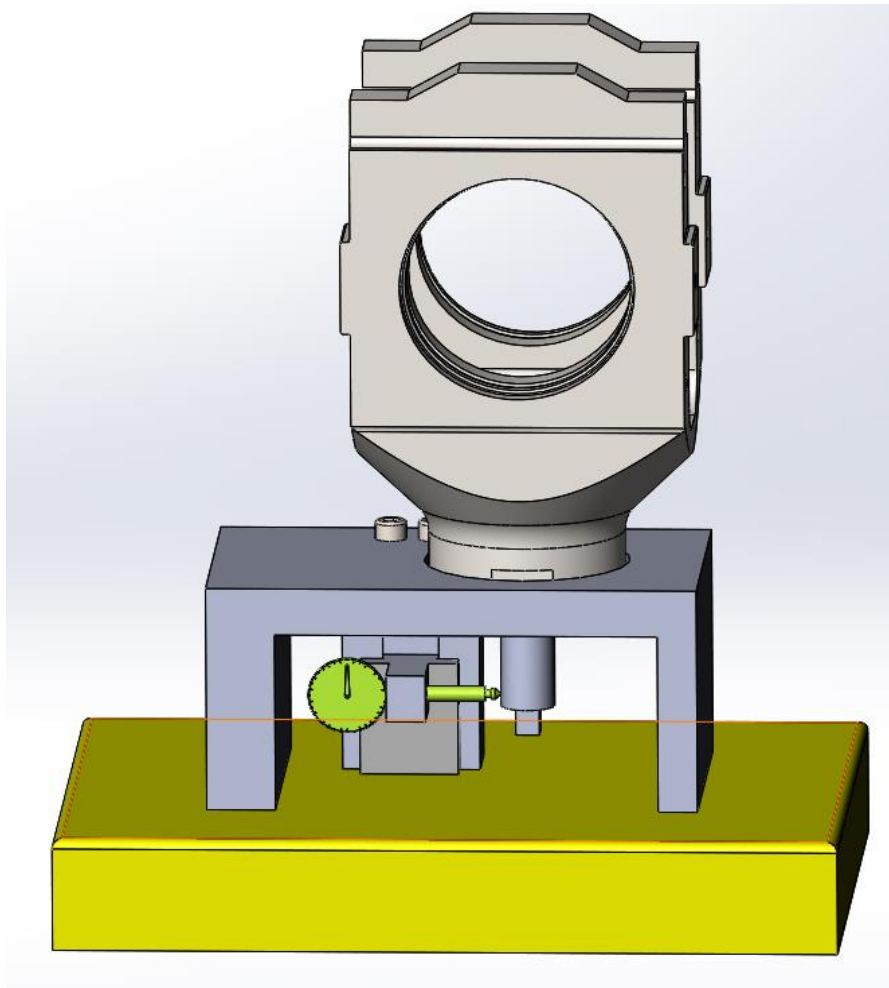


Рисунок 3.2 – Розроблений контрольно-вимірювальний пристрій із деталлю

Так як відділ технічного контролю знаходиться неподалік цехів або безпосередньо в цеху де відбувається виробництво деталей та наявні коливання обладнання від роботи, необхідно провести аналіз частоти власних коливань контрольно-вимірювального пристрою (КВП), для запобігання виникнення резонансу в процесі вимірювання з тієї причини, що це може вплинути на точність вимірювання. Для цього необхідно щоб вимірювальний пристрій міг витримувати більші частоти коливань ніж ті що можуть виникнути від верстатів при обробці. За допомогою вбудованого модуля в програмному комплексі ANSYS визначимо частоти власних коливань КВП і потім порівняємо з частотами, що можуть виникати при роботі цеху. За допомогою цих результатів буде можливість за

необхідності удосконалити пристрій для запобігання резонансу і підвищити точність вимірювань.

Механічні властивості матеріалів, які використовуються у моделі, наведено у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Механічні властивості матеріалів контрольного пристрою

Матеріал	Модуль пружності E, ГПа	Коефіцієнт Пуассона μ	Густина ρ , кг/м ³	Границя міцності при розтягуванні [сраст], ГПа	Границя міцності при стисненні [сж], ГПа	Границя текучості σ_T , ГПа
Сталь 40Х ГОСТ 1050-88	214	0,3	7820	0,850	0,850	0,785

Для визначення частот власних коливань КВП граничними умовами під час моделювання 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. Ілюстрації скінчено-елементної сітки зображено на рис. 3.3 - 3.4. Це робиться для отримання більш точних результатів, та більш якісного відображення можливих деформацій.

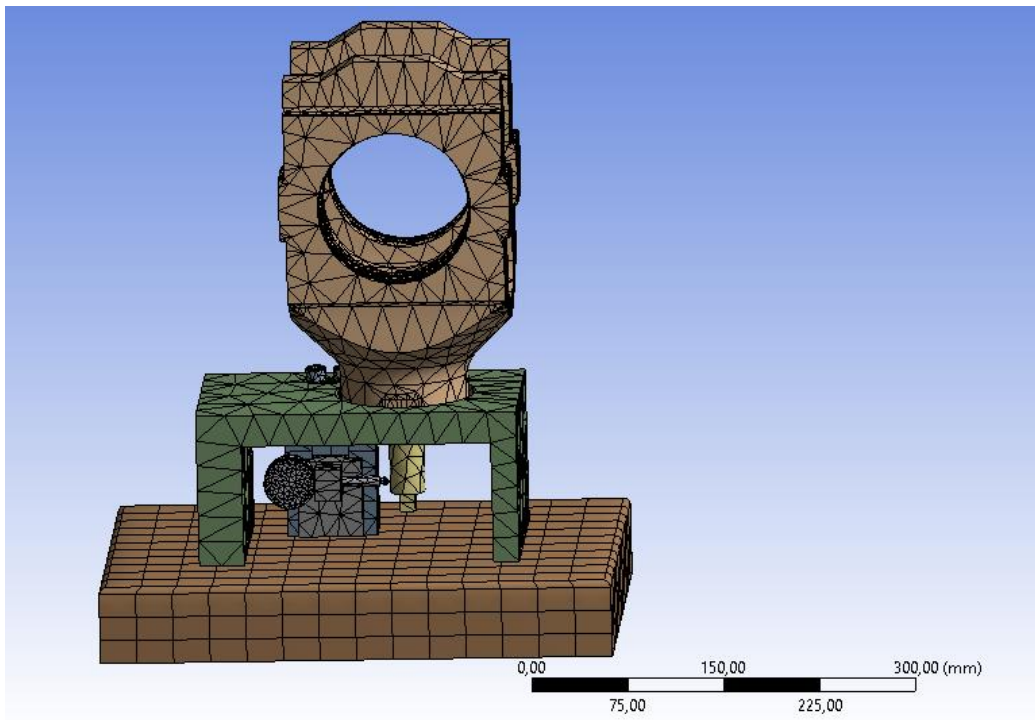


Рисунок 3.3 – Контрольно-вимірювальний пристрій із сіткою

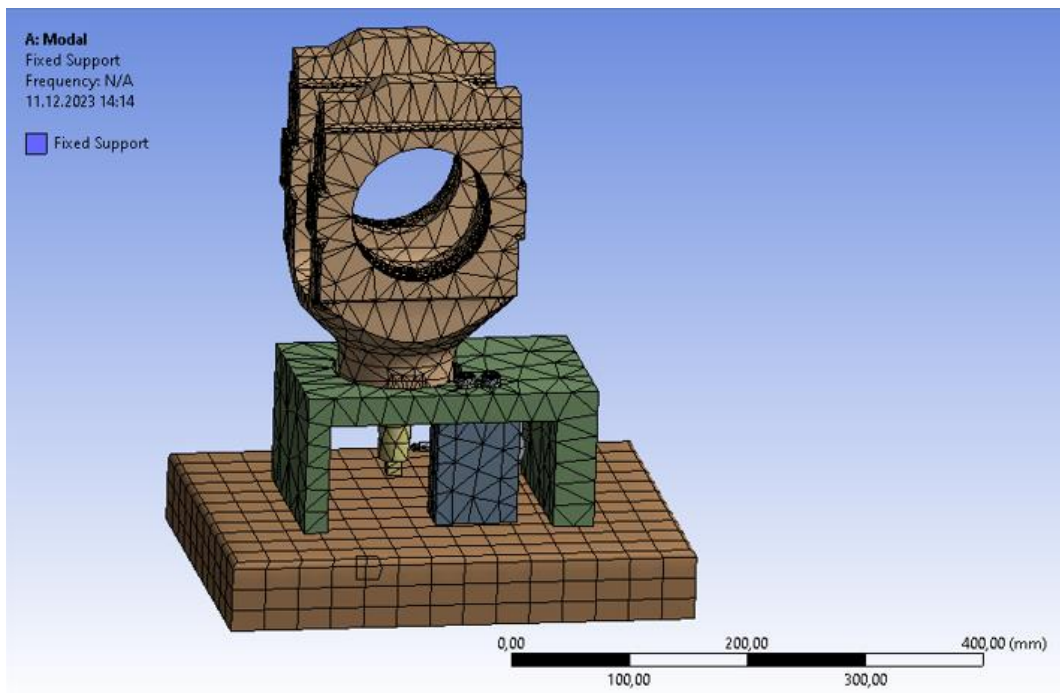


Рисунок 3.4 – Контрольно-вимірювальний пристрій із сіткою

На рисунках 3.5 – 3.10 наведено форми власних коливань досліджуваного вимірювального пристрою.

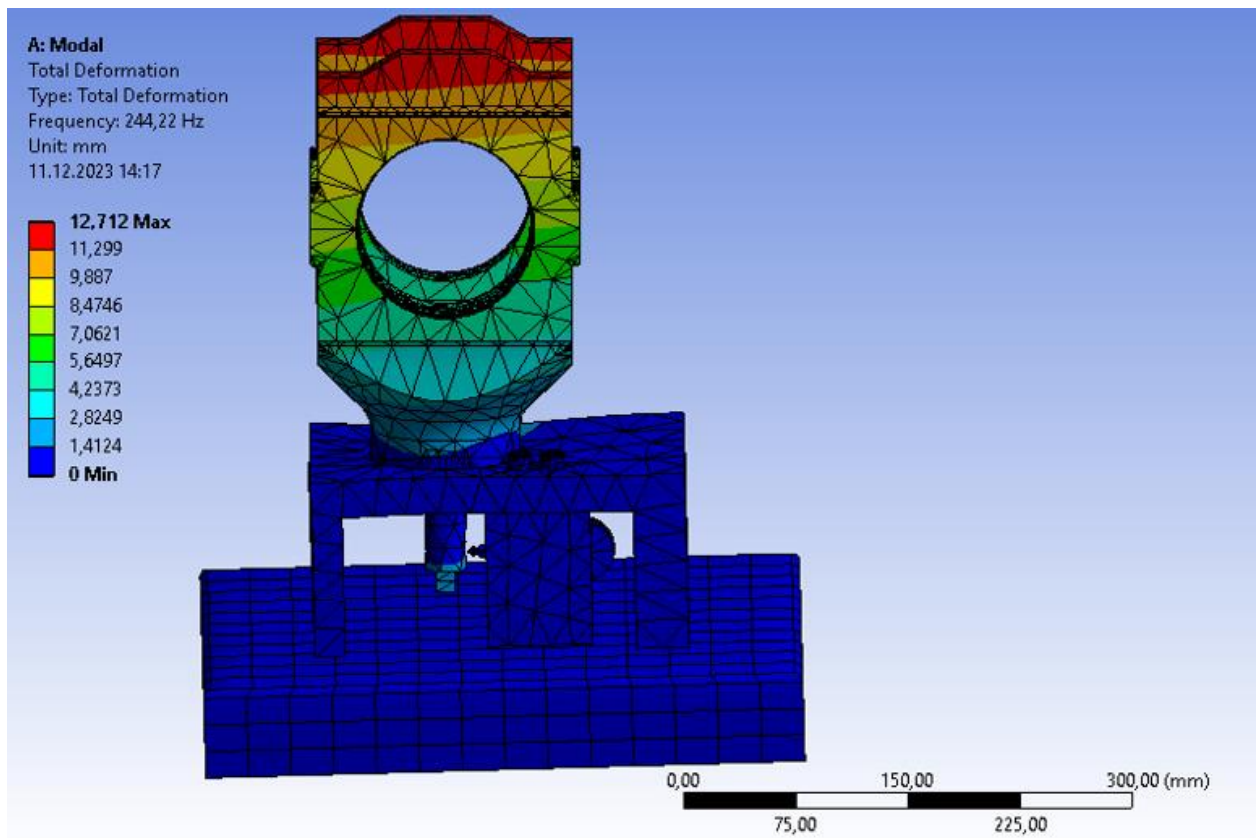


Рисунок 3.5 – Ілюстрація першої власної частоти для КВП

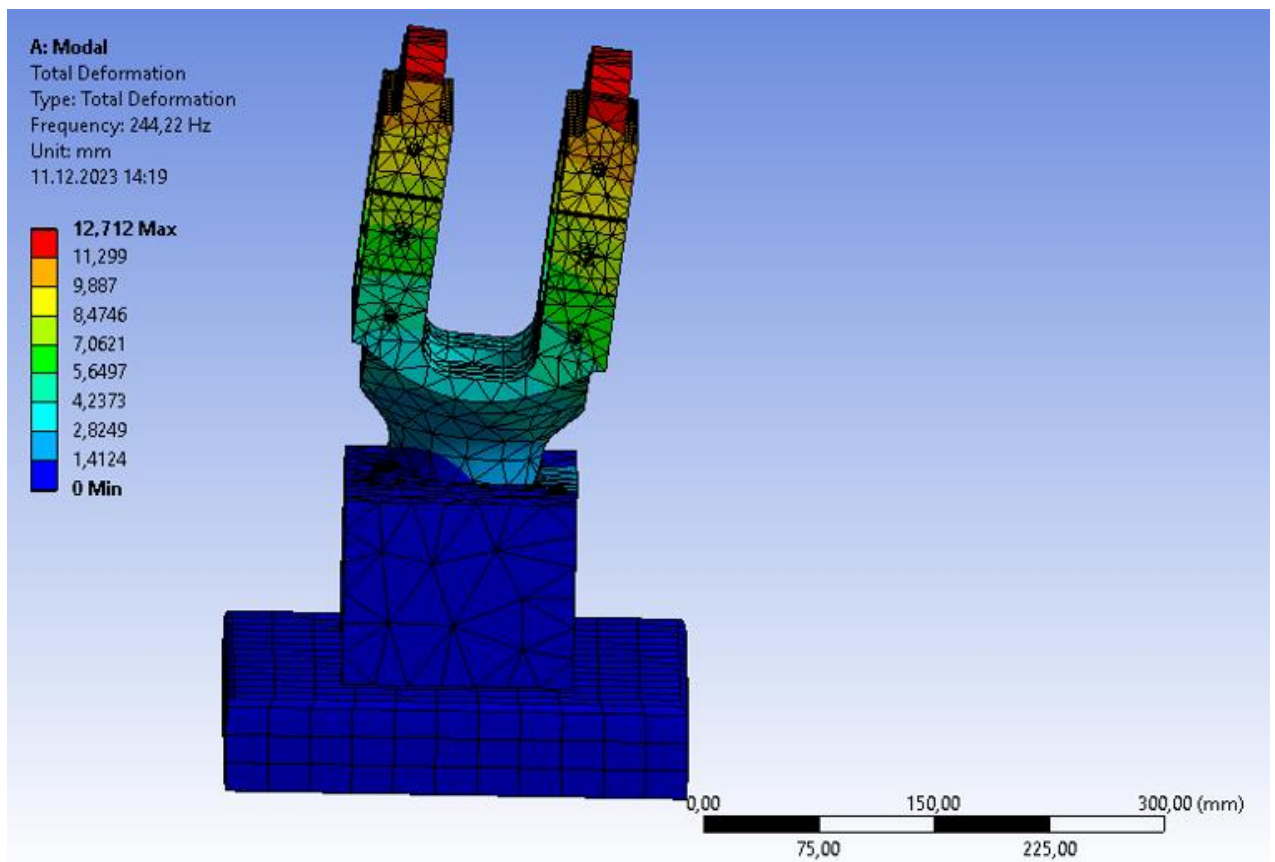


Рисунок 3.6 – Ілюстрація першої власної частоти для КВП

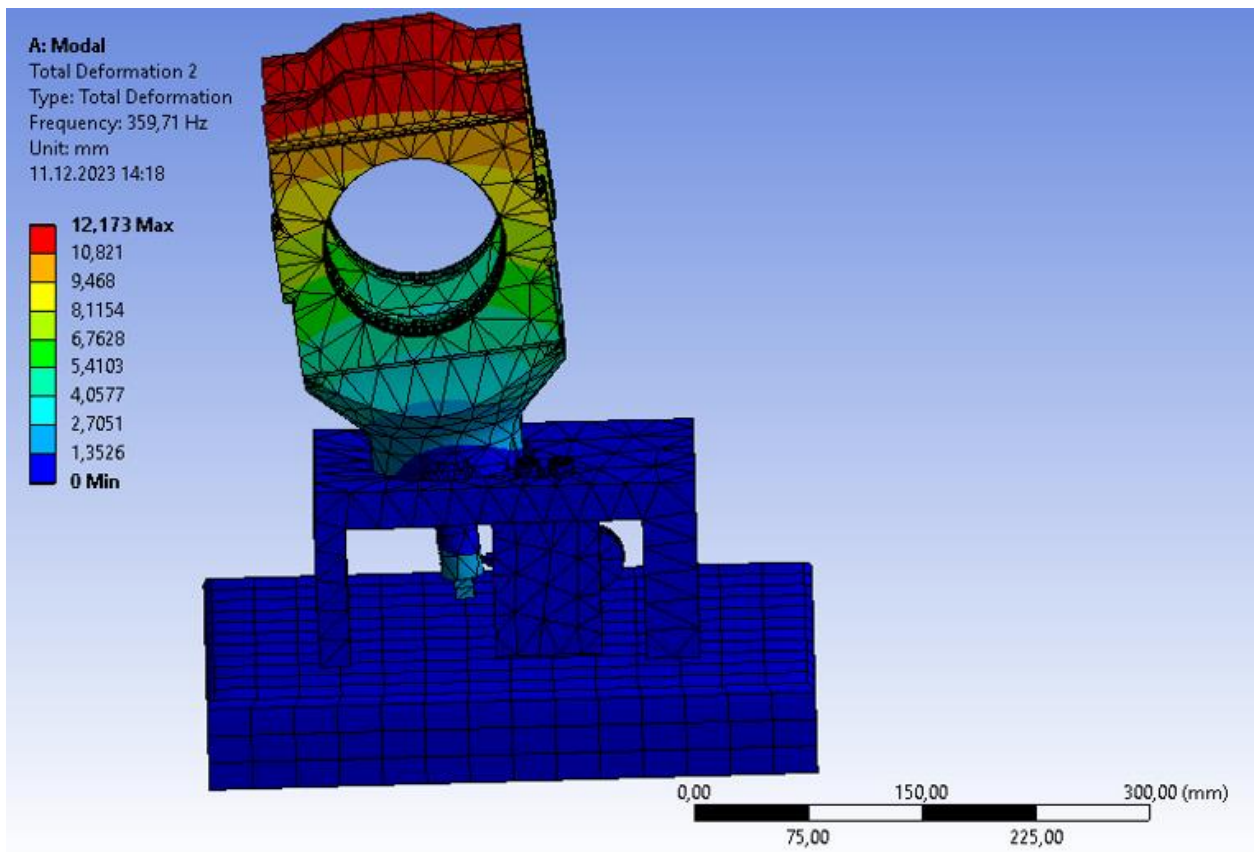


Рисунок 3.7 – Ілюстрація другої власної частоти для КВП

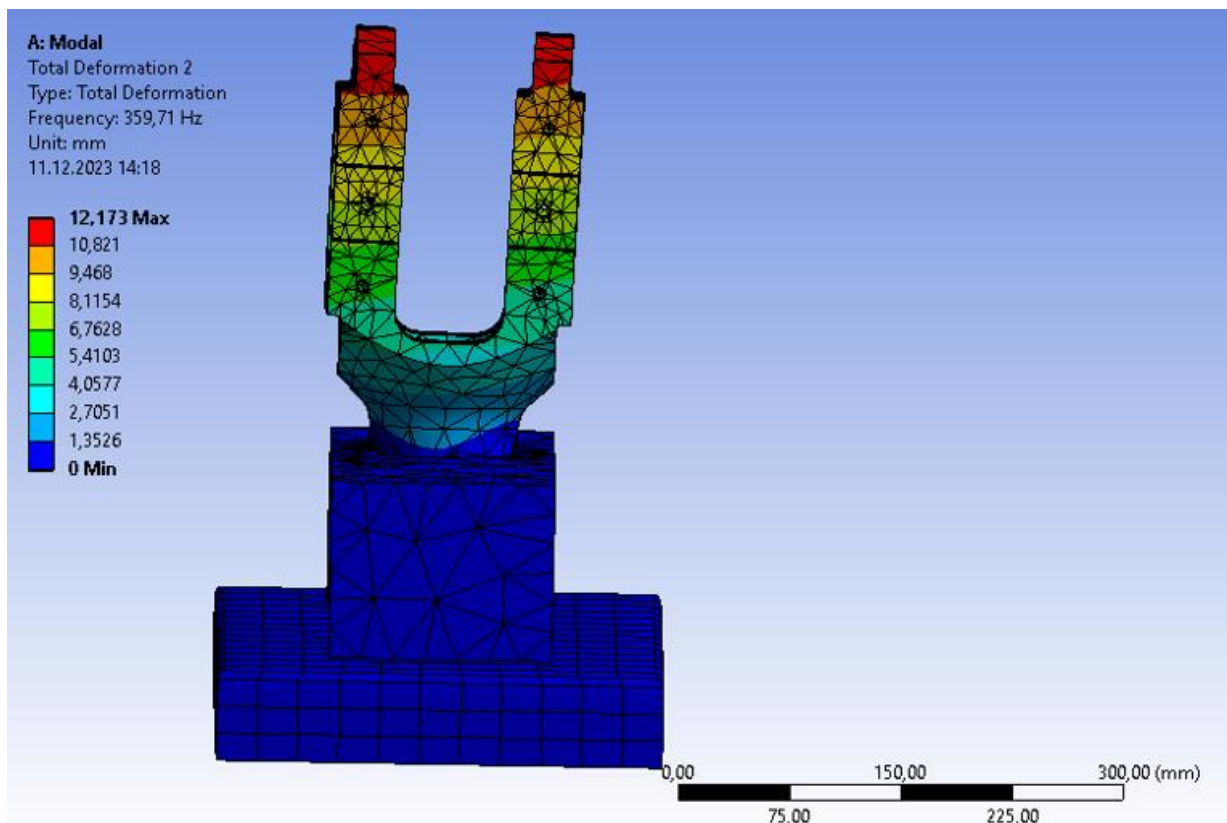


Рисунок 3.8 – Ілюстрація другої власної частоти для КВП

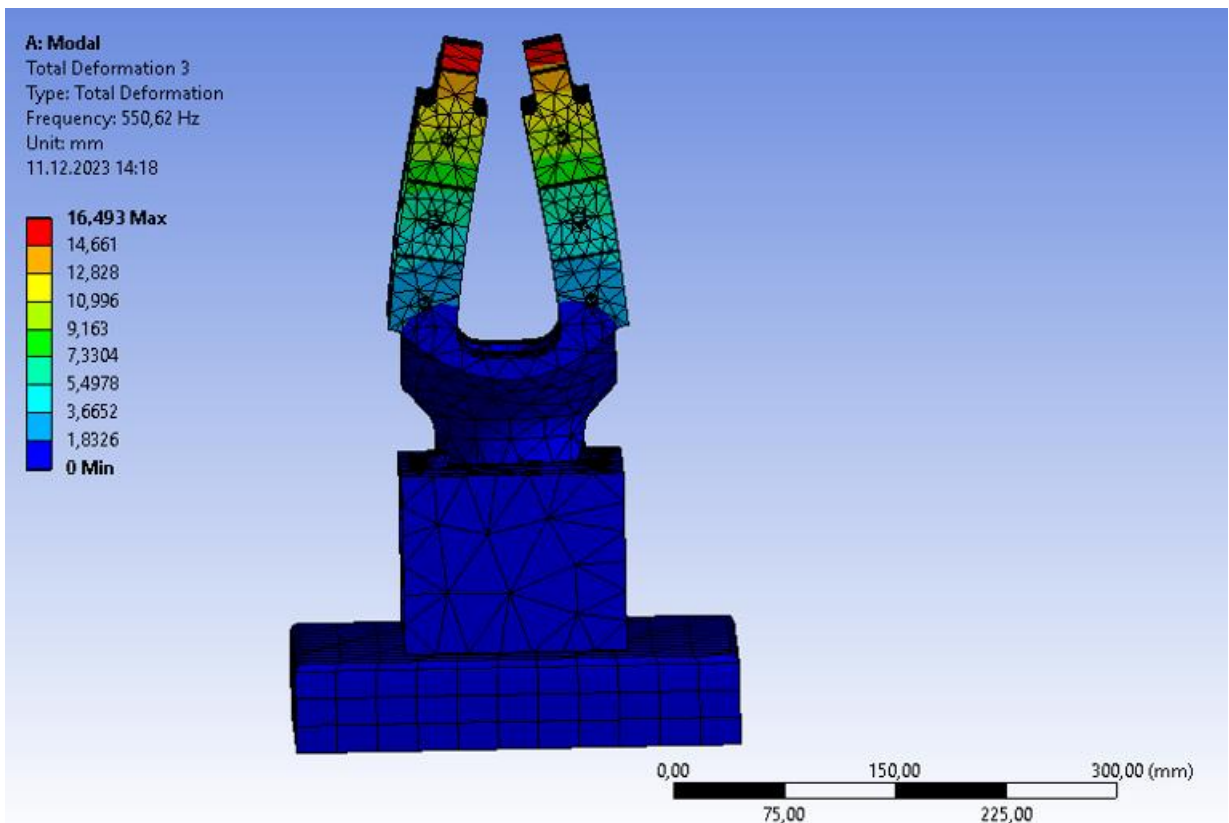


Рисунок 3.9 – Ілюстрація третьої власної частоти для КВП

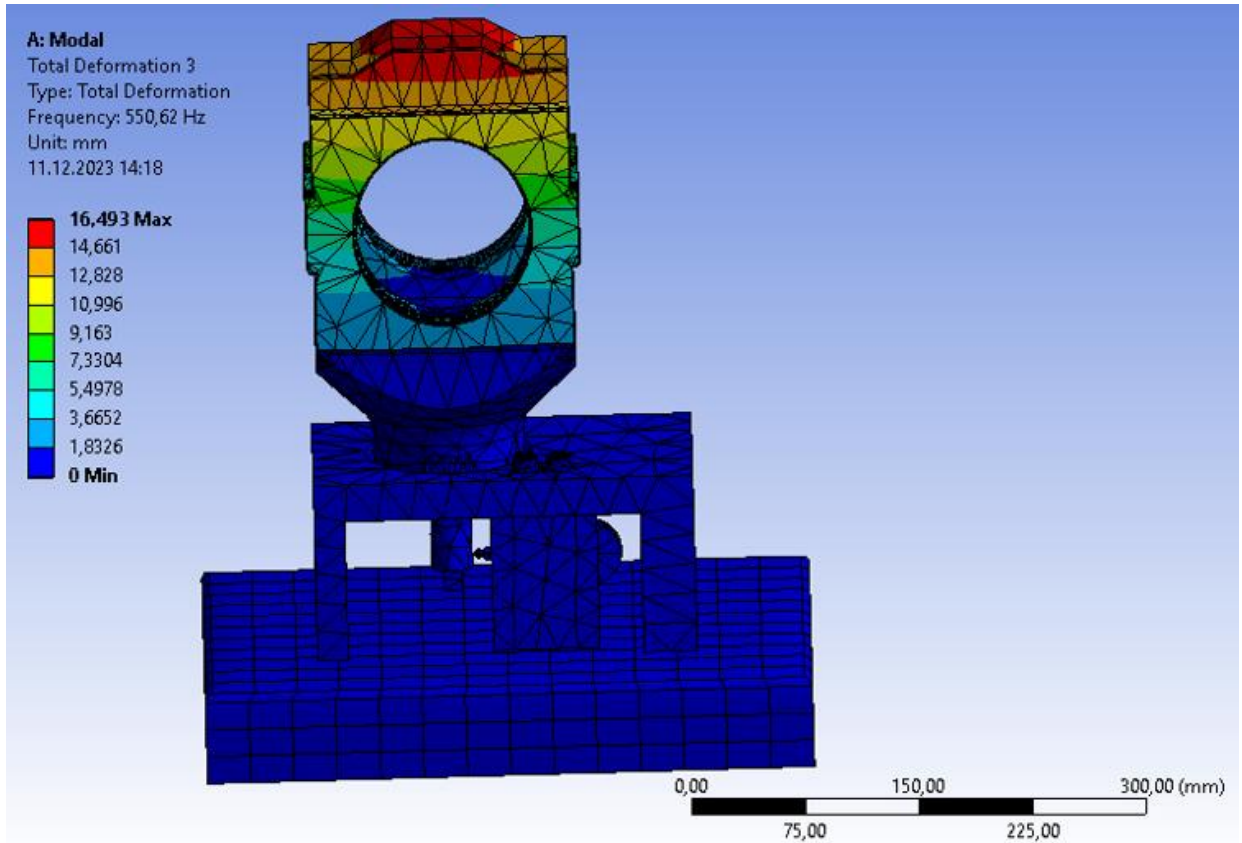


Рисунок 3.10 – Ілюстрація третьої власної частоти для КВП

Аналізуючи отримані результати та величини коливань при яких відбуваються деформації можна зробити висновок, що розроблений КВП буде нормально функціонувати і коливання обладнання в цеху ніяк не вплинуть на точність вимірювання.

3.4 Висновок

На основі методик та аналізу сучасного стану розробок в галузі проєктування та застосування контрольно-вимірювальних пристроїв виконано аналіз контрольної операції, що дозволило перейти до проєктування КВП.

Базуючись на алгоритмах та рекомендаціях, щодо проєктування контрольно-вимірювальних пристроїв, сконструйовано КВП для контролю відхилення від перпендикулярності торця відносно бази А (внутрішньої різьбової поверхні), створено його 3D-модель для подальшого аналізу та досліджень.

Проведено модальний аналіз в програмному середовищі Ansys Workbench. Було виявлено моди коливань, що дозволить попередити появу резонансу та встановлено, що граничні частоти роботи обладнання в цеху не досягнуть до першої власної частоти, тому розроблений контрольно-вимірювальний пристрій можна використовувати в механообробних цехах.

ВИСНОВКИ

Під час роботи над магістерською роботою було виконано обсяг робіт:

- при аналізі службового призначення були відображені основні технічні характеристики і призначення машини. Був проведений аналіз призначення всіх поверхонь деталі та виконуваних ними функцій;

- проведено аналіз технологічності конструкції;

- при аналізі технічних вимог описані властивості матеріалу деталі, а також були проаналізовані вимоги, пропоновані при виготовленні деталі конструктором, їх відповідність загальноприйнятим стандартам;

- був визначений тип виробництва – середньосерійний;

Методом отримання заготовки було обрано штампування на КГШП, оскільки даний метод є більш економічним ніж вільне кування на молотах яке застосовувалося в базовому технологічному процесі.

Для однієї з найбільш точних поверхонь (внутрішня циліндрична поверхня Ø115H7) було розраховано припуски аналітичним способом за допомогою методу професора Кована.

Під час виконання роботи було проаналізовано існуючий технологічний процес виготовлення деталі та внесено зміни для його вдосконалення, а саме деякі операції були об'єднані у комплексні завдяки заміні універсального устаткування на обладнання з ЧПК.

Спроектований спеціальний верстатний пристрій для токарної із ЧПК операції і до цієї ж операції розроблена карта операційного налагодження.

Для контролю перпендикулярності було розроблено контрольно-вимірювальний пристрій, який забезпечує достатню точність контролю.

У розділі «науково-дослідна частина» розглянуті питання проектування контрольно-вимірювального пристрою для ефективного контролю перпендикулярності торця корпусу до осі різьбового отвору. Визначені власні частоти коливань зпроектованого контрольно-вимірювального пристрою та

встановлено, що при даній сфері застосування резонанс не виникне та встановлено, що динамічна жорсткість є достатньою.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. **Євтухов, В. Г.** Методичні вказівки до кваліфікаційної роботи бакалаврів для студентів спеціальності 6.05050201 «Технології машинобудування» / укладач В.Г. Євтухов. – Суми : Сумський державний університет, 2017. – 44 с.
2. **Горбацевич, А. Ф.** Курсовое проектирование по технологии машиностроения: учеб. пос. [Текст] / А. Ф. Горбацевич, В. А. Шкред. — 4-е изд., перераб. и доп. — Минск : Высшая школа, 1983. — 256 с.
3. **Косилова, А. Г.** Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х т. Т.1 / А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1986. — 656 с.
4. **Косилова, А. Г.** Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х т. Т.2 [Текст] / А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. — 4-е изд., перераб. и доп. —М.: Машиностроение, 1986. — 496 с.
5. **Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резанья для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с ЧПУ. Часть I. Нормативы времени.** – Москва : Экономика, 1990.
6. **Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ выполняемых на универсальных и многоцелевых Изм. станках с ЧПУ, часть II (нормативы режимов резания).** – Москва : Экономика, 1990.
7. **Добриденьов, І. С.** Курсове проектування по предмету «Технологія машинобудування»: Учб. посібник для технікумів за спеціальністю «Обробка металів різанням». - М.: Машинобудування, 1985. 184 с., іл.
8. **Гжиров, Р. И.** Краткий справочник конструктора: Справочник-Л.: Машиностроение, Ленингр. отд - ние, 1983.- 464 с.
9. **ГОСТ 7505-89 Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски.**

10. ГОСТ 24643-81 Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски формы и расположения поверхностей. Числовые значения.

11. **Приходько, В. П.**, Литвин О.В. Проектування оснащення верстатів, роботів і машин: Навч. посіб. – Київ: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2018. – 212 с.

12. ГОСТ 2.109-73 ЕСКД. Основные требования к чертежам

13. **Кушніров, П. В.** Методичні вказівки до практичних занять з курсу «Технологічна оснастка» / Укладач П.В. Кушніров. – Суми: Вид-во СумДУ, 2009. – Ч.1. – 52с.

14. **Кушніров, П. В.** Лабораторний практикум з курсу “Технологічна оснастка”/Укладач П.В. Кушніров, А.В. Євтухов, І.М. Дегтярьов. – Суми: Сумський державний університет, 2019.– 158с.

15. **Жидецький, В. Ц.** Основи охорони праці. // В. Ц. Жидецький, В.С. Джигирей, О.В. Мельников — Вид. 2-е, стереотипне. — Львів: Афіша, 2000. — 348 с.

16. ДСТУ ISO 286-2:2002 ДОПУСКИ І ПОСАДКИ ЗА СИСТЕМОЮ ISO. Частина 2. Таблиці квалітетів стандартних допусків і граничних відхилів отворів і валів (ISO 286-2:1988, IDT)

17. Паспорт верстата Haas ST-45.

18. ГОСТ 13363-67 МЕХАНИЗМЫ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ МЕМБРАННЫЕ ГСП. Основные параметры и размеры.

19. **Зубченко, А. С.** Марочник сталей і сплавів. 2-е вид., Доп. і випр./ А. С. Зубченко, М.М. Колосков, Ю.В. Каширський та ін. За заг. ред. А. С. Зубченко – М.: Машинобудування, 2003. – 784 с.

20. Yong Song, Measurement of parallelism and perpendicularity of large-size workpieces by laser alignment method, Yong Song, Qun Hao, Dacheng Li: 2nd International Symposium on Advanced Optical Manufacturing and Testing Technologies, 2005, Xian, China

21. **Xin Bao Zhang**, Selected, peer reviewed papers from the 2012 2nd International Conference on Advanced Materials and Information Technology Processing (AMITP 2012), October 17-18, 2012, Taipei, Taiwan, Xin Bao Zhang, Kun Zhang, Hong Lu

22. Chan-Woo Lee, Song Jun-Yeob, and Tae-Ho Ha, "Method of Measuring Axis Perpendicularity Using Vision," Proc. SPIE 7266, Optomechatronic Technologies 2008, 72661M (November 17, 2008).

23. S. Subba Rao , Luis E. Solis & T. S. Raghunathan (1999) A framework for international quality management research: Development and validation of a measurement instrument, Total Quality Management, 10:7, 1047-1075, DOI: [10.1080/0954412997226](https://doi.org/10.1080/0954412997226)

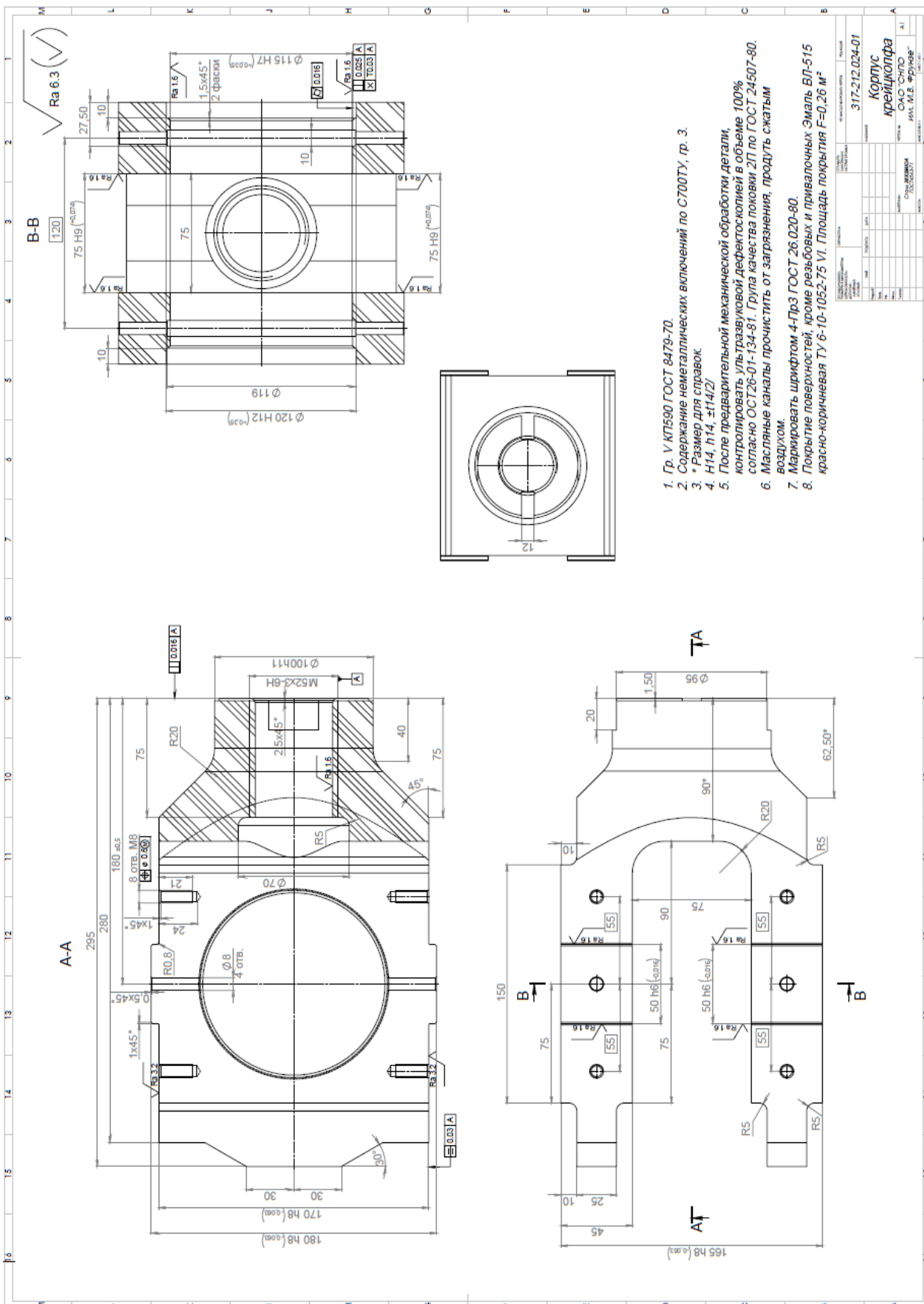
24. Takanori Miyoshi, Yoji Masui, Kazuhiko Terashima, Development of high-stiffness touch sensor and its application to measuring instruments, Control Engineering Practice, Volume 15, Issue 7, 2007, Pages 851-862, ISSN 0967-0661.

25. **Nalbandh A. H.** Fixture design optimization using genetic algorithm-a review / A. H. Nalbandh, C. C. Rajyaguru // Journal of information, knowledge and research in mechanical engineering. – 2013. – Vol. 2. – P. 466–471.

26. C. Sun, C. Li, Y. Liu, Z. Liu, X. Wang i J. Tan, "Метод прогнозування концентричності та перпендикулярності багатоступеневих роторів авіаційних двигунів на основі нейронної мережі PSO-BP" у *IEEE Access*, том. 7, стор. 132271-132278, 2019, doi: [10.1109/ACCESS.2019.2941118](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2941118).

ДОДАТОК А

КРЕСЛЕННЯ ДЕТАЛІ



ДОДАТОК Б

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ ТИПУ ВИРОБНИЦТВА

ВИЗНАЧЕННЯ ТИПУ ВИРОБНИЦТВА

Розрахунок коефіцієнту закріплення операцій $K_{з.о}$

№ операції	Найменування операції	$T_{шт.}$, хв.	m_p	P	$\eta_{з.ф}$	O
1	Фрезерна	25,00	0,07	1	0,07	10,84
2	Свердлильна	10,00	0,03	1	0,03	27,10
3	Фрезерна	5,00	0,01	1	0,01	54,20
4	Розточувальна	20,00	0,06	1	0,06	13,55
5	Розточувальна	25,00	0,07	1	0,07	10,84
6	Токарна	10,00	0,03	1	0,03	27,10
7	Фрезерна	15,00	0,04	1	0,04	18,07
8	Стругальна	50,00	0,14	1	0,14	5,42
9	Довбальна	35,00	0,10	1	0,10	7,74
10	Розточувальна	10,00	0,03	1	0,03	27,10
11	Стругальна	35,00	0,10	1	0,10	7,74
12	Фрезерна	25,00	0,07	1	0,07	10,84
13	Шліфувальна	10,00	0,03	1	0,03	27,10
14	Токарна	25,00	0,07	1	0,07	10,84
15	Розточувальна	10,00	0,03	1	0,03	27,10
16	Шліфувальна	50,00	0,14	1	0,14	5,42
Сума:				16		291,02

$T_{шт.}$ - штучний час, m_p - кількість необхідного обладнання, P - кількість робочих на кожній операції, $\eta_{з.ф}$ - фактичний коефіцієнт завантаження робочого місця, O - кількість операцій, виконуваних на даному робочому місці.

Річний обсяг випуску виробів N_p 500 шт.
 Дійсний річний фонд часу роботи обладнання $F_{д.о}$ 4015 годин
 Нормативний коефіцієнт завантаження обладнання $\eta_{з.н}$ 0,75

Коефіцієнт закріплення операцій $K_{з.о}$ 18,19

ТИП ВИРОБНИЦТВА Середньосерійний

Визначення розміру партії запуску n

Кількість робочих днів на рік k 254 дн.
 Період запуску a 24 дн.

Партія запуску n 48 шт.

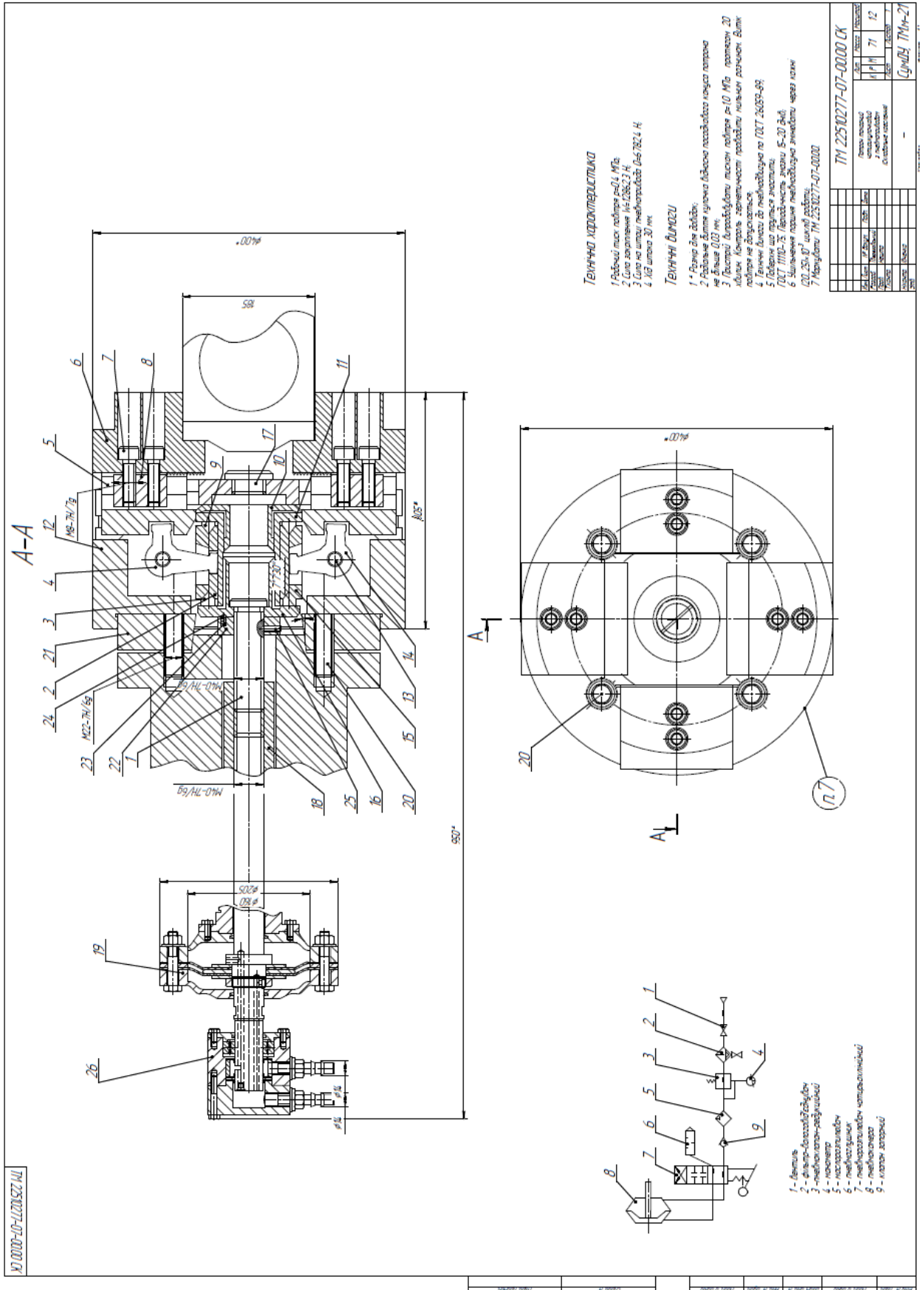
ДОДАТОК Е

СПЕЦИФІКАЦІЯ НА ВЕРСТАТНИЙ ПРИСТРІЙ

Форма Т	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кількі	Замітки
				<u>Документація</u>		
А1			ТМ 22510277-07-00.00	Складальне креслення		
				<u>Складальні одиниці</u>		
		19	ТМ 22510277-07-01.00	Пневмокамера	1	
		26	ТМ 22510277-07-02.00	Пневморозподільвач	1	
				<u>Деталі</u>		
		1	ТМ 22510277-07-00.01	Гвинт	1	
		2	ТМ 22510277-07-00.02	Втулка	1	
		3	ТМ 22510277-07-00.03	Компенсатор	4	
		4	ТМ 22510277-07-00.04	Важіль	2	
		5	ТМ 22510277-07-00.05	Кулачок	4	
		6	ТМ 22510277-07-00.06	Змінні губки	4	
		7	ТМ 22510277-07-00.07	Гвинт	8	
		8	ТМ 22510277-07-00.08	Сухар	4	
		9	ТМ 22510277-07-00.09	Компенсатор	4	
		10	ТМ 22510277-07-00.10	Втулка	1	
		11	ТМ 22510277-07-00.11	Втулка	1	
		12	ТМ 22510277-07-00.12	Корпус	1	
		13	ТМ 22510277-07-00.13	Вісь	4	
		14	ТМ 22510277-07-00.14	Важіль	2	
		15	ТМ 22510277-07-00.15	Втулка	1	
		16	ТМ 22510277-07-00.16	Втулка	1	
		17	ТМ 22510277-07-00.17	Пробка спеціальна	1	
		18	ТМ 22510277-07-00.18	Втулка	1	
		20	ТМ 22510277-07-00.20	Гвинт	4	
				ТМ 22510277-07-00.00.СК		
Изм.	Лист	№ документа	Под.	Дата		
Разраб.		<i>Гверезовський</i>			Лист	Листов
Пров.		<i>Нешта</i>			1	2
Н. бюро					СумДУ, ТМ.М-21	
Н. контр.		<i>Іеченко</i>				
Утв.						

ДОДАТОК Ж

КРЕСЛЕННЯ ВЕРСТАТНОГО ПРИСТРОЮ



ДОДАТОК М

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.

ПРИЧИНИ ВИРОБНИЧОГО ТРАВМАТИЗМУ, МЕТОДИ ЙОГО

АНАЛІЗУ, ПОКАЗНИКИ ТРАВМАТИЗМУ

На будь-яких підприємствах, незалежно від продукції яку вони виготовляють, існують ризики виробничого травматизму. Для уникнення таких ризиків треба зрозуміти і проаналізувати можливі причини цих ризиків та їх виникнення. Для спрощення цих задач, відповідно до [15], прийнято поділяти причини виробничого травматизму і професійної захворюваності на наступні основні групи: організаційні, технічні, санітарно-гігієнічні, економічні, психофізіологічні.

До організаційних причин належать: відсутність або неякісне проведення навчання з питань охорони праці; порушення технологічних регламентів, правил експлуатації устаткування, транспортних засобів, інструменту; відсутність контролю; порушення норм і правил планово-попереджувального ремонту устаткування; недостатній технічний нагляд за небезпечними роботами; невиконання заходів щодо охорони праці; використання устаткування, механізмів та інструменту не за призначенням; порушення вимог інструкцій, правил, норм, стандартів;

До технічних причин відносять: несправність виробничого устаткування, механізмів, інструменту; недосконалість технологічних процесів; конструктивні недоліки устаткування, недосконалість або відсутність захисного огороження, запобіжних пристроїв, засобів сигналізації та блокування.

До санітарно-гігієнічних причин належать: підвищений (вище ГДК) вміст у повітрі робочих зон шкідливих речовин; недостатнє чи нераціональне освітлення; підвищені рівні шуму, вібрації; незадовільні мікрокліматичні умови; наявність різноманітних випромінювань вище допустимих значень; порушення правил особистої гігієни.

До економічних причин належать: нерегулярна виплата зарплати; низький заробіток; неритмічність роботи; прагнення до виконання понаднормової роботи; робота за сумісництвом чи на двох різних підприємствах.

До психофізіологічних причин належать: помилкові дії внаслідок втоми працівника через надмірну важкість і напруженість роботи; хворобливий стан працівника; невідповідність психофізіологічних чи антропометричних даних працівника використовуваній техніці чи виконуваній роботі; незадоволення роботою; монотонність праці; несприятливий психологічний мікроклімат у колективі; необережність.

Заходи, які застосовують для попередження та усунення причин виробничого травматизму і професійної захворюваності поділяють на технічні та організаційні. До технічних відносять заходи з виробничої санітарії та техніки безпеки. Заходи з виробничої санітарії передбачають організаційні, гігієнічні та санітарно-технічні заходи та засоби, які запобігають дії на робітників шкідливих виробничих чинників. Це створення комфортного мікроклімату шляхом влаштування відповідних систем опалення, вентиляції, кондиціонування повітря, теплоізоляції конструкцій будівлі та технологічного устаткування, заміна шкідливих речовин та матеріалів нешкідливими; герметизація шкідливих процесів, зниження рівнів шуму та вібрації, встановлення раціонального освітлення, забезпечення необхідного режиму праці та відпочинку, санітарного та побутового обслуговування.

Єдиної системи класифікації методів аналізу виробничого травматизму не існує, проте В.О. Ачин запропонував поділити ці методи на дві групи: імовірно-статистичні та детерміністичні (див. рисунок 1).

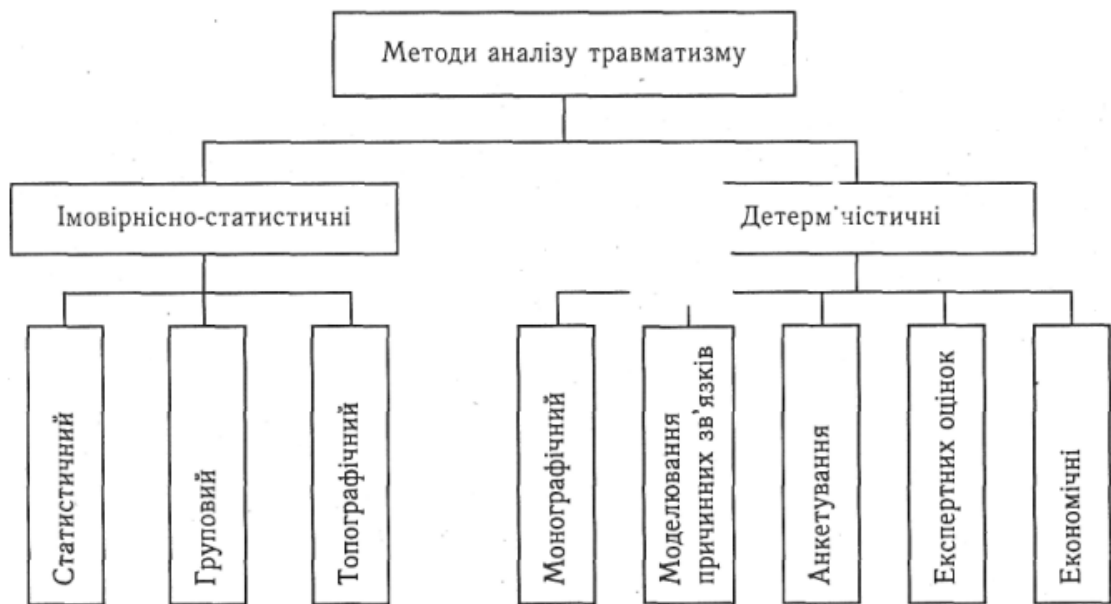


Рисунок 1 – Методи аналізу виробничого травматизму

Імовірно-статистичні методи дозволяють виявити залежність між чинниками системи праці та травматизмом на основі вивчення нещасних випадків, що вже сталися.

Статистичний метод заснований на вивченні травматизму за документами і звітами, актами форми Н-1, журналами реєстрації тощо. Даний метод дозволяє визначити частоту травматизму та його тяжкість на окремих дільницях виробництва, в цехах, підприємстві в цілому, провести порівняння з іншими підприємствами даної галузі, виявити закономірності його зростання чи зниження. Для оцінки рівня травматизму використовують відносні статистичні коефіцієнти (показники): коефіцієнт частоти травматизму та коефіцієнт тяжкості травматизму.

При груповому методі дані про травматизм групують за однорідними ознаками: за професіями, характером роботи, стажем та віком працівників, характером одержаних травм, джерелами травмування, днями тижня та годинами зміни, коли сталося травмування і т. п.

Топографічний метод ґрунтується на тому, що на плані чеху (підприємства) відмічають місця, де сталися нещасні випадки.

Монографічний метод полягає в детальному обстеженні всього комплексу умов праці, технологічного процесу, обладнання робочого місця, прийомів праці, санітарно-гігієнічних умов, засобів колективного та індивідуального захисту. Іншими словами, цей метод полягає в аналізі небезпечних та шкідливих виробничих чинників, притаманних лише тій чи іншій ділянці виробництва, обладнанню, технологічному процесу.

Метод моделювання причинних зв'язків застосовується при аналізі випадків травматизму, які були спричинені дією кількох чинників. Модель причинних зв'язків будується від моменту травмування до подій, які йому передували, встановлюється логічний зв'язок між явищами.

Економічний метод полягає у вивченні та аналізі втрат, що спричинені виробничим травматизмом. Цей метод не дозволяє виявити причини травматизму, тому лише доповнює інші методи.

Метод анкетування. Розробляються анкети для робітників. На підставі анкетних даних (відповідей на запитання) розробляють профілактичні заходи щодо попередження нещасних випадків. Цим методом встановлюють, в основному, причини психофізіологічного характеру.

Метод експертних оцінок базується на експертних висновках (оцінках) умов праці, на виявленні відповідності технологічного устаткування, пристосувань, інструментів, технологічних процесів до вимог стандартів. Для винесення експертних оцінок назначаються експерти із числа фахівців, які тривалий час займалися питаннями охорони праці.

На основі аналізу причин виробничого травматизму можна звести до мінімуму всі фактори, що призводять до травматизму працівників, і як наслідок зменшити кількість випадків травматизму.