

**Міністерство освіти і науки України**

**Луцький національний технічний університет**

(повне найменування вищого навчального закладу)

**Факультет транспорту та механічної інженерії**

(повне найменування факультету)

**Кафедра прикладної механіки та мехатроніки**

(повна найменування кафедри)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «МАГІСТР»**

**КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНІЧНЕ ТА ІНСТРУМЕНТАЛЬНЕ  
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ КОРПУС**

спеціальність 131 Прикладна механіка

(шифр і назва спеціальності)

Освітньо-професійної програми «Прикладна механіка»

(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти  
групи ІМмз-21  
Шуліковський Богдан В'ячеславович

(підпис)

Керівник:  
к.т.н., доцент  
Гулієва Наталія Михайлівна

(підпис)

Кваліфікаційну роботу  
допущено до захисту  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.  
Гарант освітньої програми:  
к.т.н., доцент  
Четвержук Тарас Іванович

(підпис)

Луцьк – 2023 року

## ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет транспорту та механічної інженеріїКафедра прикладної механіки та мехатронікиСтупінь вищої освіти: магістрГалузь знань: 13 Механічна інженеріяСпеціальність: 131 Прикладна механікаОсвітньо-професійна програма: Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

«  »            202   р.*ЗАВДАННЯ*

## НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

*Шуліковський Богдан В'ячеславович*

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи Конструкторсько-технічне та інструментальне забезпечення  
деталі «Корпус»Керівник роботи: Гулієва Наталія Михайлівназатверджені наказом закладу вищої освіти від « 28 » грудня 2023 р. № 986/01-022. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи « 29 » жовтня 2023 р.3. Вихідні дані до роботи Креслення деталі корпус, річна програма випуску 2000шт/рік,  
базовий технологічний процес, інструментальне  
забезпечення4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що потрібно розробити):Вступ. 1 Загальний розділ. 2 Технологічний розділ. 3 Конструкторський розділ.4 Науковий розділ. 5 Охорона праці. Загальні висновки. Список використаної літератури.Додатки.5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:Креслення деталі – 1 лист (ф. А1), КН – 2 листа (ф. А2), складальне кресленняверстатного пристрою – 1 лист (ф. А1), креслення вимірювальної головки – 1 лист(ф. А1), креслення контрольного пристрою – 1 лист (ф. А1), креслення плану цеху 1лист (ф. А3) та спеціального різучого інструмента – 1 лист (ф. А3)

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання « 28 » грудня 2022 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Обґрунтування теми</i>	<i>02.02.2023</i>	
2.	<i>Огляд літератури із досліджуваної проблеми</i>	<i>09.02.2023</i>	
3.	<i>1 Розділ загальний</i>	<i>16.02.2023</i>	
4.	<i>2 Розділ технологічний</i>	<i>02.03.2023</i>	
5.	<i>3 Розділ конструкторський</i>	<i>16.03.2023</i>	
6.	<i>4 Механічна ділянка</i>	<i>30.03.2023</i>	
7.	<i>5 Охорона праці на підприємстві</i>	<i>12.04.2023</i>	
8.	<i>Висновки та пропозиції</i>	<i>19.04.2023</i>	
9.	<i>Формування списку використаних джерел</i>	<i>26.04.2023</i>	
10.	<i>Формування додатків</i>	<i>03.05.2023</i>	
11.	<i>Оформлення ілюстративного матеріалу</i>	<i>17.05.2023</i>	
12.	<i>Нормоконтроль</i>	<i>24.05.2023</i>	
13.	<i>Інструментальна перевірка на академічний плагіат</i>	<i>29.05.2023</i>	
14.	<i>Представлення кваліфікаційної роботи бакалавра до захисту</i>	<i>17.06.2023</i>	

Здобувач вищої освіти \_\_\_\_\_

(підпис)

( Шуліковський Б.В. )

(прізвище, ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_

(підпис)

( Гулієва Н.М. )

(прізвище, ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Шуліковський Б. В. Конструкторсько-технічне та інструментальне забезпечення виготовлення деталі «Корпус». Рукопис.

Кваліфікаційна робота магістра ОПП «Прикладна механіка» спеціальності 131 Прикладна механіка. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2023.

Кваліфікаційна робота магістра складається з вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел, додатків.

У роботі досліджено нові технології та обладнання для оптимізації процесу механічної обробки корпусу. Цей процес є важливим етапом в виробничому процесі при виготовленні різної продукції із металу, пластику, скла тощо.

У дослідженні розглядаються різні методи та підходи для забезпечення якісного та ефективного процесу механічної обробки корпусу, такі як: використання новітньої техніки, розробка нових інструментів і матеріалів для обробки, вдосконалення методів контролю за процесом обробки та інші.

Результатом даного дослідження буде розробка новітніх технологій та обладнання, що дозволять значно поліпшити якість та продуктивність процесу механічної обробки корпусу.

Ключові слова: механічна обробка, технологічний процес, проектування, дільниця, інструмент, обладнання.

## ABSTRACT

Shulikovskiy B. V. Design, technical and instrumental support for the manufacture of the «Casing». Manuscript.

Master's qualification work of OPP «Applied Mechanics» specialty 131 Applied Mechanics. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2023.

The master's thesis consists of an introduction, 5 chapters, general conclusions, a list of used sources, and appendices.

The work examines new technologies and equipment for optimizing the process of mechanical processing of the case. This process is an important stage in the production process in the manufacture of various products from metal, plastic, glass, etc.

The research considers various methods and approaches to ensure a high-quality and efficient process of mechanical processing of the hull, such as: use of the latest technology, development of new tools and materials for processing, improvement of methods of control over the processing process, and others.

The result of this research will be the development of the latest technologies and equipment, which will allow to significantly improve the quality and productivity of the process of mechanical processing of the hull.

Keywords: mechanical processing, technological process, design, site, tool, equipment.

## ВСТУП

**Актуальність теми.** У сучасному світі механізація та автоматизація виготовлення деталей стали необхідними компонентами в успішному виробництві. Розробка та виготовлення корпусів деталей має особливе значення в інженерній та виробничій галузях. Функціональний та якісний корпус забезпечує ефективну роботу механізму або пристрою, а також захищає його від зовнішніх впливів.

**Метою** даної магістерської кваліфікаційної роботи є дослідження та аналіз конструкторсько-технічного та інструментального забезпечення виготовлення деталей «Корпус».

Для досягнення поставленої мети, необхідно реалізувати такі завдання:

1. Систематизувати та провести аналіз конструкторсько-технічного забезпечення.
2. Розробити механічний цех для виробництва деталей «Корпус».
3. Модернізувати оброблювальний центр Heckert C500/04 для забезпечення автоматичного контролю точності деталей.

**Об'єктом дослідження** є оброблювальний центр Heckert C500/04 з індикатором автоматичного контролю моделі БВ4272.

**Предметом дослідження** є деталь «Корпус» призначений для роботи трактора КМЗ-012 ротаційної, фронтальної, навісної косарки.

**Методи дослідження.** Сучасні методи дослідження, включаючи аналіз науково-технічної літератури, вивчення нормативних документів та накопичення емпіричних даних. Проведення експериментальних вимірювань та випробувань дозволить зробити об'єктивні висновки та рекомендації щодо вибору оптимального технологічного процесу та інструментів для виготовлення деталей «Корпус».

**Наукова новизна одержаних результатів.** Модернізація оброблювального центру Heckert C500/04 індикатором автоматичного контролю моделі BV4272 для забезпечення точності механічної обробки деталей.

**Практичне значення одержаних результатів.** Модернізований оброблювальний центр Heckert C500/04 індикатором автоматичного контролю моделі BV4272 забезпечить більш точне і швидке оброблення матеріалів. Використання індикатора автоматичного контролю дозволить уникнути помилок і забезпечити стабільну якість виробництва, що призведе до підвищення продуктивності продукції.

**Особистий внесок магістранта.** У роботі, опублікованій у співавторстві, автору належать модернізація введення модернізованого оброблювального центру Heckert C500/04, що не лише підвищить ефективність та якість виробництва, але й стане основним елементом для досягнення конкурентних переваг на ринку, а модернізоване обладнання та автоматизований контроль дозволяють швидко переключатися між різними завданнями та типами виробів. Це робить виробництво більш гнучким та пристосованим до змін потреб ринку.

**Апробація результатів роботи** виконана на Modern vision of implementing innovations in scientific studies: collection of scientific papers «SCIENTIA» with Proceedings of the II International Scientific and Theoretical Conference, October 20, 2023. Sofia.

**Публікації.** За результатами роботи на II International Scientific and Theoretical Conference, October 20, 2023. Sofia, Republic of Bulgaria опублікована 1 теза.

## РОЗДІЛ 1

### ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

#### 1.1 Показники точності механічної обробки деталі

Кожен виріб має свою функцію, виконуючи яку. Під службовим призначенням деталі розуміється чітко сформульована задача, для вирішення якої ця деталь призначена.

У машинобудівній продукції широко поширені корпуси, які використовуються для складання окремих деталей, механізмів і агрегатів. Ці корпуси є незамінними елементами машинних конструкцій, оскільки вони забезпечують точне розташування встановлених деталей та складальних одиниць як в статичному положенні під час експлуатації виробу. Основне призначення корпусних деталей в забезпеченні стійкості й надійності функціонування всієї машини або механізму в цілому.

Крім того, корпуси мають ще й інші важливі функції. Вони слугують для захисту внутрішніх компонентів від зовнішнього середовища, таких як волога, пил або інші деструктивні фактори. Крім того, корпус може виконувати роль захисту для операторів, які працюють з машинами, шлях до зменшення ризиків травматизму. Корпуси також можуть мати вбудовані системи охолодження або вентиляції, які допомагають зберігати оптимальну температуру внутрішніх компонентів і запобігають перегріву.

Оскільки корпуси виконують таку важливу функцію у машинобудуванні, вони повинні бути дуже добре спроектованими і відповідати всім необхідним вимогам до міцності, стійкості та точності взаємного розташування компонентів. Крім того, їх матеріал повинен бути вибраний правильно, щоб забезпечити оптимальні властивості, такі як міцність, стійкість до корозії і довговічність.

У процесі розробки корпусів велику роль відіграють сучасні технології, такі як 3D-моделювання та симуляція, які допомагають виробникам оптимізувати форму та розміри корпусів, забезпечуючи їхню ефективність і ергономіку.

У підсумку, корпуси є важливим елементом будь-якого машинного виробу. Вони забезпечують стабільність та функціональність конструкції, а також її захист і безпеку. Враховуючи велике значення корпусів, їх розробка і виготовлення потребують високої якості проектування та використання передових технологій, щоб забезпечити оптимальні параметри та властивості.

## 1.2 Технічні вимоги до виготовлення корпусних деталей

Залежно від складності та способу виготовлення, до корпусних деталей пред'являються різні технічні вимоги, які описують різні показники геометричної точності:

1. Точність геометричної форми поверхонь плоских. Цей параметр визначається допустимим відхиленням поверхні від прямолінійності на певній довжині та допустимим зміщенням поверхні від площинності в рамках її габаритних розмірів. Зазвичай, для поверхонь до 500 мм відхилення становить 0,01–0,07 мм, а у відповідальних корпусних деталях – 0,002–0,01 мм.

2. Точність відстані між двома площинами паралельними. Цей показник характеризує максимальне допустиме зміщення паралельних поверхонь одна відносно іншої. Для більшості деталей ця відстань лежить в межах 0,02–0,5 мм, для корпусних деталей – 0,005–0,01 мм.

3. Точність повороту відносного плоских базуючих поверхонь. Цей параметр визначає максимальне допустиме відхилення однієї поверхні від перпендикулярності або паралельності до іншої поверхні. Звичайно, граничні відхилення від паралельності або перпендикулярності становлять 0,015–0,1 мм на 200 мм довжини.

Ці вимоги до геометричної точності деталей корпусних є важливими для забезпечення правильного функціонування та збереження відповідності вимогам специфікацій проекту. Виконання цих вимог дозволить досягти надійності та найвищої якості виробів.

Деталь, яка обрана для магістерської кваліфікаційної роботи, не є складною для виготовлення; механічно оброблюються плоскі поверхні, де свердяться отвори для кріплення. До цих отворів не ставляться високі вимоги щодо точності. При необхідності виготовлення точних отворів зазвичай використовують спеціальний верстатний пристрій.

### 1.3 Висновки та постановка задачі на дослідження

Метою кваліфікаційної роботи магістра є дослідження та аналіз конструкторсько-технічного та інструментального забезпечення виготовлення деталі корпусу.

Задачі дослідження:

1. Систематизувати та провести аналіз конструкторсько-технічного забезпечення.
2. Розробити механічний цех для виробництва деталей «Корпус».
3. Модернізувати оброблювальний центр Neckert C500/04 для забезпечення автоматичного контролю точності деталей.
6. Розробка пропозицій щодо вдосконалення конструкторсько-технічного та інструментального забезпечення виготовлення деталей корпусу.

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИЧНО-ОРГАНІЗАЦІЙНА ЧАСТИНА

#### 2.1 Службове призначення деталі

Корпус призначений для роботи трактора КМЗ-012 ротаційної, фронтальної, навісної, косарки. Корпус трактора відповідає за передачу потужності з валу трактора на ротори косарки. На рис. 1.1 наведено ескіз деталі «Корпус».

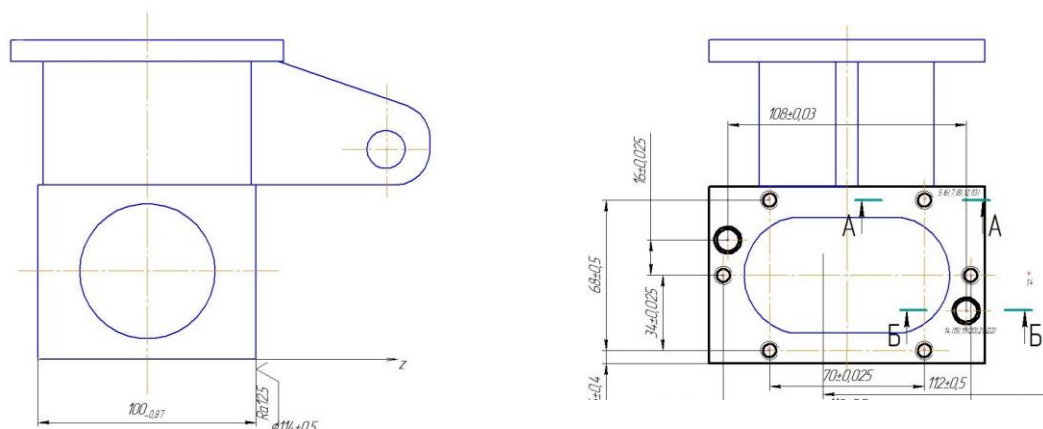


Рисунок 2.1 Ескіз корпусу

Розглянемо детальніше призначення кожної з поверхонь нашої деталі.

Поверхні з кріпильними отворами 1 призначені для кріплення корпусу з обох сторін. Поверхні з кріпильними отворами 2 призначені для кріплення запобіжної муфти, через яку виходить конічна шестерня. Ця шестерня, в свою чергу, передає обертання на вали-шестерні, які монтуються в корпусі. Від валів-шестерні передача обертання проходить до роторів косарки. Отвір 3 служить для навішування роторної косарки на підвіску трактора Т-12.

Поверхні з кріпильними отворами 4 призначені для кріплення кришки. Кришку можна легко зняти в разі будь-якої поломки.

Так як технічні вимоги та норми точності машини відображають її функціональне призначення, за технологічністю, яка розробляється в

технологічному процесі виробництва, необхідно глибоко розуміти значення цих вимог та якості виготовлення деталі.

Матеріал виготовленої деталі – ливарна сталь 35Л (ДСТУ 8781-2018) [1]. Цей матеріал широко застосовується для виготовлення різних деталей, які працюють під середніми статичними і динамічними навантаженнями. Хімічні і механічні властивості цього матеріалу можна знайти у таблицях 2.1 та 2.2.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сталі 35Л (ДСТУ 8781-2018)

C, %	Mn, %	Si, %	P (% не більше)	S (% не більше)
0,32 - 0,4	0,45 - 0,9	0,2 - 0,52	до 0,06	до 0,06

Таблиця 2.2 – Механічні властивості сталі 35Л (ДСТУ 8781-2018)

Межа плинності, $\sigma_T$ , мПа	Тимчасовий опір, $\sigma_s$ , мПа	Відносне видовження, $\delta$ , %	Відносне звуження $\psi$ , %	Ударна в'язкість, $KCU$ , кДж/м <sup>2</sup>
275	491	15	25	343

## 2.2 Методики визначення жорсткості

Величина сили різання не є постійною та залежить від методу обробки матеріалу. Зміна сили різання впливає на пружні деформації. Тому при обробці матеріалу важливо враховувати ці фактори, оскільки пружні деформації та змінні величини можуть впливати на точність обробки. На похибку обробки особливо впливають пружні деформації технологічного процесу. Відомо, що такі похибки можуть сягати 20-80 % від загальної похибки [2].

Для дослідження впливу сил різання на обробку матеріалу і вимірювання деформації можна застосовувати різні методи. Один з таких методів – статичний метод, при якому на непрацюючому верстаті зосереджується навантаження елементів технічного процесу, а потім вимірюються деформації.

Інший метод – виробничий метод, який застосовується для обробки заготовок. Під час роботи зі заготовками вимірюються деформації та встановлюється залежність між силою різання і пружними деформаціями.

Крім того, для вивчення впливу сил різання можна використовувати динамічний метод, який включає періодичні навантаження. Цей метод дозволяє виміряти деформації при різних силах різання і встановити залежність між ними.

Існує також метод перехідного точіння, який базується на обробці заготовок ексцентриком, метод «двох оправок» та інші методи, що можуть бути застосовані для вивчення впливу сил різання на обробку матеріалу.

Загальні висновки з цих досліджень допоможуть удосконалити технологічні процеси обробки і забезпечити їх більшу точність та ефективність.

Один з методів визначення жорсткості – статичний метод, включає наступний підхід: навантажуюмо вузли верстата силою за допомогою спеціального обладнання та відтворюємо силу різання, після чого вимірюємо зміщення деяких вузлів верстата [3]. Зміщення вузлів вимірюється в напрямку оброблюваної поверхні деталі. Ці переміщення мають значний вплив і визначають похибку обробки, яка є результатом пружної деформації технологічного процесу.

Описуємо принцип переміщення одного вузла відносно іншого під впливом сили. Коли навантаження на елементи системи зростає, їх деформація також зростає. Величину деформації визначаємо приладом, який встановлений проти точки навантаження сили  $P$  у напрямку її руху.

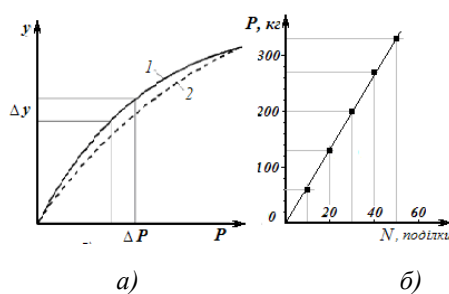


Рисунок 2.2 Визначення жорсткості статичним методом

Ми відпрацьовуємо отримані дані, відображаючи їх на графіку у вигляді точок, щоб побудувати навантажувальну криву параметрів жорсткості вузла. Після цього, зменшуючи навантаження, ми будемо розвантажувальну криву (рис. 2.2а). Утворюються значення площі петлі гістерезису, яка включає роботу, силу тертя та контактні деформації й т. д.

Статичний метод визначення жорсткості верстатів є дуже складним процесом, а жорсткість характеризує в процесі роботи верстатного пристрою лише приблизні дані пружних переміщень.

### 2.3 Методика статистичної обробки

Статистична обробка даних – це методологічний підхід, що використовується для аналізу та інтерпретації числових даних. Цей процес включає в себе збір, опис, візуалізацію, аналіз та висновки зі зібраних даних [4].

Основні етапи статистичної обробки даних включають:

1. Збір даних – передбачає збір вихідних даних, як правило, за допомогою досліджень, анкетування, спостережень або досліджень. Збір може бути як суб'єктивним (наприклад, описові дані з анкет), так і об'єктивним (числові дані з досліджень).

2. Опис даних – проводяться статистичні характеристики та описові статистики даних. Це можуть бути, наприклад, середні значення, медіани, дисперсії, графіки та діаграми, які допомагають візуалізувати розподіл даних та виявити особливості.

3. Аналіз даних – включає в себе застосування статистичних методів для встановлення взаємозв'язків та залежностями між змінними в даних. Це можуть бути кореляційний аналіз, аналіз регресії, т-тестування, аналіз дисперсії і багато інших статистичних методів.

4. Інтерпретація та висновки – робиться висновок на основі аналізу даних. Зроблені висновки у кваліфікаційній роботі магістра повинні бути науково обґрунтованими та мати уявлення про реалізованість результатів роботи. Дана

інформація може допомогти прийняти рішення, надати рекомендації або виконати подальші дослідження.

5. Висновки та звіт – підсумовуються результати аналізу та висновки, які можуть бути перезаписані у формі наукової статті, звіту або презентації. Обґрунтовано розміщена та доступна інформація процесу статистичної обробки є важливим, щоб інші дослідники могли реплікувати, перевірити та використати результати.

Висновок до Розділу 2. В другому розділі розглядаються методично-організаційні питання, такі як: службове призначення деталей корпусних; методики визначення жорсткості; методика статистичної обробки. Вони будуть сприяти правильному та швидкому виконанню кваліфікаційної роботи.

## РОЗДІЛ 3

### ПРОЕКТУВАННЯ МЕХАНІЧНОГО ЦЕХУ

#### 3.1 Уточнення типу виробництва

По фактичній трудомісткості уточнюємо тип виробництва [5]. Визначаємо розрахункову кількість обладнання, необхідну для виконання кожної операції:

$$m_p = \frac{N \cdot T_{ш-к}}{60 \cdot F_{\delta} \cdot \eta_{з.н.}}, \quad (3.1)$$

де  $N$  – програма випуску річна, шт.;

$T_{ш-к}$  – час штучно-калькуляційний;

$F_{\delta}$  – дійсний фонд роботи обладнання річний ( $F_{\delta} = 4015 \text{ год}$ );

$\eta_{з.н.}$  – коефіцієнт нормативний завантаження обладнання.

Заокруглюємо  $m_p$  і отримуємо кількість місць робочих “Р”. Розрахунок проведемо для операції 005, для інших операцій розрахунки зведемо в таблицю 3.1.

$$m_p = \frac{30000 \cdot 2,25}{60 \cdot 4015 \cdot 0,75} = 0,374; \quad P = 1;$$

Розраховуємо коефіцієнт фактичний завантаження обладнання:

$$\eta_{з.ф.} = \frac{m}{P}. \quad (3.2)$$

Якщо  $\eta_{з.ф.} > \eta_{з.н.}$ , необхідно збільшувати “Р”, поки не буде виконана умова

$$\eta_{з.ф.} < \eta_{з.н.}.$$

$$\eta_{з.ф.} = \frac{0,374}{1} = 0,374;$$

Розраховуємо операції, які виконуються на цьому обладнанні:

$$O = \frac{\eta_{з.н.}}{\eta_{з.ф.}}. \quad (3.3)$$

В подальших розрахунках отримане значення “О” не округлюється до цілого числа.

$$O = \frac{0,75}{0,374} = 2,005;$$

Всі розрахунки для інших операцій зводимо в таблицю 3.1, сумуючи в кінці “О” і “Р”.

Таблиця 3.1 – Визначення верстатів кількості та операцій

Операція	$T_{ш-к}$	$m_p$	Р	$\eta_{з.ф.}$	О
1	2	3	4	5	6
005	2,25	0,374	1	0,374	2,005
010	2,27	0,377	1	0,377	1,989
015	3,2	0,531	1	0,531	1,412
020	5,2	0,863	1	0,863	0,869
025	6,15	1,021	2	0,511	1,468
030	6,76	1,122	2	0,561	1,337
035	3,89	0,646	1	0,646	1,161
040	8,25	1,37	2	0,685	1,095
045	4,27	0,709	1	0,709	1,058
050	4,5	0,747	1	0,747	1,004
055	4,25	0,706	1	0,706	1,062

$$\sum O = 2,005 + 1,989 + 1,412 + 0,869 + 1,468 + 1,337 + 1,161 + 1,095 + 1,058 + 1,004 + 1,062 = 14,46;$$

$$\sum P = 1 + 1 + 1 + 1 + 2 + 2 + 1 + 2 + 1 + 1 + 1 = 14.$$

Розраховуємо коефіцієнт операції закріплення:

$$K_{з.о.} = \frac{\sum O}{\sum P} = \frac{14,46}{14} = 1,03.$$

Оскільки  $K_{з.о.} = 1,03$ , то умова виконується  $1 \leq K_{з.о.} < 10$ . Приймаємо великосерійне виробництво.

### 3.2 Визначення кількості працівників

За робочими місцями кількість основних працівників визначається за формулою:

$$P_{\text{в}} = M_{\text{р.в.}} \cdot m \cdot K_n, \quad (3.4)$$

де  $M_{\text{р.в.}}$  – кількість місць робітників-верстатників:

$$M_{\text{р.в.}} = \frac{m_n}{K_m}. \quad (3.5)$$

де  $m_n$  – кількість верстатів на ділянці  $m_n = 4$ ;

$K_m$  – коефіцієнт багатостанкового обслуговування. Для багатосерійного виробництва  $K_m = 1,5 \div 1,8$ . Приймаємо  $K_m = 1,7$ .

$$M_{\text{р.в.}} = \frac{4}{1,7} = 2,35 \approx 2.$$

$m = 2$  – число змін роботи обладнання в добу;

$K_n$  – коефіцієнт, що враховує додаткову кількість робітників для заміни:

$$K_n = \frac{\Phi_{\text{н.р.}}}{\Phi_{\text{д.р.}}}, \quad (3.6)$$

$\Phi_{\text{н.р.}} = 2070 \text{ год}$  – номінальний фонд часу річний для працівника;

$\Phi_{\text{д.р.}} = 1820 \text{ год}$  – дійсний фонд часу річний для працівника.

$$K_n = \frac{2070}{1820} = 1,14.$$

Тоді

$$P_{\text{в}} = 2 \cdot 2 \cdot 1,14 = 4,56 \approx 5.$$

Кількість основних працівників не верстатників важко нормуються і, як правило, не визначаються. Тому кількість робітників не верстатників визначають у відсотках від числа верстатників:

– для масового і багатосерійного виробництва –  $1 \div 3\%$ .

$$P_{\text{нев}} = P_{\text{в}} \cdot (1 \div 3\%) = 5 \cdot 2\% = 0,1 \approx 1.$$

Кількість допоміжних робітників дільниці встановлюються за штатним розписом аналогічних виробничих дільниць. Дільниці з невеликою кількістю обладнання, як правило, обслуговуються загально цеховим штатом допоміжних працівників.

### 3.3 Розрахунок виробничої площі

При укрупненому розрахунку виробничої площі дільниці використовують площі, що приходяться на одиницю обладнання, для одного робочого місця або одного працівника [6].

Виробнича площа цеху для виготовлення деталі розраховується за формулою:

$$F_{\text{вир.}} = \sum m_n \cdot F_{\text{вер.д.}} \quad (3.7)$$

де  $m_n$  – кількість однотипного обладнання в цеху;

$F_{\text{вер.д.}}$  – питома площа для одного верстату.

Розрахунок виробничої площі дільниці зведемо у таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Розрахунок виробничої площі дільниці

Назва операції	Обладнання	Габаритні розміри, мм	Кількість обладнання на дільниці	Питома виробнича площа, м <sup>2</sup>	Загальна питома площа, м <sup>2</sup>
Комбінована	Heckert C500/04	6000×3750	3	25	75

Загальна кількість обладнання – 3.

Загальна питома площа:  $F_{\text{вир.}} = 75 \text{ м}^2$ .

### 3.4 Основні техніко-економічні показники цеху

Основні техніко-економічні показники зведемо у таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 – Основні техніко-економічні показники цеху

Найменування показників і одиниці вимірювань	По дільниці
Загальні показники (основні дані)	
1. Найменування виробу	Корпус
2. Річна програма випуску, т	110400
3. Працеемність виготовлення, год	8440
4. Кількість основного обладнання:	
– крупного	3
Всього:	3
5. Тип виробництва	багатосерійне
6. Кількість робітників, працюючих:	
– основних	3
– допоміжних	2
Всього:	5
7. Виробничі площі, м <sup>2</sup> :	
– основного виробництва приміщень	300
Всього:	300
Питомі показники (відносні)	
1. Середній коефіцієнт завантаження обладнання	0,72
2. Питома площа на один основний верстат, м <sup>2</sup> :	
– загальна	25
– виробнича	18
3. Річний випуск на один основний верстат, верстато-год.	3890
4. Річний випуск на одного основного робітника, верстато-год.	1300
5. Питома площа на одного основного робітника, м <sup>2</sup> .	14,26

Висновок до Розділу 3. Важливість і комплексність проектування механічного цеху, в якому визначається оптимальний тип виробництва, кількість необхідних працівників, розраховується ефективна виробнича площа та вивчається техніко-економічна ефективність. Отримані результати дозволяють забезпечити оптимальні умови для виробництва, максимізувати використання ресурсів та досягти ефективності в рамках визначених завдань і цілей проекту. Техніко-економічні показники вказують на надійну основу для успішної реалізації механічного цеху в умовах сучасного виробництва.

## РОЗДІЛ 4

### КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

#### 4.1 Вибір технологічного обладнання

В умовах масової обробки заготовок у великосерійному виробництві, з метою збільшення продуктивності обробки застосовують спеціальні налагоджувальні пристрої (СНП) [7].

Пристосування спроектовано на 005 комбіновану операцію. Деталь базується на призму з упором в торець. Також є силові затиски, які фіксують заготовку на верхній поверхні і 2-х бічних отворах.

Спочатку для силового закріплення верхнього фланця використовуємо жорсткі опори, це може привести до можливого перекосу деталі. Тому для нашого пристосування спроектуємо силовий зажим з самовстановлюючими (плаваючими) опорами, що дозволить нам знизити похибку установки.

Обчислимо, необхідну силу затиску, що забезпечить надійність закріплення заготовки і не допустить зрушення, поворот або вібрацію заготовки при обробці (рис. 3.2).

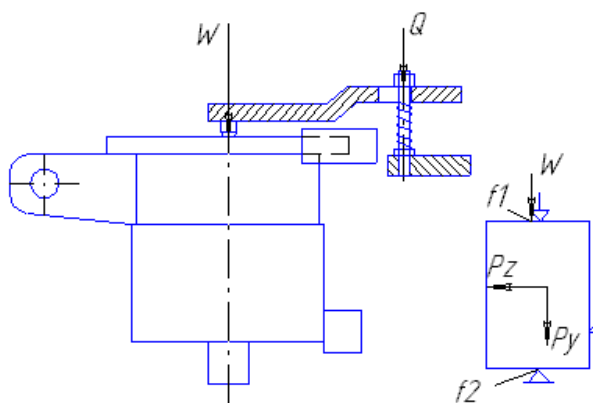


Рисунок 4.1 – Розрахункова схема силового затиску заготовки

Розрахуємо силу затиску за умови відсутності зсуву.

$$W = 0,5 \cdot P_y + \frac{K \cdot P_z}{(f_1 + f_2)}, \quad (4.1)$$

де  $W$  – сила затиску,  $кгс$ ;

$P_y$  – сила різання, що притискає заготовку до опор,  $кгс$ ;

$P_z$  – сила різання, яка впливає на зрушення заготовки в бічному напрямі,  $кгс$ ;

$f_1, f_2$  – коефіцієнти тертя,  $f_1 = f_2 = 0,1$ ;

$K$  – коефіцієнт запасу для забезпечення надійності закріплення заготовки:

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \quad (4.2)$$

де  $K_0 = 1,5$  – коефіцієнт гарантованого запасу;

$K_1 = 1,15$  – коефіцієнт при збільшенні сил різання в результаті затуплення інструменту;

$K_2 = 1,2$  – коефіцієнт, який враховує зміну величини припуску заготовки;

$K_3 = 1$  – коефіцієнт, який враховує зміну сил закріплення в залежності від типу затискного пристрою;

$K_4 = 1$  – коефіцієнт, який враховує ергономічність;

$K_5 = 1,5$  – коефіцієнт, який враховує прокручувальні моменти.

$$K = 1,5 \cdot 1,15 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5 = 3,105.$$

Оскільки при вертикально-фрезерній обробці за розрахунками виходять найбільші режими різання, то максимальна сила затиску необхідна при фрезеруванні. Її і розрахуємо.

$$W = 0,5 \cdot 90,5 + \frac{3,1 \cdot 260}{(0,1 + 0,1)} = 4075 \text{кгс}.$$

Розрахуємо гвинтовий механізм.

$$W = Q \cdot \frac{l}{r_{cp} \cdot \operatorname{tg} \alpha} \quad (4.3)$$

$r_{cp}$  – радіус різьблення середній,  $мм$ ;  $r_{cp} = 8 \text{ мм}$ ;

$l$  – довжина рукоятки,  $мм$ ;  $l = 200 \text{ мм}$ ;

$\operatorname{tg} \alpha$  – кут підйому різьби;

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{S}{2\pi r_{cp}}, \quad (4.4)$$

де  $S$  – крок різьби,  $S = 1,75$  мм;

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{1,75}{2 \cdot 3,14 \cdot 8} = 0,03^\circ.$$

За таблицею 4 [8] по номінальному діаметру різьби вибираємо довжину рукоятки  $l$  і силу  $Q$ .

$$W = 10 \cdot \frac{190}{8 \cdot 0,03} = 7916 \text{ кгс}.$$

Розрахунки показали, що гвинтовий затиск може забезпечити необхідну силу, яка потрібна для надійного закріплення заготовки.

#### 4.2 Контрольний пристрій

Швидкий розвиток машинобудівної галузі і зростаючі вимоги, що ставляться до точності, якості, шорсткості поверхні і геометричної форми деталей, що з'єднуються, набувають більш широкого застосування у виробництві автоматизації контролю деталей [9].

Впровадження активного контролю деталей на машинобудівних заводах призводить до підвищення якості деталей виготовлення машин, автоматизації технологічних процесів, зменшення трудомісткості і вартості виготовлення деталей, зменшення втрат від браку і скорочення числа контролерів, а також до забезпечення підвищення точності заданих розмірів шляхом компенсації похибок, що викликають пружні деформації технологічних систем «Верстат – пристосування – інструмент – оброблювана деталь» та знос ріжучого інструменту. Складові системи викликають розсіювання розмірів деталей, оброблюваних на металорізальних верстатах. Похибки обробки деталей, що залежать від пружних деформацій технологічних систем, важко компенсувати попереднім налаштуванням верстата, так як вони є випадковими.

Метою є часткове усунення недоліків, що викликається системою, за рахунок забезпеченням верстатів з ЧПК пристроїв автоматичного контролю точності обробки, зокрема, верстат Neckert C500/04 з індикатором контакту моделі BV4272.

Пристосування призначене для контролю розміру  $162,5 \pm 0,2$ . Для цього механізму спроектовано пристрій для безприпускового базування кулькового типу. Безприпускове базування забезпечується за рахунок невеликих натягів кульок 0,01-0,02. Пристрій працює наступним чином: в початковому положенні кульки знаходяться в заглибленнях, які зроблені у втулці. Як тільки притиск починає притискати заготовку, та в свою чергу чинить тиск на сепаратор, в якому вмонтовані кульки, і, за рахунок цього тиску кульки виходять з лунок і випрямляються, що і виключає зазор.

Сумарна похибка контрольного пристрою може бути розрахована за формулою:

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_y + \Delta_n + \Delta_e + \sqrt{\varepsilon_{\delta}^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_n^2 + \varepsilon_e^2 + \varepsilon_m^2} \quad (4.5)$$

де  $\Delta_y$  – систематична складова похибки виготовлення установчих елементів пристосування;

$\Delta_n$  – систематична складова похибки передавальних пристроїв;

$\Delta_e$  – систематична складова похибки виготовлення еталона;

$\varepsilon_{\delta}$  – похибка деталі базування в контрольному пристосуванні;

$\varepsilon_3$  – похибка деталі закріплення в пристосуванні;

$\varepsilon_n$  – випадкова складова похибки передавальних пристроїв;

$\varepsilon_e$  – випадкова складова похибки виготовлення еталона;

$\varepsilon_m$  – похибка методу вимірювання, що викликаються похибками вимірювальних пристроїв.

$$\Delta_{\Sigma} = 0,007 + 0 + 0,005 + \sqrt{0 + 0 + 0 + 0,005^2 + 0,01^2} = 0,023 \text{ мм.}$$

Сумарна похибка не повинна перевищувати допуску контрольованого розміру.

$$\Delta_{\Sigma} \leq \frac{1}{4} T \quad (4.6)$$

$T$  допуск контрольованого параметра;  $T = 0,4\text{мм}$ .

$$0,023\text{мм} \leq 0,1\text{мм},$$

Дана нерівність виконується, отже, контрольне пристосування спроектовано і підібрано для контрольованого параметра правильно.

Контрольний пристрій призначений для перевірки допуску перпендикулярності поверхні отвору з розміром  $7^{+0,1}$  відносно краю ротора  $\varnothing 30$  [10]. Контрольний пристрій складається з корпусу 1, до якого кріпиться стійка 4 гайками 15, яка з'єднана з штативом 5, на якому закріплений індикатор 9. Деталь базується на установочному пальці. Закріплення деталі здійснюється за допомогою пневмокамери 3, в яку через підвід 8 поступає стиснене повітря. Робочий тиск в пневмокамері становить 0,4 МПа. При перевірці допуску перпендикулярності торця деталі відносно осі отвору, деталь обертається за допомогою кулькових радіальних підшипників 19. Відстань від головки індикатора до поверхні, яка контролюється, регулюється гвинтом 12. Ціна поділки індикатора становить 0,001мм. Контрольований параметр не повинен перевищувати 0,02мм.

#### 4.3 Розрахунок спеціального ріжучого інструменту

З метою скорочення часу, який затрачається на виготовлення деталі, доцільно використовувати спеціальні ріжучі інструменти. В якості спеціального інструменту використаємо спеціальне свердло.

Проведемо розрахунок свердла.

1. Визначаємо діаметр свердла. За ДСТУ ISO 494:2018 знаходимо необхідний діаметр свердла. Діаметр свердла повинен бути 5мм [11].

2. Визначаємо режими різання за нормативами:

а) подача на оберт:  $s = 0,10 \div 0,15 \text{ мм / об}$ . Приймаємо  $s = 0,15 \text{ мм / об}$ .

б) швидкість головного руху дорівнює  $V = 15 \text{ м / хв}$ .

3. Сили різання осьове:

$$P_o = 9,81 \cdot C_p \cdot D^x \cdot s^y \cdot K_{MP}; \quad (4.7)$$

За нормативами  $C_p = 68$ ;

$$K_{MP} = \left( \frac{\sigma_s}{750} \right)^{0,75} = \left( \frac{450}{750} \right)^{0,75} = 0,682;$$

$$P_o = 9,81 \cdot 68 \cdot 5 \cdot 0,15^{0,7} \cdot 0,682 = 603 \text{ Н};$$

4. Крутний момент:

$$M_{кр} = 9,81 \cdot C_M \cdot D^z \cdot s^y \cdot K_M; \quad (4.8)$$

За нормативами  $C_M = 0,0345$ ;  $z = 2$ ;  $y = 0,8$ .

$$M_{кр} = 9,81 \cdot 0,0345 \cdot 5^2 \cdot 0,15^{0,8} \cdot 0,682 = 1,3 \text{ Нм} \approx 1300 \text{ кгс} \cdot \text{мм}.$$

5. Визначаємо геометричні і конструктивні параметри частини свердла робочого. За нормативами форма заточки – подвійна. Кут нахилу канавки гвинтової  $\varpi = 30^\circ$ . Між ріжучими кромками кут дорівнює  $2\varphi = 118^\circ$ . Задній кут рівний  $\alpha = 16^\circ$ . Кут нахилу поперечної кромки  $\psi = 50^\circ$ .

6. Зворотня конусність свердла на 100мм довжини частини робочої складає 0,03-0,08мм. Приймаємо зворотню конусність 0,03мм.

7. Ширину стрічки  $f_o$  і висоту затилювання по спинці  $K$  приймаємо за нормативами. В залежності від діаметра свердла:  $f_o = 0,7 \text{ мм}$ ;  $K = 0,2 \text{ мм}$ .

8. Ширина пера:

$$B = 0,58 \cdot D = 0,58 \cdot 5 = 2,9 \text{ мм}.$$

9. Визначаємо номер конуса Морзе хвостовика. Середній діаметр хвостовика конуса визначимо за формулою:

$$d_{cp} = \frac{6 \cdot M_{кр} \cdot \sin \theta}{\mu \cdot P_o \cdot (1 - 0,04 \Delta \theta)}, \quad (4.9)$$

де  $M_{кр} = 1,3 \text{ Нм}$  – момент опору сили різання;

$P_o = 603 \text{ Н}$  – сила різання осьова;

$\mu = 0,096$  – коефіцієнт тертя сталі по сталі;

Кут  $\theta$  для більшості конусів Морзе рівний приблизно  $\theta = 1,5^\circ$ ;  $\sin 1,5^\circ = 0,02618$ ;  $\Delta\theta = 5'$  – відхилення кута конуса.

$$d_{cp} = \frac{6 \cdot 1,3 \cdot 1,5^0}{0,096 \cdot 603 \cdot (1 - 0,2)} = 0,0044 \text{ м} = 4,4 \text{ мм.}$$

По ГОСТ 25557-82 вибираємо конус Морзе 1. Довжину хвостовика приймаємо  $l_x = 59,5 \text{ мм}$ .

10. Геометричні елементи профіля фрези для розточування канавки свердла визначаємо аналітичним способом.

Великий радіус профіля:

$$R_1 = C_R \cdot C_r \cdot C_\phi \cdot D, \quad (4.10)$$

$$\text{де } C_R = \frac{0,026 \cdot 2\varphi \cdot \sqrt[3]{2\varphi}}{\varpi} = \frac{0,026 \cdot 2 \cdot 118 \cdot \sqrt[3]{2 \cdot 118}}{30} = 0,5;$$

$$C_r = \left( \frac{0,14 \cdot D}{d_c} \right)^{0,044} = \left( \frac{0,14 \cdot 5}{4,4} \right)^{0,044} = 0,92 \approx 1;$$

$$C_\phi = \left( \frac{13 \cdot \sqrt{D}}{D_\phi} \right)^{0,9}, \quad (4.11)$$

де  $D_\phi = 13 \cdot \sqrt{D}$ , тому  $C_\phi = 1$ .

Звідси

$$R_1 = 0,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 5 = 2,5 \text{ мм.}$$

Менший радіус профіля:

$$R_2 = C_k \cdot D, \quad (4.12)$$

$$\text{де } C_k = 0,015 \cdot \varpi^{0,75} = 0,015 \cdot 30^{0,75} = 0,192.$$

Звідси

$$R_2 = 0,192 \cdot 5 = 0,96 \text{ мм.}$$

Ширина профіля дорівнює:

$$B = R_1 + R_2 = 2,5 + 0,96 = 3,46 \text{ мм.}$$

Довжину інструмента приймаємо  $L = 100 \text{ мм}$ , а довжину частини робочої свердла –  $l = 18,5 \text{ мм}$ .

Твердий сплав пластини для обробки конструкційної сталі приймаємо марки Т15К6. Для корпусу інструмента приймаємо сталь 40Х ДСТУ 7809:2015 [12]. Радіальне биття робочої частини інструмента відносно осі хвостовика не повинно перевищувати 0,15мм.

#### 4.4 Допуски на технологічні розміри і розрахунок припусків

Визначення допусків на технологічні розміри та розрахунок припусків виконуємо за методикою [13].

Під час розробки технологічних процесів для механічної обробки заготовок слід визначити оптимальні розміри припусків, які гарантуватимуть досягнення встановленої точності та якості оброблюваних поверхонь.

Мінімальний припуск на обробку:

Припуск на сторону при послідовній обробці площини:

$$Z_{imin} = R_{Zi-1} + R_{Ti-1} + e_{i-1} + E_y \quad (4.13)$$

Припуск на дві сторони при паралельній обробці протилежних площини:

$$2Z_{imin} = 2( R_{Zi-1} + R_{Ti-1} + e_{i-1} + E_y ) \quad (4.14)$$

Припуск на діаметр при обробці внутрішніх і зовнішніх поверхонь обертання:

$$2Z_{imin} = 2( R_{Zi-1} + R_{Ti-1} + \sqrt{e_{i-1}^2 + E_y^2} ) \quad (4.15)$$

$R_{Zi-1}$  – висота шорсткості профілю;

$R_{Ti-1}$  – глибина дефектного шару;

$e_{i-1}$  – сумарне значення відхилень просторових;

$E_y$  – похибка установки.

Максимальний припуск на обробку:

$$Z_{i\max} = Z_{i\min} + T_{i-1} - T_i \quad (4.16)$$

$$2Z_{i\max} = 2Z_{i\min} + T_{i-1} - T_i \quad (4.17)$$

Номинальний припуск на обробку:

$$Z_i = Z_{i\min} + T_{i-1} - T_i \quad (4.18)$$

$$2Z_i = 2Z_{i\min} + T_{i-1} - T_i, \quad (4.19)$$

де  $Z_{i\min}$  – мінімальний припуск;

$T_i$  – допуск на перехід

Операційні розміри:

При обробці отвору

$$A_i = A_{i-1} + Z_{i+1} \quad (4.20)$$

При обробці зовнішньої поверхні:

$$A_i = A_{i+1} - Z_{i+1} \quad (4.21)$$

Визначення складових припуску:

$R_{T_{i-1}}$  і  $R_{Z_{i-1}}$  визначаються за таблицями економічної точності. Сумарне значення відхилень просторових:

Для отвору:

$$e = \sqrt{e_{зм}^2 + e_{екс}^2} \quad (4.22)$$

Для зовнішньої поверхні:

$$e = \sqrt{e_{зм}^2 + e_{кр}^2} \quad (4.23)$$

$$e_{чорн} = 0,06 \cdot e_{заг} \quad (4.24)$$

$$e_{чист} = 0,04 \cdot e_{чорн} \quad (4.25)$$

де  $e_{зм}$  і  $e_{екс}$  визначаємо за таблицею [14];

$e_{кр}$  – загальна кривизна.

$$e_{кр} = 0,5 \cdot e_0 \cdot D \quad (4.26)$$

$e_0$  – питома кривизна в мкм/мм;

$D$  – діаметр;

Після термообробки  $e_0 = 0,8$  мкм/мм;

Похибка установки:

$$E_y = \sqrt{E_0^2 + E_3^2 + E_n^2} \quad (4.27)$$

де  $E_0$  – похибка базування;

$E_3$  – похибка закріплення;

$E_n$  – похибка вивірки пристосування.

Результати розрахунків наведені в таблицях.

Всі розрахунки параметрів припусків зводимо в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 – Результати розрахунку припусків на поверхню корпусу 125,3<sub>-0,4</sub>

Технологічні переходи поверхні 125,3 <sub>-0,4</sub>	Елементи припуску, мкм			Припуск 2Z <sub>min</sub> , мкм	Розмір D <sub>p</sub> , мм	Допуск на розмір D, мкм	Допустимий розмір, мм		Допустиме значення припусків, мкм	
	Rz	h	ρ				D <sub>min</sub>	D <sub>max</sub>	2Z <sub>maxII</sub> P	2Z <sub>minII</sub> P
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Заготовка	200	300	360	-	127,92	1800	126,1	126,9	-	-
1 перехід	50	50	38	2780	125,14	600	124,5	125,1	1600	2800
2 перехід	50	50	3	536	124,60	400	124,2	124,6	300	500
Загальний припуск									1900	3300

#### 4.5 Розрахунок режимів різання, вибір обладнання

Режими різання виконуємо за методикою [15]. Вихідними даними для режимів різання є: матеріал оброблюваної заготовки і його фізико-механічні властивості; розміри і геометрична форма оброблюваної поверхні; технічні умови на виготовлення деталі; матеріал, типорозмір і геометричні розміри ріжучої частини інструменту; тип і характеристика обладнання.

Режими різання істотно впливають на якість і точність оброблюваної поверхні, продуктивність і вартість обробки.

Всі операції виконуються на обробному центрі Neckert C500/04.

Розглянемо детальніше приклад режимів різання окремих переходів. Параметри різання інших переходів зведемо в таблицю 4.5.

Операція 005 Комбінована

У 005 комбінованої операції деталь встановлюється в спеціальне пристосування. Технологічними базами є необроблені поверхні: нижня і бічна поверхні деталі, отвір і фланець.

Перехід 1

Фрезерувати поверхню:

Ріжучий інструмент: Фреза торцева Ø80 T15K6 ДСТУ ISO 240:2015 [16]

Діаметр фрези:  $D=80\text{мм}$ .

Глибина фрезерування:  $t=2\text{мм}$ .

Ширина фрезерування:  $B=80\text{мм}$ .

Подача на зуб:  $S_z=0,2\text{мм}$  на зуб.

Число зубів:  $z=8$ .

За емпіричною формулою розраховується швидкість різання, де:

$T$  – середнє значення стійкості,  $T=50\text{мм}$ ;

$C_v$  – коефіцієнт,  $C_v=332$ ;

$x, y, m, q, u, p$  – показники ступеня,  $x=0,1, y=0,4, m=0,2, q=0,2, u=1, p=0,1$ .

$K_v$  – загальний коефіцієнт швидкості різання, який враховує умови різання і складається з 3-х коефіцієнтів.

$K_{mv}$  – коефіцієнт, який враховує якість оброблюваного матеріалу  $K_r=1, nv=1, \sigma_v=500\text{МПа}$ .

$$K_{mv} = K_r \cdot \left( \frac{750}{\sigma_v} \right)^{nv} \quad (4.28)$$

$K_{mv} = 1,5$ .

$K_{nv}$  – коефіцієнт, який враховує стан поверхні,  $K_{nv}=0,85$ .

$K_{uv}$  – коефіцієнт, який враховує матеріалу інструменту,  $K_{uv}=1$ .

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv} \quad (4.29)$$

$$K_v = 1,275;$$

$$V = \frac{C_v \cdot D^q \cdot K_v}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot z^p} \quad (4.30)$$

$$V = 343,826 \text{ м/хв.}$$

Частота обертання роботи фрези:

$$n = 1000 \cdot \frac{V}{\pi \cdot D} \quad (4.31)$$

$$n = 1,368 \cdot 10^3 \text{ об/хв.}$$

Швидкість руху подачі:

$$S_m = S_z \cdot n \cdot z \quad (4.32)$$

$$S_m = 2,189 \cdot 10^3 \text{ мм/хв.}$$

Сила різання:

$C_p$  – коефіцієнт,  $C_p = 825$ .

$x, y, u, q, w$  – показники ступеня,  $x=1, y=0,75, u=1,1, q=1,3, w=0,2$ .

$K_{mp}$  – поправочний коефіцієнт на якість оброблюваного матеріалу,

$n_2 = 1$ .

$$K_{mp} = \left( \frac{\sigma_v}{750} \right)^{n_2} \quad (4.33)$$

$$K_{mp} = 0,667.$$

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot z \cdot K_{mp}}{D^q \cdot n^w} \quad (4.34)$$

$$P_z = 2,585 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

$$P_h = 0,35 \cdot P_z \quad (4.35)$$

$$P_h = 904,66 \text{ Н.}$$

$$P_v = 0,9 \cdot P_z \quad (4.36)$$

$$P_v = 2,326 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

$$P_y = 0,35 \cdot P_z \quad (4.37)$$

$$P_y = 904,66 \text{ Н.}$$

$$P_x = 0,5 \cdot P_z \quad (4.38)$$

$$P_x = 1,292 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Крутний момент:

$$M = \frac{P_z \cdot D}{2 \cdot 100} \quad (4.39)$$

$$M = 1,034 \cdot 10^3 \text{ Нм.}$$

Потужність різання:

$$N = P_z \cdot \frac{V}{1020 \cdot 60} \quad (4.40)$$

$$N = 14,521 \text{ кВт.}$$

Перехід 3

Свердлити 6 отворів Ø5:

Ріжучий інструмент: Свердло спіральне Ø5 P5M5 ДСТУ ISO 866:2018

[17].

Діаметр свердла:  $D=5\text{мм}$ .

Глибина під час свердління:  $t=2,5\text{мм}$ .

Подача:  $S=0,08\text{мм}$ .

Швидкість різання розраховується за емпіричною формулою, де

$T$  – середнє значення стійкості,  $T=8xv$ ;

$C_v$  – коефіцієнт,  $C_v=7$ .

$x, y, m, q$  – показники ступеня,  $x=1, y=0,7, m=0,2, q=0,4$ .

$K_v$  – загальний поправочний коефіцієнт на швидкість різання, що враховує фактичні умови різання і складається з 3-х коефіцієнтів.

$K_{mv}$  – коефіцієнт, що враховує якість оброблюваного матеріалу  $K_r=1, nv=1, \sigma_v=500 \text{ МПа}$ .

$$K_{mv} = K_r \cdot \left( \frac{750}{\sigma v} \right)^{nv} \quad (4.41)$$

$$K_{mv} = 1,5.$$

$K_{uv}$  – коефіцієнт, що враховує стан поверхні,  $K_{uv}=1$ .

$K_{lv}$  – коефіцієнт, що враховує матеріалу інструменту,  $K_{lv}=1$ .

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{uv} \cdot K_{lv} \quad (4.42)$$

$$K_v = 1,5;$$

Швидкість різання під час свердління:

$$V = \frac{C_v \cdot D^q \cdot K_v}{T^m \cdot S^y} \quad (4.43)$$

$$V = 77,267 \text{ м/хв.}$$

Частота обертання свердла:

$$n = 1000 \cdot \frac{V}{\pi \cdot D} \quad (4.44)$$

$$n = 4,919 \cdot 10^3 \text{ об/хв.}$$

Крутний момент,  $Нм$  і осьова сила,  $Н$ :

$C_p, C_m$  – коефіцієнти,  $C_m=0,345$

$y, q$  – показники ступеня,  $y=0,8, q=2$ .

$K_p = K_{mp}$  – поправочний коефіцієнт на якість оброблюваного матеріалу

$n_2=1$ .

$$K_p = \left( \frac{\sigma v}{750} \right)^{n_2} \quad (4.45)$$

$$K_p = 0,667.$$

$$M_{kp} = 10 \cdot C_m \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p \quad (4.46)$$

$$M_{kp} = 0,762 \text{ Нм.}$$

$$C_p = 68, q=1, y=0,7.$$

$$P_0 = 10 \cdot C_p \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p \quad (4.47)$$

$$P_0 = 386,857 \text{ Н.}$$

Потужність різання, кВт:

$$N = \frac{M_{kp} \cdot n}{9750} \quad (4.48)$$

$$N = 385 \text{ кВт.}$$

Перехід 5

Нарізати різьбу М6-6Н:

Застосування ріжучого інструменту: Мітчик М6-6Н Р6М5 ДСТУ 11148-3:2014 [18].

Діаметр мітчика:  $D=6\text{мм}$ .

Крок різі:  $P=1$ .

Поздовжня подача:  $S=1\text{мм}$ .

Швидкість різання розраховується за формулою, де

$T$  – середнє значення стійкості,  $T=90\text{мм}$ .

$C_v$  – коефіцієнт,  $C_v=64,8$ .

$y, m, q$  – показники ступеня,  $y=0,5, m=0,9, q=0,2$ .

$K_v$  – поправочний коефіцієнт швидкості різання, який враховує умови різання і складається з 3-х коефіцієнтів.

$K_{mv}$  – коефіцієнт, який враховує якість оброблюваного матеріалу  $K_r=1, nv=1, \sigma=500 \text{ МПа}$ .

$$K_{mv} = K_r \cdot \left( \frac{750}{\sigma} \right)^{mv} \quad (4.49)$$

$$K_{mv} = 1,5.$$

$K_{uv}$  – коефіцієнт, який враховує стан поверхні,  $K_{uv}=1$ .

$K_{cv}$  – коефіцієнт, який враховує матеріалу інструменту,  $K_{cv}=1$ .

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{uv} \cdot K_{cv} \quad (4.50)$$

$$K_v = 1,5.$$

Швидкість різання:

$$V = \frac{C_v \cdot D^q \cdot K_v}{T^m \cdot S^y} \quad (4.51)$$

$$V = 14,542 \text{ м/хв};$$

Частота обертів:

$$n = 1000 \cdot \frac{V}{\pi \cdot D} \quad (4.52)$$

$$n = 771,487 \text{ об/хв.}$$

Крутний момент,  $Hm$ :

$C_m$  – коефіцієнти,  $C_m = 0,027$ .

$x, y, q$  – показники ступеня,  $x=1, y=1,5, q=1,4$ .

$K_p = K_{mp}$  – поправочний коефіцієнт на якість оброблюваного матеріалу

$n_2=0,75. K_p = 1,3$ .

$$M_{kp} = 10 \cdot C_m \cdot D^q \cdot P^y \cdot K_p \quad (4.53)$$

$$M_{kp} = 4,312 \text{ Нм.}$$

Потужність різання,  $кВт$ :

$$N = \frac{M_{kp} \cdot n}{975} \quad (4.54)$$

$$N = 3,412 \text{ кВт.}$$

Режими різання операції Вертикально-фрезерної операції 005 наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Режими різання 005 операції

Вид обробки, інструмент	Глибина різання $t$ , мм	Подача $S$ , мм/об	Швидкість різання $V$ , м/хв	Число обертів $n$ , об/хв	Рух подачі $S_{mp}$ , мм/об	Сила різання $P$ , Н			Крутящий момент $M_{kr}$ , Нм	Мощность $N$ , кВт
						$P_x$	$P_y$	$P_z$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1. Фрезерувати поверхню	2	0,2	344	1250	$2,2 \times 10^3$	$1,3 \times 10^3$	905	$2,6 \times 10^3$	$1 \times 10^3$	14,5
2. Центрувати 8	-	0,06	78,5	3000	-	-	-	220,5	0,266	0,217

отворів										
3.Сверлити 6 отворів	-	0,08	77,2	3000	-	-	-	387	0,76	0,385
4. Зенкувати 6 отворів	-	0,08	77,2	3000	-	-	-	387	0,76	0,385
5. Нарізати різь	-	1	14,5	800	-	-	-	-	4,3	3,4
6. Свердли 2 отворів	-	0,15	55,5	2000	-	-	-	$1,2 \times 10^3$	4,5	0,91
7. Зенкувати 2 фаски	-	0,15	55,5	2000	-	-	-	$1,2 \times 10^3$	4,5	0,91
8. Зенкерувати 2	0,4	0,5	157	3000	-	-	-	86,3	1,4	0,7
9. Розгорнути 2 отвори	0,1	0,8	105	3000	-	-	-	429	0,5	0,17

#### 4.6 Нормування технологічного процесу

При серійному виробництві норма штучного часу виражається формулою [19]:

$$T_{шт.к} = \frac{T_{н.з.}}{n} + T_{шт.} \quad (4.55)$$

$$T_{шт} = T_o + T_{доп} + T_{обсл} + T_{відп} \quad (4.56)$$

де  $T_o$  – основний час для обробки деталі, *хв*;

$T_{доп}$  – допоміжний час на обробку операції (час на встановлення й зняття деталі, подачу й відведення інструменту, час на управління верстатом і т.д.), *хв*;

$T_{обсл}$  – час на організаційне і технічне обслуговування місця працівника (час на заміну затупленого інструменту, час на прибирання місця працівника в кінці роботи), *хв*;

$T_{відп}$  – час на особисті потреби й відпочинок, *хв*.

$$T_{відп} = T_{уст} + T_{закр.відкр} + T_{уп} + T_{вим} \quad (4.57)$$

де  $T_{уст}$  – час на встановлення і зняття деталі, *хв*;

$T_{закр.відкр}$  – час для закріплення й відкріплення деталі, *хв*;

$T_{кер}$  – час на прийоми керування, *хв*;

$T_{вим}$  – час для вимірювання деталі, *хв*.

$$T_{обсл} = T_{тех} + T_{орг} \quad (4.58)$$

де  $T_{тех}$  – час для технічного обслуговування місця працівника, *хв*;

$T_{орг}$  – час для організаційне обслуговування місця працівника, хв.

Оперативний час  $T_{он}$ :

$$T_{он} = T_o + T_{відп} \quad (4.59)$$

Час на технічне й організаційне обслуговування визначається у відсотковому співвідношенні від оперативного часу.

$$T_{тех} + T_{орг} = \kappa * T_{он} / 100 \%$$

Час на відпочинок:

$$T_{відп.обсл} = \frac{T_{он} \cdot \Pi_{відп.обсл}}{100} \quad (4.60)$$

де  $\Pi$  – витрати часу на відпочинок в процентному відношенні до оперативного.

Розрахуємо норму штучного калькуляційного часу для операції 005 – вертикально-фрезерної. Виробництво середньосерійне, маса деталі 3,68 кг.

$$T_{уст} + T_{закр.відкр} = 0,06 + 0,024 = 0,084 \text{ хв,}$$

$$T_{кер} = 0,01 + 0,2 = 0,21 \text{ хв.}$$

Час на включення станка і підведення інструменту.

Час на вимірювання штангенциркулем ШЦ-I-125-0,05  $T_{вим} = 0,12 \text{ хв.}$

Допоміжний час:

$$T_{доп} = 0,084 + 0,21 + 0,12 = 0,414 \text{ хв.}$$

Оперативний час:

$$T_{он} = 1,6 + 0,414 = 2,014 \text{ хв.}$$

$T_o = 1,6$  – основний час на обробку заготовки на даній операції.

Витрати часу на обслуговування місця працівника і відпочинок в процентному відношенні до оперативного дорівнює 7 %, тоді:

$$T_{обсл} = 2,014 \cdot 7/100 = 0,145 \text{ хв.}$$

Визначаємо штучний час для операції:

$$T_{шт} = 1,6 + 0,414 + 0,145 = 2,15 \text{ хв.}$$

$T_{н.з.}$  – підготовчо-завершальний час на партію заготовок:

$$T_{n.з.} = 14 + 2 + 13 + 2 + 2 = 33 \text{ хв.}$$

Кількість деталей, що знаходиться в партії:

$$n = 30000 \cdot 6/254 = 1181 \text{ шт.}$$

Час, що припадає на одну заготовку з партії:

$$T_{n.з.} / n = 33/1181 = 0,028 \text{ хв.};$$

$$T_{шт.к.} = 0,028 + 2,15 = 2,25 \text{ хв.}$$

Норми часу на інші операції визначаємо за нормативними довідниками.

Нормування технологічного процесу зводимо в таблицю 4.3.

Таблиця 4.3 – Нормування технологічного процесу

№ п/п	$T_o$	$T_{дон}$			$T_{оп}$	$T_{обсл}$		$T_{n-з}$	$T_{шт-к}$
		$T_{уст}+T_{зо}$	$T_{уп}$	$T_{закр.відкр}$		$T_{тех}$	$T_{орг}$		
005	0,18	0,084	0,02	0,1	0,246	0,01	0,006	0,001	2,25
010	0,02	0,084	0,02	0,12	0,248	0,01	0,007	0,001	2,27
015	1,6	0,084	0,21	0,12	2,014	0,034	0,02	0,12	3,2
020	0,03	0,084	0,21	0,12	0,444	0,01	0,02	0,027	5,2
025	0,05	0,32	0,055	0,1	0,525	0,011	0,05	0,03	6,15
030	0,115	0,084	0,21	0,12	0,454	0,02	0,01	0,027	6,76
035	0,09	0,32	0,055	0,12	0,585	0,03	0,01	0,035	3,89
040	0,015	0,31	1	0,16	1,425	0,05	0,049	0,08	8,25
045	0,027	0,32	0,055	0,12	0,502	0,03	0,005	0,03	4,27
050	0,36	0,084	0,06	0,12	0,492	0,02	0,032	0,04	4,5
055	0,025	0,30	0,04	0,12	0,492	0,01	0,022	0,03	4,25

Висновок до Розділу 4. Вивчається необхідне технологічне обладнання, розробляються контрольні пристрої, проводиться розрахунок спеціального ріжучого інструменту та визначаються допуски на технологічні розміри. Розглядається важливий аспект роботи – розрахунок режимів різання та інструментальне забезпечення, а також нормування технологічного процесу.

## РОЗДІЛ 5

### НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА

#### 5.1 Модернізація оброблювального центру Neckert C500/04

Для забезпечення підвищення точності заданих розмірів шляхом компенсації похибок, що викликаються пружними деформаціями в технологічній системі «верстат» – «пристрій» – «інструмент» – «деталь» та зносом ріжучого інструменту. Дані системи сприяють розсіюванню розмірів деталей, що обробляються на металорізальних верстатах. Похибки обробки деталей, що залежать від пружних деформацій технологічних систем, важко компенсувати попереднім налаштуванням верстата, оскільки вони є випадковими. Метою цього дослідження є часткове усунення недоліків, що викликаються системою, за рахунок забезпечення верстатів з ЧПУ пристроєм автоматичного контролю точності обробки, зокрема оброблювальним центром Neckert C500/04 [20] з індикатором моделі БВ4272. Апробація роботи виконувалась на II International Scientific and Theoretical Conference, October 20, 2023. Sofia, Republic of Bulgaria та отриманий сертифікат (додаток А).

Індикатор контакту моделі БВ4272 призначений для видачі в систему ЧПУ оброблювального центру інформації про контакт наконечника щупової головки з поверхнею деталі чи інструменту, необхідної для визначення розмірів деталей положення або стану інструмента (рис. 5.1) [21].



Рис. 5.1 Індикатор моделі БВ4272

Індикатор використовується для свердлильно фрезерно-розточувальних верстатів, з ЧПУ, в тому числі в умовах автоматизованого виробництва. Індикатор контакту складається з щупової головки для контролю деталі, щупової головки для контролю інструменту, електронного блоку та двох фотоприймачів. Технічні характеристики індикатора моделі БВ4272 наведено в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Технічні характеристики

Принцип роботи	Показник
Напрями роботи головок	$\pm x; \pm y; \pm z$
Принцип дії	електроконтактний
Зв'язок із електронним блоком: головки для контролю деталі	безпровідна, в інфрачервоному діапазоні хвиль
головки контролю інструменту	провідна
Вільний хід щупа від середнього становища, мм, не менше: Вздовж осі щупа (z)	8
У напрямку, перпендикулярному осі щупа (x, y) на довжині щупа 50 мм	15
Відстань від щупової головки для контролю деталі до фотоприймача, м, не більше	1
Похибка спрацьовування контактів датчика при: постійному напрямі роботи; довжині щупа	подачі в момент торкання не більше 480 мм/хв; 50 мм, мкм

Конструктивні елементи індикатора виконані так: (вимірювальна головка представлена в графічній частині). Щупова головка має герметичний корпус 2, яка кріпиться за допомогою гайки накладної 3. На базовому фланці механізму 4 через  $120^\circ$  закріплені три пари кульок 9, що утворюють базові призми. У цих призмах базується важіль 5, на одному кінці якого закріплені три розташованих

через  $120^\circ$  електрично ізолюваного штифта 7, тут же через  $120^\circ$  розміщені три пружини 8, які створюють силове замикання, а на іншому кінці – щуповий наконечник 1. Всі кулі електрично ізолювані від корпусу і послідовно з'єднані один з одним при нейтральному положенні індикатора через штифти. При додатку будь-якого зусилля в площині, перпендикулярної осі наконечника, або вздовж осі в напрямку відриву штифтів послідовний електричний ланцюг розривається в одному з шести точок контакту, що є первинним електричним сигналом. У центрі індикатора розташована кулька 9, що притискається поршнем 10, який забезпечує збіг осі головки з віссю шпинделя при обточуванні наконечника. На фланці корпусу є чотири затяжні і три установочні гвинти, що забезпечує можливість регулювання положення наконечника головки. Ущільнювальний чохол 11, 13 кільця і 14 забезпечують герметизацію головки, а екран 12 забезпечує захист чохла від пошкодження стружкою. Головка щупова має роз'єм, що кріпиться на фланці, для кабельного зв'язку. Також є додаткова плата, що забезпечує перетворення первинного електричного сигналу.

До щупової головки приєднаний корпус 15, всередині якого розміщені поршень 10 і пружина 17. З іншого кінця корпусу кріпиться втулка.

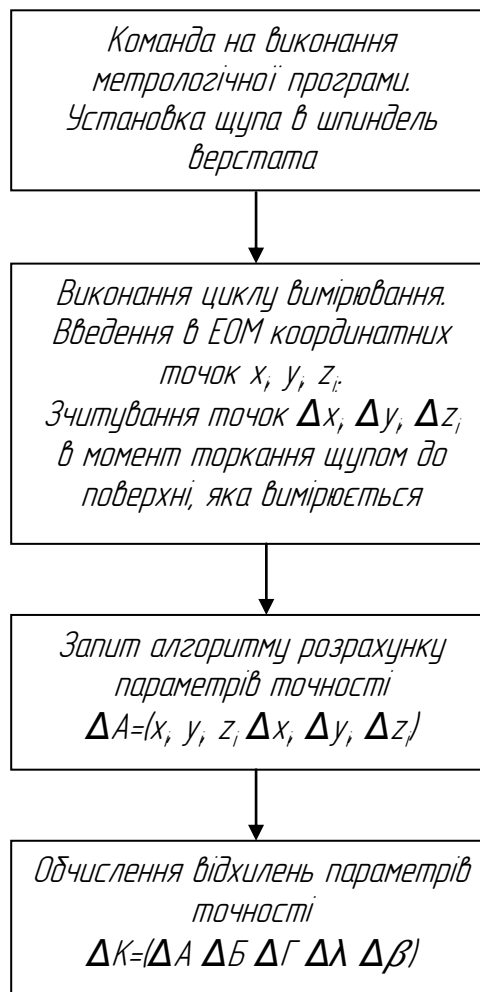
Індикатор контакту функціонує наступним чином: при дотику наконечником щупової головки поверхні, що обмацується, відбувається розрив електричного ланцюга електроконтактного датчика головки. Електроконтактний датчик виконаний таким чином, що відхилення наконечника по будь-якій з трьох координат (x, y, z) викликає розмикання його електричного ланцюга, а повернення у вихідний стан її замикання.

У момент переходу від одного стану до іншого електронна схема керується сигналами, які передаються на електронний блок провідним способом. Електронний блок перетворює ці сигнали у вихідні, забезпечує обмін сигналами із системою ЧПУ та відповідну індексацію сигналів.

## 5.2 Автоматичний контроль індикатором моделі БВ4272

Процес вимірювання виконується за циклом, передбаченим у програмі оброблювальному центрі з ЧПУ Heckert C500/04 (додаток Б). При цьому вимірюють координати окремих характерних точок поверхні деталі обробленої та за алгоритмами шляхом розрахунку на керуючій ЕОМ визначають досягнуті показники точності деталі. З цією метою розрізняють планові координати характерних точок  $x_b, y_b, z_b$ , які визначають розташування точок на контрольованій поверхні і нормальні координати  $x_b, y_b, z_b$ , які характеризують відхилення точок за нормативами до вимірюваної поверхні [22].

На рис. 5.2а,б наведені схеми алгоритму розрахунку за допомогою керуючої ЕОМ показників точності корпусних деталей на оброблювальному центрі з ЧПУ Heckert C500/04.



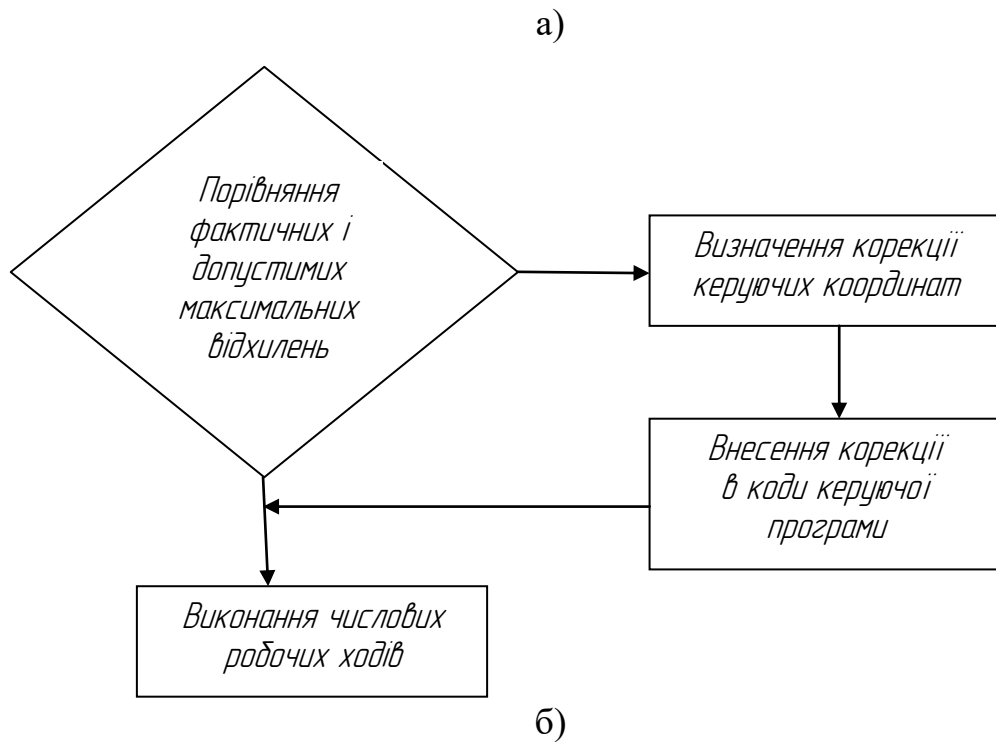


Рис. 5.2 Схеми алгоритму

Розглянемо детальніше дві схеми вимірювання точності (рис. 5.3):

- а) положення центру отвору;
- б) відстані між центрами отворів;

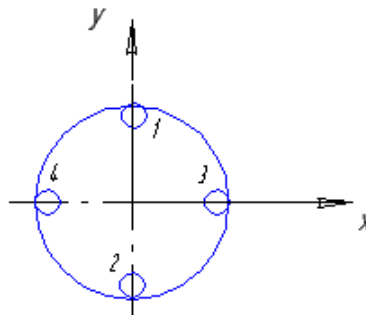


Рис. 5.3 Схеми вимірювання точності положення центру отвору та діаметра

Для вимірювання точності положення центру отвору у напрямках однієї з координат, наприклад  $OY$  вимірювання виконують у двох точках 1 і 2. Відхилення центру отвору обчислюють за такою формулою:

$$\Delta_{r} = \frac{(\Delta Y_1 + \Delta Y_2)}{2} \quad (5.1)$$

При необхідності визначення відхилення центру отвору у двох напрямках  $OY$  та  $OX$  вимірювання проводять у чотирьох точках:

$$\begin{vmatrix} \Delta_{\Gamma} \\ \Delta_X \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 \\ 2 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1100 \\ 0011 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \Delta Y_1 \\ \Delta Y_2 \\ \Delta X_3 \\ \Delta X_4 \end{vmatrix} \quad (5.2)$$

Вимірювання відхилень у 4-х точках дозволяє оцінити там же точність діаметрального розміру та відхилення параметрів геометричної форми отвору в поперечному перерізі.

Відхилення діаметральних розмірів становитимуть (рис. 5.4):

у напрямку  $OX$ :  $\Delta DX = \Delta X_3 + \Delta X_4$

у напрямку  $OY$ :  $\Delta DY = \Delta Y_1 + \Delta Y_2$ .

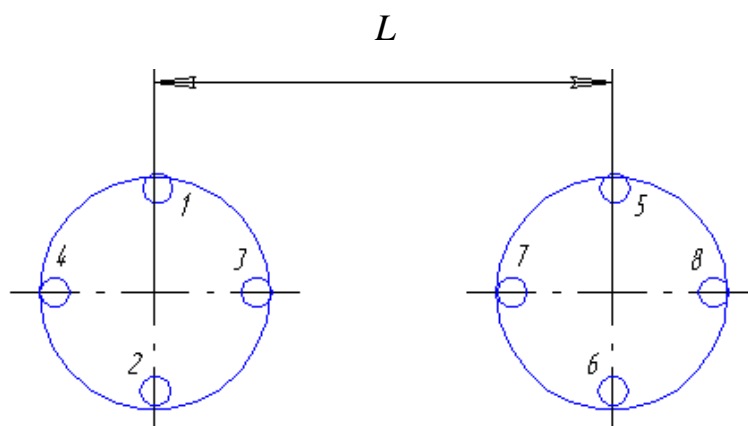


Рис. 5.4 Схема вимірювання точності між центрами отворів

На початку вимірювань у точках 1-4 визначаємо відхилення центру отвору 1 ( $\Delta \Gamma$ ,  $\Delta A$ ), потім за вимірюваннями в точках 5-8 знаходимо відхилення центру отвору 2 ( $\Delta \Gamma$ ,  $\Delta A$ ).

Тоді міжцентрову відстань визначимо за такою формулою:

$$L_{\phi} = \sqrt{\left[ (x_1 + \Delta_{A'}^{(1)}) - (x_2 + \Delta_{A''}^{(2)}) \right]^2 + \left[ (Y_1 + \Delta_{\Gamma'}^{(1)}) - (Y_2 + \Delta_{\Gamma''}^{(2)}) \right]^2} \quad (5.3)$$

де  $(x_1; y_1)$ ,  $(x_2; y_2)$  необхідні координати центрального отвору 1 і 2.

Необхідна міжцентрова відстань:

$$L = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2} \quad (5.4)$$

Різниця виразів (5.3) та (5.4) визначає відхилення міжцентрової відстані:

$$\Delta L = L \phi - L \quad (5.5)$$

Висновок до Розділу 5. Розглядається процес модернізації оброблювального центру Heckert C500/04 індикатором автоматичного контролю моделі BV4272. Аналізуються схеми автоматичного контролю обробленої поверхні корпусних деталей. Отримані результати свідчать про важливий крок у покращенні технологічного процесу обробки, що забезпечує високий рівень точності та якості виготовлених деталей.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі магістра були виконанні наукові дослідження та здійснений аналіз конструкторсько-технічного та інструментального забезпечення виготовлення деталей корпусу, досягнута поставлена мета та реалізовані поставлені завдання:

1. Систематизовано та проведений аналіз конструкторсько-технічного забезпечення. Для виготовлення деталей «Корпус» використовували заготовки, які були отримані методом штамповки. Механічна обробка деталі була виконана за квалітетами H14 і h14, з шорсткістю Ra = 40 мкм. Виконані розрахунки на технологічні розміри отворів допуски та припуски  $\varnothing 30^{+0,033}$ ,  $\varnothing 20^{+0,021}$ , режими різання, норми часу.

Для обробки заготовок застосовувалися токарно-гвинторізні, токарно-гвинторізні з ЧПК, комбіновані, фрезерні, а також вертикально-свердлильні верстати.

2. Розроблений механічний цех для виробництва деталей «Корпус» з потоковою формою організації виробництва. Програма випуску в рік складає 3000 штук.

Під час проектування механічної дільниці було виконано уточнення типу виробництва деталі, а саме, кількість операцій можна скоротити до 6. Визначена кількість працівників, яка становить 12 основних та 1 допоміжного працівника. Розрахована загальна кількість обладнання – 7 та загальна питома площа 90 м<sup>2</sup>.

3. Модернізовано оброблювальний центр Heckert C500/04 індикатором автоматичного контролю моделі БВ4272, що забезпечує точне і швидке оброблення матеріалів. Використання індикатора автоматичного контролю дозволяє уникнути помилок і забезпечує стабільну якість виробництва, що призводить до підвищення продуктивності продукції.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ 8781:2018 Виливки зі сталі. Загальні технічні умови. Наказ від 15.11.2018 № 421 Про прийняття національного стандарту. [Чинний від 01-01-2019]. Вид. офіц. Київ, 2018.
2. Погорелов С. Методи виміру твердості металів. NOVOTEST. URL: <https://novotest.ua/ua/stati/metody-izmereniya-tverdosti-metallov.html> (дата звернення: 16.10.2023).
3. Статичний, динамічний і виробничий методи визначення жорсткості технологічної системи. URL: <http://um.co.ua/8/8-10/8-106223.html> (дата звернення: 16.10.2023).
4. Костюк В. О. Прикладна статистика: навч. посіб. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. 191 с.
5. Гальчук Т.Н. Механоскладальні дільниці та цехи в машинобудуванні. Методичні вказівки для практичних занять для студентів напряму підготовки 6.050502 Інженерна механіка денної та заочної форм навчання / Т.Н. Гальчук. Луцьк: ЛНТУ, 2011. 64 с.
6. Когут М. С. Механоскладальні цехи та дільниці у машинобудуванні: підр. Львів: Видавництво державного університету «Львівська політехніка», 2000. 352 с.
7. Біланенко В. Г., Приходько В. П., Мельник О. О. Проектування технологічних процесів. Частина 1. Оброблення деталей-тіл обертання. [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка, спеціалізацій Технології машинобудування та Технології виготовлення літальних апаратів. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 232 с.
8. Зинченко А.М. Технологія машинобудування. Дипломне проектування: навч. посібник / А.М. Зинченко, О.Д. Дєдов, К.П. Лавренчук, С.Ю. Стародубов, Ю.В. Піпкін. Алчевськ: ДГМІ, 2004. 260 с.

9. ДСТУ ISO 9712:2014. Неруйнівні контрольні методи. Кваліфікація та сертифікація персоналу з неруйнівного контролю. [Чинний від 01-01-2016]. Вид. офіц. Київ, 2014. 16 с. (Інформація та документація).

10. Технологічна оснастка. Контрольні пристрої: навч. посібник / Б.М. Гевко та інші. ТНТУ ім. Івана Пулюя. Тернопіль: ТНТУ, 2009. 220 с.

11. ДСТУ ISO 494:2018 Свердла із циліндричними хвостовиками. Подовжена серія (ISO 494:2017, IDT). [Чинний від 01-01-2019]. Вид. офіц. Київ, 2018.

12. ДСТУ 7809:2015 Прокат сортовий, калібрований зі спеціальним обробленням поверхні з вуглецевої якісної конструкційної сталі. Загальні технічні умови. [Чинний від 01-04-2016]. Вид. офіц. Київ, 2015. 80 с. (Інформація та документація).

13. ДСТУ ISO 2768-1-2001. Основні допуски. Частина 1. Допуски на лінійні та кутові розміри без спеціального позначення допусків (ISO 2768-1:1989, IDT). [Чинний від 01-01-2003]. Вид. офіц. Київ, 2001. 80 с. (Інформація та документація).

14. 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). [Чинний від 01-10-2003]. Вид. офіц. Київ, 2002. 80 с. (Інформація та документація).

15. Проектування та технологія виготовлення металорізальних інструментів:

конспект лекцій для студентів напряму підготовки 6.050502 «Інженерна механіка / уклад. Н. Т. Зубовецька, Г. А Герасимчук. Луцьк: Луцький НТУ, 2016. – 152 с.

16. ДСТУ ISO 240:2015 Фрези. Розміри фрезерних оправок, що забезпечують взаємозамінність (ISO 240:1994, IDT). Розробник ДП «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації,

сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ»). [Чинний від 01-01-2016]. Вид. офіц. Київ, 2016.

17. ДСТУ ISO 866:2018 Свердла центрувальні для свердління центрових отворів без запобіжних фасок. Тип А (ISO 866:2016, IDT). [Чинний від 01-01-2019]. Вид. офіц. Київ, 2018.

18. ДСТУ EN ISO 11148-3:2014 Ручні неелектрифіковані механізовані інструменти. Вимоги щодо безпеки. Частина 3. Інструменти для свердлення та нарізування нарізі (EN ISO 11148-3:2012, IDT). [Чинний від 01-01-2015]. Вид. офіц. Київ, 2014.

19. Технологія машинобудування: навч. посібник / І. І. Юрчишин, Я. М. Литвиняк, І. Є. Грицай, М. Л. Кукляк, Я. М. Кусий, В. В. Ступницький, В. А. Яцюк, А. М. Кук, Є. М. Махоркін, В. П. Свізінський / За ред. І. І. Юрчишина. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2009. 528 с.

20. Huliieva, N.M., **Shulikovsky, B.V.** (2023). Equipping CNC Machines with Devices for Automatic Control of Processing Accuracy. Modern vision of implementing innovations in scientific studies: collection of scientific papers «SCIENTIA» with Proceedings of the II International Scientific and Theoretical Conference, October 20, 2023. Sofia, Republic of Bulgaria: International Center of Scientific Research. P. 57–59. DOI: <https://doi.org/10.36074/scientia-20.10.2023>

21. Іванов В. О. Вибір оптимальних компоновок верстатних пристроїв для верстатів з ЧПК: дис. канд. техн. наук : 05.02.08. Харків, 2010. 239 с.

22. Пуховський Є.С., Малафєєв Ю.М. Проектування гнучких виробничих систем машинобудування / навч. посібник. Частина I. К.: НТУУ «КПІ», 2017. 286 с.

23. ДСТУ 8981:2020 Виливки з металів та сплавів. Допуски розмірів, маси та припуски на механічне оброблення. Наказ від 24.02.2020 № 41. Розробник: Технічний комітет стандартизації «Ливарне виробництво» (ТК 177). [Чинний від 01-05-2021]. Вид. офіц. Київ, 2020.

# ДОДАТКИ