

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»  
Навчально-науковий інститут електроенергетики  
(інститут)  
Електротехнічний факультет  
(факультет)  
Кафедра кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем  
(повна назва)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
**кваліфікаційної роботи ступеню магістра**

здобувача вищої освіти Балути Кирила Едуардовича  
(П.І.Б.)

академічної групи 152М-20-1

(шифр)

спеціальності 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна  
техніка

(офіційна назва)

на тему Метрологічне забезпечення обробного центру з числовим програмним  
керуванням

(назва за наказом ректора)

Консультанти	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинг.	інституційною	
Керівник кваліфікаційної роботи	доц. Глухова Н.В.			
Теоретичний розділ	доц. Глухова Н.В.			
Експериментальний розділ	доц. Глухова Н.В.			
Економічна частина	ст. викл. Дементьєва Н.В.			
Охорона праці	доц. Столбченко О.В.			
Рецензент				
Нормоконтролер	ас. Славінський Д.В.			

Дніпро  
2022

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**  
завідувач кафедри  
кіберфізичних та інформаційно-  
вимірювальних систем  
(повна назва)

\_\_\_\_\_ Бубликов А.В.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 року

**ЗАВДАННЯ**  
**на кваліфікаційну роботу**  
**ступеня магістра**

студенту Балута К.Е. академічної групи 152М-20-1  
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

за освітньо-професійною програмою 152 «Метрологія та інформаційно-  
вимірювальна техніка»  
(офіційна назва)

на тему Метрологічне забезпечення обробного центру з числовим програмним керуванням

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 15.11.2021 р. №969-с

Розділ	Зміст	Термін виконання
Стан питання та постановка завдання.	Аналіз методів та засобів вимірювань для контролю технологічних параметрів при експлуатації обробного центру	01.10.2021
Теоретичний розділ	Розробка математичної моделі вимірювання та методик оцінки якості вимірювань технологічних параметрів	04.10.2021
Експериментальний розділ	Дослідження та оцінка метрологічних характеристик вимірювальної системи обробного центру, розробка віртуального стенду для автоматизації розрахунків	10.12.2021
Економічна частина	Економічне обґрунтування доцільності витрат на удосконалення метрологічного забезпечення обробного центру.	15.12.2021
Охорона праці	Розробка організаційно-технічних заходів, щодо реалізації правил безпеки при експлуатації засобів вимірювань	15.12.2021

**Завдання видано**

\_\_\_\_\_

(підпис п.конс.)

доц. Глухова Н.В.  
(прізвище, ініціали)

**Дата видачі** 01.09.2021

**Дата подання до атестаційної комісії** \_\_\_\_\_

**Прийнято до виконання**

\_\_\_\_\_

(підпис студента)

Балута К.Е.  
(прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: \_\_ сторінок, \_\_ рисунків, \_\_ таблиць, \_\_ джерел.

**Об'єкт** – обробний центр з числовим програмним керуванням.

**Мета роботи** – розробка метрологічного забезпечення обробного центру з ЧПК, моделі вимірювань, віртуального стенду для автоматизації розрахунків.

**Предмет дослідження** – аналіз та розрахунок метрологічних характеристик засобів вимірювань для обробного центру з ЧПК.

**Новизна роботи** – розроблено математичну модель вимірювання та методик оцінки якості вимірювань технологічних параметрів об'єкту, розроблено віртуальний стенд для автоматизації розрахунків метрологічних характеристик обробного центру з ЧПК

**Методи дослідження** – методи теорії ймовірності та математичної статистики, методи математичного моделювання, теорія похибок і теорія невизначеності вимірювань.

**Практична значимість** полягає в розробці моделі вимірювань, синтезі віртуальної моделі та програми для оцінки невизначеності вимірювань розмірів.

Обґрунтовано техніко-економічну користь від удосконалення метрологічного забезпечення на виробництві.

У розділі охорона праці визначено небезпечні чинники при роботі з засобами вимірювань та запропоновано перелік дій, спрямованих на попередження виникнення небезпечних ситуацій при роботі в умовах виробництва.

Ключові слова: обробний центр, числове програмне керування, похибка, невизначеність вимірювання, засоби вимірювання.

## SUMMARY

Explanatory note: \_\_\_\_\_ pages, \_\_\_\_\_ images, \_\_\_\_\_ tables, \_\_\_\_\_ sources.

**The object** – CNC machining center.

**The purpose of the work** – is to develop metrological support of the CNC machining center, measurement model, virtual stand for automation of calculations.

**The subject of research** – analysis and calculation of metrological characteristics of measuring instruments for CNC machining center.

**The novelty of the work** – the mathematical model of measurement and a technique of an estimation of quality of measurements of technological parameters of object are developed, the virtual stand for automation of calculations of metrological characteristics of the processing center with CNC is developed

**Research methods** – methods of probability theory and mathematical statistics, methods of mathematical modeling, error theory and measurement uncertainty theory.

**Practical significance** – lies in the development of a measurement model, the synthesis of a virtual model and a program for estimating the uncertainty of dimensional measurements.

The technical and economic benefits of improving metrological support in production are substantiated.

The section on labor protection identifies dangerous factors when working with measuring instruments and offers a list of actions aimed at preventing dangerous situations when working in production conditions.

Key words: machining center, computer numerical control, error, measurement uncertainty, measuring instruments.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАНЬ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРИБУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОБРОБНОГО ЦЕНТРУ .....	7
1.1. Призначення та основні функції обробних центрів з ЧПК .....	7
1.2. Аналіз технологічних параметрів, які контролюються при функціонуванні обробних центрів з ЧПК.....	13
1.3. Засоби вимірювання, які застосовуються при експлуатації обробних центрів з ЧПК .....	16
1.4. Висновки та формулювання цілей дослідження .....	23
2. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВИМІРЮВАННЯ ТА МЕТОДИК ОЦІНКИ ЯКОСТІ ВИМІРЮВАНЬ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ .....	24
2.1. Напрямки створення метрологічного забезпечення обробних центрів з ЧПК .....	24
3. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОЦІНКА МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ОБРОБНОГО ЦЕНТРУ, РОЗРОБКА ВІРТУАЛЬНОГО СТЕНДУ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ РОЗРАХУНКІВ .....	42
3.1. Розробка віртуального стенду для моделювання та обробки результатів багатократних вимірювань лінійних розмірів .....	42
4. ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ .....	54
4.1. Розрахунок капітальних витрат. ....	54
4.2. Розрахунок експлуатаційних витрат. ....	55
4.2.1. Розрахунок амортизаційних відрахувань.....	56
4.2.2. Номінальний річний фонд робочого часу одного працівника: .....	58
4.3. Висновки.....	61
5. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	62
5.1. Небезпечні і шкідливі виробничі чинники під час роботи фрезерувальника.....	62
5.2. Інженерно-технічні заходи з охорони праці .....	63
5.2.1. Засоби пасивної безпеки .....	63
5.2.2. Дотримання правил особистої гігієни.....	65
5.3. Пожежна профілактика .....	66
5.3.1. Заходи з ергономіки.....	67
Висновок.....	75
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	76

## ВСТУП

В процесі кваліфікаційної роботи буде розглянуто та проаналізовано методи та засоби вимірювань для контролю технологічних параметрів при експлуатації обробного центру з ЧПК доцільність застосування в тих чи інших обставинах. Розрахуються прогнозовані капітальні та експлуатаційні витрати при придбанні та використанні подібного обладнання, будуть сформульовані засоби охорони праці на підприємствах з використанням токарних, фрезувальних верстатів та обробних центрів.

# **1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАНЬ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОБРОБНОГО ЦЕНТРУ**

## **1.1. Призначення та основні функції обробних центрів з ЧПК**

У зв'язку з інтенсивним розвитком удосконалення машинобудівної галузі та суттєвим зростанням рівня автоматизації виробництва, в останні роки отримали широке розповсюдження нові форми організації, керування та відповідного оснащення виробництва [1].

У теперішній час станки та обробні центри з числовим програмним керуванням (ЧПК) широко застосовуються у машинобудівній та суміжних галузях виробництва. Перевагою такого виду обладнання є гнучкість та універсальність, яка забезпечується паралельно з високою точністю та швидкістю, а також можливістю роботи в автоматичному режимі.

Перевагою впровадження станків з ЧПК є забезпечення виконання наступним чинників:

- 1) Підвищення продуктивності праці;
- 2) Забезпечення багатостаночного виробництва;
- 3) Підвищення рівня автоматизації;
- 4) Покращення умов праці;
- 5) Підвищення техніко-економічних показників виробництва.

Наряду з цим підвищуються вимоги до рівня технологічного устаткування, кваліфікації обслуговуючого персоналу, змінюється специфіка метрологічного забезпечення виробництва. Таким чином, етап підготовки виробництва зміщується у бік зростання вкладу інженерної праці, але при цьому зростання рівня автоматизації у підсумку призводить до скорочення термінів інженерної праці, реалізується перехід до можливості виготовлення нових видів та номенклатури виробів. Переваги забезпечуються завдяки реалізації етапу заздалегідь розроблених алгоритмів та програмного

забезпечення. В цілому застосування станків та обробних центрів з ЧПК дозволяє підвищити рівень автоматизації виробництва та сприяє зростанню техніко-економічних показників підприємства в цілому та його конкурентоспроможності в умовах ринкової економіки.

Доцільність впровадження в умовах виробництва станків та обробних центрів з ЧПК визначається насамперед цілями виробництва, номенклатурою виробів. Обробні центри з ЧПК - ефективний інструмент для виготовлення різноманітних деталей складної форми. Впровадження станків з ЧПК є пріоритетним напрямком в аспекті розвитку автоматизації середньо- та дрібносерійного виробництва [2-4]. В умовах сучасного виробництва все більшу питому вагу займає сектор виробництва з номенклатурою виробів, які виготовляють середніми або дрібними партіями.

Виробництво деталей складної форми базується на необхідності переміщення робочих органів станка одночасно у декількох напрямках (тобто за різними координатними осями). Також доцільно використовувати обробці центри з ЧПК для виробництва деталей з великою кількістю переходів при обробці, а також тих різновидів деталей, певна конструкція яких може часто модифікуватися за умовами технології та цілей конкретного виробництва.

Обробний центр з ЧПК являє собою багатофункціональний пристрій з числовим програмним керуванням, що обладнаний щонайменше одним рухомим столом та містить у своєму складі систему автоматичної зміни інструменту [5]. Обробний центр зазвичай призначений для виготовлення різноманітних заготовок від простої до складної форми. Окрім наявності поворотного столу, станочний комплекс у вигляді обробного центру характеризується широким діапазоном для зміни частоти обертання шпинделя, до його складу додатково включений великий набір інструменту для обробки деталей різноманітної форми.



Наявність поворотного столу, широкий діапазон зміни частот обертання шпинделя, спектр доступного інструменту слугують основній меті автоматизації виробництва – прискорення процесу виробництва заготовок.

Як вже підкреслювалося вище, в умовах необхідності виготовлення деталей та виробів дрібними або середніми партіями виявляється доцільним впроваджувати так звані інтегровані виробничі системи, ключовою ланкою яких виступають саме станки та обробні центри з ЧПК.

Обробний центр являє собою різновид станка з ЧПК, що відноситься до фрезерної групи [5]. Це передбачає наявність у його складі наступним компонентів:

1. Інструментальний магазин.
2. Пристрій для автоматичної зміни інструментів у шпинделі.

На рис. 1. представлений типовий вигляд обробного центру з ЧПК, який містить вищезазначені компоненти.



Рис. 1.1. Обробний центр з ЧПК (вертикального типу)

При технічній експлуатації обробних центрів зазвичай прийнято правобічну прямокутну тривимірну систему координат відповідно за трьома осями  $X, Y, Z$ . Напрямок тривимірної системи координат збігається з великим, середнім та вказівним пальцями для правої руки [5]. При експлуатації обробного центру зазвичай за площиною  $X-Y$  виконуються контури фрезерної обробки, операції свердлення найчастіше припадають на рух інструментів уздовж  $Z$ .

Технологічний процес виготовлення деталей реалізується на базі застосування вертикальних або горизонтальних обробних центрів з ЧПК, структурні схеми яких представлені на рис. 2, 3 [5].

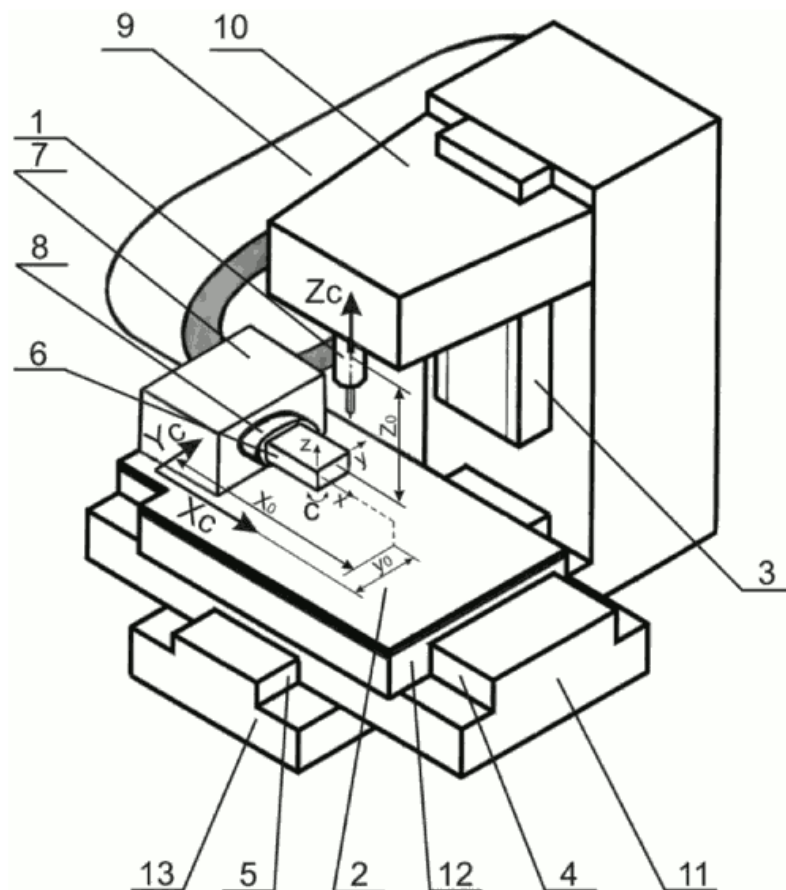


Рис. 1.2. Структурна схема вертикального обробного центру з ЧПК

На схемі рис.2 використано наступні цифрові позначення складових частин центру:

- 1 – шпиндель;
- 2 – робочий стіл;
- 3, 4, 5 – направляючі;
- 6 – оброблювана деталь;
- 7 – поворотна голівка;
- 8 – патрон;
- 9 – інструментальний магазин;
- 10, 11, 12 – рухомі елементи;
- 13 – основа;
- С – позначення повороту деталі.

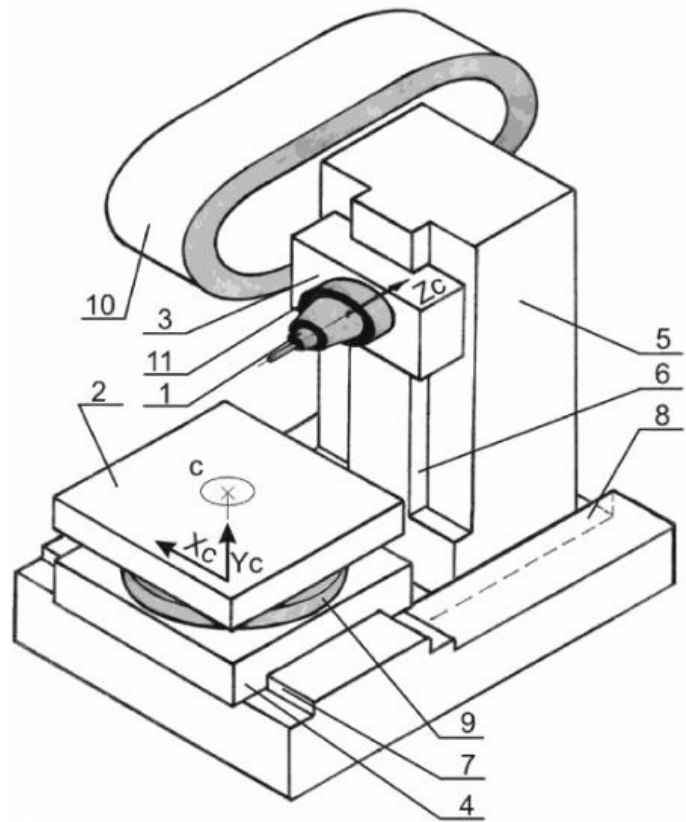


Рис. 1.3. Структурна схема горизонтального обробного центру з ЧПК

На структурній схемі рис. 3 використано наступні числові позначення:

1 – шпindelь;

2 – робочий стіл;

3, 4, 5 – рухомі елементи;

6, 7, 8 – направляючі;

9 – поворотний механізм;

10 – інструментальний механізм;

11 – телескопічний пристрій кріплення шпindelю;

С – позначення повороту деталі.

Структурна схема, що відображає технологічний процес, який може виконуватися при застосування обробних центрів з ЧПК, показана на рис. 4.



Рис. 1.4. Структурна схема технологічного процесу виготовлення деталі на обробному центрі з ЧПК

На обробних центрах з ЧПК виконуються технологічні операції (скорочено – операції), які за визначенням являють собою завершену відокремлену частину технологічного процесу. Операція виконується на одному робочому місці з використанням обробного центру та може здійснюватися одним або декількома робітниками.

Операція у свою чергу може бути поділена на окремі елементи, які називають терміном переходи. Відповідно технологічний перехід, як складова частина технологічної операції, є завершеною частиною операції, що

реалізується одними засобами технологічної оснастки, причому зі збереженням постійних режимів та збереженій установці.

При обробці деталей на станках або центрах з ЧПУ окрім безпосередньо параметрів деталі та параметрів, що характеризують технологічну оснастку можуть додатково контролюватися інші фізичні величини, зміна яких виникає унаслідок виконання технологічних операцій. Можливі зовнішні впливи та зворотні впливи на навколишнє середовище від функціонування обробного центру показані на рис. 5.



Рис. 1.5. Схема взаємодії факторів при виготовленні деталі на обробному центрі з ЧПУ

## 1.2. Аналіз технологічних параметрів, які контролюються при функціонуванні обробних центрів з ЧПК

Основним завданням розробки та впровадження засобів вимірювань при експлуатації обробних центрів з ЧПК є контроль виробів, зокрема якості їх виготовлення та забезпечення правильного виконання технологічних операцій автоматизованого виробництва.

Застосовані на теперішній час вимірювальні система для станків та обробних центрів з ЧПК можна поділити на дві великі групи:

1. Контактні.
2. Безконтактні.

Безконтактні системи вимірювань можуть бути вбудовані безпосередньо у станок. Вони призначені для виконання наступних функцій:

- Налагодження інструменту;
- Визначення вильоту фрези;
- Визначення геометрії ріжучої частини фрези.

Результати вимірювань, як правило, автоматично передаються за лініями зв'язку та заносяться у комірки інформації, що відносяться до інструментів ЧПК.

Окрім безконтактних застосовуються також контактні вимірювання. Вони базуються на використанні контактних датчиків. Підвищення обчислювальних потужностей сучасних обробних центрів з ЧПК дозволяє організувати не тільки процес вимірювання окремих параметрів, але й синтезувати так звані універсальні цикли вимірювання, до яких відносяться наступні:

- а) вимірювання координат для точок за осями X, Y, Z;
- б) відхилення ліній від горизонтального або вертикального напрямку;
- в) оцінка діаметру отвору у деталі або випробі;
- г) вимірювання габаритних розмірів для прямокутних складових.

Виконання вимірювальних процедур при обробці деталей на обробному центрів з ЧПК можна проілюструвати за допомогою узагальненої схеми, показаної на рис. 6.

При вимірюванні геометричних розмірів за допомогою контактної вимірювальної системи обробного центру з ЧПК сумарна похибка (або невизначеність) вимірювання буде напряму залежати не тільки від метрологічних характеристик засобів вимірювань, але і від точності позиціонування як для лінійних, так і для обертальних осей обробного центру.

Завдання визначення точності оцінки геометричних розмірів та точності позиціонування компонентів обробного центру з ЧПК є достатньо складним і може бути розв'язано з застосуванням відповідного апаратного та програмного забезпечення.

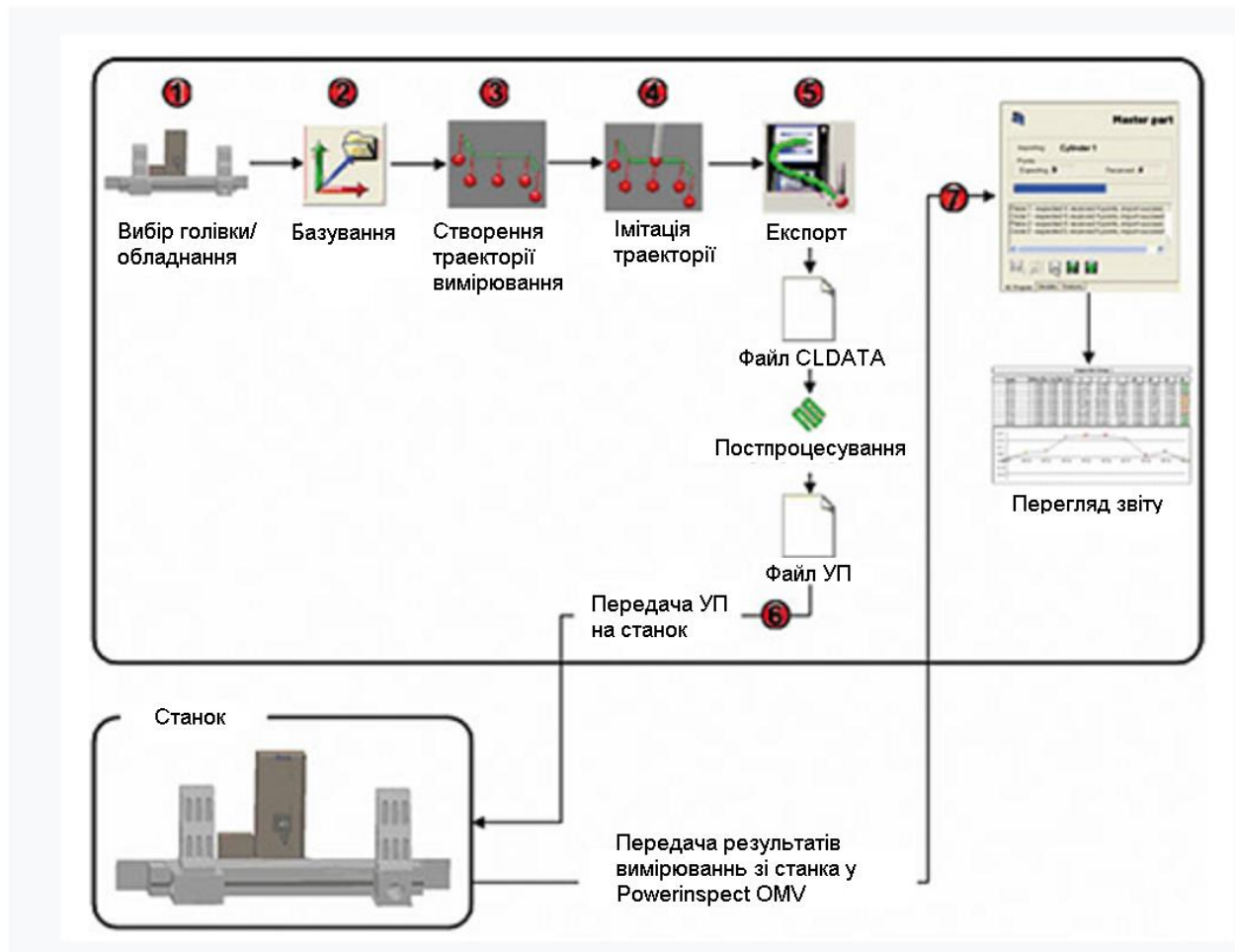


Рис. 1.6. Послідовність збору даних у вимірювальній системі для обробного центру з ЧПУ

На сьогоднішній день виробники станків та обробних центрів з ЧПК почали постачати спеціалізоване програмне забезпечення для виконання

певних етапів задачі визначення точності. Зокрема пропонується з використанням спеціальних вимірювальних тестів у кожному конкретному випадку визначати точність при позицію ванні лінійних, а також обертальних вісей обробного центру з ЧПК [6].

### **1.3. Засоби вимірювання, які застосовуються при експлуатації обробних центрів з ЧПК**

З точки зору метрологічного забезпечення виробництва варто розуміти, що подібні показники точності, оцінені один раз на початку експлуатації обладнання у вигляді обробного центру з ЧПК, не будуть зберігати такі ж самі показники точності на протязі усього терміну експлуатації. Тобто оцінені метрологічні характеристики не будуть константами. Це відбувається тому, що в процесі функціонування обробний центра з ЧПК витримує багато навантажень, що у загальному випадку призводить до погіршення показників точності, а відповідно і до зміни кількісних значень метрологічних характеристик.

Типова інформаційно-вимірювальна система обробного центру з ЧПК складається з наступних компонентів:

- 1) сукупність датчиків (первинних вимірювальних перетворювачів);
- 2) приймач сигналу (вторинний вимірювальний перетворювач);
- 3) лінія зв'язку з відповідним інтерфейсом передачі даних;
- 4) контролер, який входить у склад системи числового програмного керування станку або обробного центру.

Якщо мова йде про датчики визначення положення деталей або інструментів, то основна функція, покладена на інформаційно-вимірювальну систему обробного центру з ЧПК – видача сигналу про спрацювання відповідного первинного перетворювача.



Отриманий сигнал потрапляє до системи ЧПК, де відповідним чином обробляється та система виконує запис координат поточного положення деталі, інструменту або щупа.

Первинний вимірювальний перетворювач (датчик) – основний компонент інформаційно-вимірювальної системи обробного центра з ЧПК. Від його метрологічних характеристик залежить точність роботи обробного центру в цілому.

Для обґрунтованого вибору датчиків при створенні метрологічного забезпечення обробних центрів з ЧПК необхідно враховувати не тільки статичні характеристики датчиків, але і динамічні.

Вимірювання положення та координат засобами вимірювань включає сукупність операцій для визначення відношення певної вимірюваної фізичної величини до іншої однорідної величини, яка прийнята за одиницю, яка зберігається у спеціальному технічному пристрої – засобі вимірювань.

Метрологічні характеристики впливають на отриманий результат вимірювань. Однією з найважливіших метрологічних характеристик для вимірювальних перетворювачів є статична характеристика перетворення (вона також іменується функцією перетворення або градуовальною характеристикою).

Функція перетворення датчика встановлює залежність  $y=f(x)$  між інформативним параметром (у даному випадку координатою або відстанню) вихідного сигналу первинного вимірювального перетворювача у залежності від значення інформативного параметру вхідного сигналу. Статичні характеристики задаються у формі таблиць, рівнянь, графіків.

Оскільки сучасні обробні центри з ЧПК характеризуються великою швидкістю виконання технологічних операцій обробки деталей, то окрім статичної характеристики вимірювальних перетворювачів, необхідно врахування також і динамічних характеристик засобів вимірювань.

До динамічних вимірювань відносять такі вимірювання фізичних величин, розмір яких змінюється у часі (наприклад, зміна координат поточного положення деталі або інструменту). Оскільки в обробних центрах з ЧПК відбувається не тільки операція вимірювання, але і операції передачі та обробки результатів вимірювань в системі ЧПК, то також необхідно враховувати час, який на них витрачається.

Формальною ознакою, яка дозволяє класифікувати вимірювання на статичні та динамічні є наявність та кількісне значення динамічної похибки (невизначеності) вимірювань з урахуванням заданої (встановленої) швидкості або частоти зміни вхідного параметру та заданих динамічних властивостях конкретного засобу вимірювань.

Якщо для заданих вимог щодо величини динамічної похибки (невизначеності), реальна експериментально визначена її величина є малою (тобто нею можна знехтувати), то це дає підстави вважати вимірювання статичними і не враховувати у подальших розрахунках величину динамічної складової похибки.

Швидкість спрацювання датчика положення, яким оснащений обробний центр з ЧПК, впливає на точність вимірювання. Якщо мова йде про контактний спосіб вимірювання, то наскільки швидко він спрацює, пройде певну відстань, після торкання до об'єкту (деталі, інструменту, щупа) напряму впливає на точність вимірювання.

У сучасних обробних центрах з ЧПК переважно застосовуються два типи вимірюваних голівок, які за класифікаційною ознакою «механізм спрацювання» розподіляються на такі групи:

- 1) кінематичні;
- 2) тензометричні.

Кінематичні вимірювальні голівки (перше покоління) забезпечують виконання вимірювань з точністю спрацювання 12 мкм. Для досягнення такої точності виконується попереднє калібрування за колом. Така точність

забезпечується при вимірюванні уздовж осей X та Y. Недоліком вимірювальних голівок є суттєве зниження точності для випадку просторових вимірювань, при цьому точність знижується до величини 20 мкм.

Переважає більшість сучасних станків та обробних центрів з ЧПК оснащується такими первинними перетворювачами.

У випадку підвищених вимог щодо просторових 3D вимірювань користуються іншим відносно новим типом вимірювальних голівок, які базуються на використанні тензодатчиків. Використання вимірювальних голівок на базі тензодатчиків потребує калібрування за сферою, після цього точність спрацювання такого первинного вимірювального перетворювача у довільному напрямку складає 1 мкм. Зовнішній вигляд тензометричного первинного перетворювача представлений на рис. 7.

Вимірювальними голівками називаються вимірювальні прилади, які призначені для перетворення малих переміщень вимірювального щупа у великі переміщення стрілки на шкалі або передачі результатів по каналам у цифровій формі.



Рис. 1.7. Зовнішній вигляд тензометричного датчика OMP400

Особливістю практичного застосування вимірювальних голівок \ те, що вони використовуються переважно для відносних вимірювань, також для вимірювання відхилень, нерівностей та биття поверхней.

Вперше норми геометричної точності для станків були розроблені та запропоновані Г. Шлезингером [7]. В його роботі було запропоновано систему перевірок, метою яких стало визначення точності виготовлення станків. Розроблена система базувалася на припущенні, що усі геометричні похибки є систематичними та постійними. Логічним наслідком такого припущення є те, що геометричні похибки повністю переносяться на поверхню, яка станком обробляється.

Перевагою такої системи оцінки точності є те, що система дозволяє не проводити аналіз результуючої підсумкової похибки (невизначеності) на деталі. При цьому перевірка кожної окремої виготовленої деталі замінюється перевіркою станка або оброблювального центру.

Вплив геометричної похибки станка згідно з цією системою визначається за взаємним розташуванням оброблюваної деталі та розташуванню інструменту причому у статичному режимі за умови відсутності впливу на станок сили різання.

Принцип дії засобу вимірювання або вимірювального перетворювача є фізичним принципом, який покладений в основу побудови даного виду засобу вимірювань. Сучасні засоби вимірювання лінійних та кутових розмірів, які застосовуються при експлуатації станків та обробних центрів з ЧПК, використовуються наступні фізичні принципи [8]:

- механічний;
- оптичний;
- електричний;
- пневматичний;
- комбінований.

При застосуванні механічного принципу дії перетворення малих переміщень вимірюваних параметрів відбувається у великі переміщення на відліковому пристрої та здійснюється за рахунок використання механічних передач.

Вимірювальні засоби, засновані на механічних перетвореннях, класифікують у залежності від виду вимірюваного розміру на такі типи:

- а) для вимірювання зовнішніх розмірів;
- б) для вимірювання внутрішніх розмірів.

У залежності від особливостей конструктивного виконання, а також галузі застосування розрізняються наступні типи:

- а) вимірювальні голівки;
- б) вимірювальні засоби з корпусом у вигляді скоби.

Як правило, вимірювальна голівка являє собою відліковий пристрій, який перетворює малі переміщення вимірювального кінцівника у великі переміщення стрілки та в аналоговому варіанті мають шкалу, за якою можна відрахувати величину переміщення кінцівника.

У складі сучасних інформаційно-вимірювальних систем обробних центрів з ЧПК застосовуються вимірювальні голівки, у яких значення вимірюваного переміщення вимірювального кінцівника підліковується за електронним цифровим пристроєм або передається по лініям зв'язку до системи ЧПК.

З метрологічної точки зору слід підкреслити, що у вимірювальні голівки не можуть використовуватися у якості окремого вимірювального пристрою, тому для виконання вимірювальних процедур їх встановлюють у спеціальних приладах, де необхідно проводити відлік певних переміщень, тому їх ще називають «відлікові голівки».

Вимірювальні голівки конструктивно оформлюють в одному корпусі та вони мають елементи, на базі яких встановлюються або приєднуються інші складові частини засобу вимірювань.

Виконання вимог щодо метрологічних характеристик вимірювальних каналів інформаційно-вимірювальної системи обробного центру з ЧПК визначається не тільки вірним вибором засобів вимірювання, але і коректним програмуванням системи.

Основними етапами програмування вимірювальної системи сучасного обробного центру з ЧПК є наступні [10]:

1. Базування.
2. Створення траєкторії вимірювання.
3. Імітація траєкторії щупа.
4. Запис файлу даних.

Перший етап базування застосовується у тих випадках, коли певна деталь ще не була оброблена до вимірювання розмірів, та коли реальне положення деталі у просторі не збігається з номінальним заданим.

Програмне забезпечення для виконання вимірювальної процедури визначає шляхом вимірювання поточного положення спеціальну матрицю зміщень та обертів відносно трьох просторових осей. Використовуючи отриману у такий спосіб матрицю надалі є можливість уточнення керуючої програми обробки відносно фактичного вимірюваного положення деталі, а також компенсувати різницю між робочими органами станка або обробного центру з ЧПК.

Вибір конкретного способу базування залежить від наявності геометричних елементів на виробі.

Вимірювані елементи повинні обмежувати деталь шістьма ступенями свободи.

Основним етапом для визначення потрібних геометричних елементів для вимірювання на деталі є етап створення траєкторії вимірювання. На цьому етапі необхідно працювати з наступними двома групами об'єктів:

- 1) довільні точки;
- 2) поверхні.

Перша група дозволяє перевіряти відхилення елементів виробу від форми та розташування.

Друга група забезпечує виконання контролю вільних формоутворюючих поверхонь.

#### **1.4. Висновки та формулювання цілей дослідження**

У першому розділі кваліфікаційної роботи виконаний огляд об'єкту досліджень – обробного центру з ЧПК, визначено основні різновиди сучасних обробних центрів, особливості їх експлуатації.

Виконаний аналіз методів та засобів вимірювань, які застосовуються при виконанні технологічних операцій на базі використання обробного центру з ЧПК, встановлено та описано основні параметри, які необхідно вимірювати для контролю техніко-економічних показників виробництва.

В ході аналізу встановлено, що показники точності вимірювання координат, геометричних розмірів та положення деталей, інструментів, щупів напряду впливають на техніко-економічні показники виробництва деталей з застосуванням обробних центрів з ЧПК.

Для підвищення точності вимірювання координат, геометричних розмірів та положення деталей, інструментів, щупів обробних центрів з ЧПК сформульовано основні завдання, які будуть виконуватися в рамках кваліфікаційної роботи: удосконалення метрологічного забезпечення обробних центрів з ЧПК за рахунок розробки методик оцінки невизначеності вимірювань технологічних параметрів; створення алгоритмічного, програмного забезпечення, віртуальних стендів для автоматизації розрахунку метрологічних характеристик інформаційно-вимірювальної системи обробного центру з ЧПК.

## **2. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВИМІРЮВАННЯ ТА МЕТОДИК ОЦІНКИ ЯКОСТІ ВИМІРЮВАНЬ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ**

### **2.1. Напрямки створення метрологічного забезпечення обробних центрів з ЧПК**

У зв'язку з розвитком автоматизації і активного впровадження інформаційно-вимірювальних технологій для підвищення параметрів якості продукції та техніко-економічних показників виробництва постійно зростає необхідність удосконалення метрологічного забезпечення шляхом впровадження нових засобів та методів вимірювань, розробки досконалих методик обробки результатів вимірювань. Вказані процеси впливають на зміну ролі метрології у виробництві.

При удосконаленні метрологічного забезпечення виробництва необхідно розглядати засади метрологічної діяльності на підприємстві, переглядати системи метрологічних норм, виконувати постійний нагляд щодо забезпечення єдності вимірювань, враховувати відповідні інновації у сфері розробки підходів до підвищення точності та достовірності вимірювань у виробничих умовах. Всі ці питання складають основу метрологічного забезпечення виробництва [11-12].

Постійне удосконалення метрологічного забезпечення виробництва сприяє не тільки покращенню техніко-економічних показників, але одночасно вирішує ще ряд важливих питань, пов'язаних з надійністю і безаварійністю експлуатації сучасних технічних автоматизованих комплексів, високотехнічних засобів керування і зв'язку, різноманітних транспортних засобів з розгалуженою структурою.

Розглянутий комплекс різноманітних задач забезпечується завдяки вимірювальному контролю параметрів об'єктів та процесів та повинний удосконалюватися за рахунок постійного розвитку метрологічного



забезпечення технічних об'єктів виробництва і впровадженням відповідних засобів вимірювальної техніки і методик оцінки точності вимірювань.

Важливим питанням надійної та ефективної роботи технічних об'єктів у машинобудівній галузі, зокрема експлуатації станків та обробних центрів з ЧПК є забезпечення вимірювального контролю їх параметрів, що надає достовірну інформацію про їх технічний стан і точність виконання технологічних операцій.

Достовірність вимірювального контролю безпосередньо впливає на ефективність експлуатації таких високотехнологічних об'єктів машинобудівного виробництва як обробні центри, оснащені ЧПК.

З урахуванням вказаних чинників зрозуміло, що метрологічне забезпечення займає ключову ланку у складі системи підтримання високих експлуатаційних властивостей обробних центрів з ЧПК.

Оскільки станок з ЧПК являє собою достатньо складний багатофункціональний технічний об'єкт, що налічує у своєму складі не тільки апаратне технічне забезпечення, але тісно пов'язане з ним програмне забезпечення, то завдання удосконалення метрологічного забезпечення обробних центрів з ЧПК не обмежується лише обґрунтованим раціональним вибором відповідних технічних засобів у вигляді датчиків, проміжних вимірювальних перетворювачів, реєструючої апаратури, а вимагає також розробки та впровадження у систему ЧПК ефективних алгоритмів та відповідних інформаційних технологій для аналізу результатів вимірювань, адаптивного корегування режимів роботи як самого технологічного устаткування, так і раціональних режимів роботи засобів вимірювань як єдиної системи.

З точки зору удосконалення метрологічного забезпечення обробних центрів з ЧПК необхідно врахувати їх особливості як технічних об'єктів. Сучасний обробний центр з ЧПК – сукупність великої кількості комплектуючих елементів, які об'єднані електричними, електронними,

оптоелектронними, механічними зв'язками у певні вузли, підсистеми, блоки та призначені для виконання конкретних задач виробництва.

Системи керування, електронні обчислювальні пристрої, складні первинні засоби вимірювань обробних центрів з ЧПК налічують тисячі комплектуючих елементів. Тому складним є і характер зв'язків між ними.

З метрологічної точки зору, зміни параметрів функціонування одного або декількох елементів у складі обробного центру потенційно можуть значною мірою впливати на працездатність і ефективність експлуатації інших компонентів обробного центру. Крім того, кожний елемент не має безлімітного терміну експлуатації.

Як було розглянуто у першому розділі кваліфікаційної роботи, досвід експлуатації станків та обробних центрів з ЧПК свідчить про те, що їх характеристики (у тому числі параметри точності обробки) змінюються у часі унаслідок неминучого механічного зносу окремих елементів. Подібний знос та варіабельність технічних та метрологічних характеристик такого складного об'єкту та окремих його компонентів не може бути теоретично спрогнозований, а тому вимагає здійснення постійного вимірювального контролю параметрів у процесі експлуатації.

Наявність зв'язків між окремими підсистемами обробного центру викликає відповідні зміни в інших характеристиках зв'язаних елементів. При перевищенні певного рівня змін характеристик або їх групи, підсистема, блок втрачають свою працездатність і частково або повністю виходять з ладу.

Таким чином, розробка метрологічного забезпечення необхідна для вчасного прогнозування і запобігання зниження показників або втрати працездатності обробного центру з ЧПК

У машинобудівній галузі переважно застосовуються засоби вимірювань лінійно-кутових, механічних, оптичних фізичних величин.

При експлуатації сучасних станків та обробних центрів з ЧПК технічне забезпечення для виконання вимірювальних процедур обов'язково

поєднується з інформаційними та логічними операціями, що здійснюються системою ЧПК.

Використання сучасних засобів інформаційно-вимірювальної техніки, відповідного програмного забезпечення дозволяє організувати не тільки вимірювання технологічних параметрів, але і перейти до операцій контролю або діагностики, які передбачають більш досконалу обробку результатів вимірювання, наприклад, шляхом порівняння вимірюваного з заданою точністю (похибкою або невизначеністю) параметра з дійсним значенням, зіставлення з потрібним (встановленим, номінальним), оцінка припустимих границь варіації технологічного параметру в автоматичному режимі.

При виконанні вищезгаданих операцій виконується автоматичний контроль характеристик та параметрів обробного центру з ЧПК, які у підсумку є визначальними для нормального функціонування з паралельним та одночасним поєднанням їх з інформаційно-логічними процедурами у складі системи ЧПК.

Розробка методологічних основ у складі метрологічного забезпечення обробного центру з ЧПК полягає у реалізації виконання наступних завдань щодо вибору переліку контрольованих параметрів:

1. Контроль функціонування обробного центру з ЧПК, який передбачає аналіз виконання обробним центром функцій щодо обробки деталей з заданою точністю.
2. Контроль працездатності обробного центру з ЧПК, що може реалізуватися у двох варіантах:
  - а) допусковий;
  - б) кількісний.
3. Діагностичний контроль, метою якого є локалізація місця несправності та за можливості встановлення причин відмови устаткування.
4. Контроль з функцією прогнозування, тобто випереджальний.
5. Профілактичний, вибірковий контроль.

При розробці метрологічного забезпечення та визначенні параметрів для вимірювального контролю застосовуються моделі об'єкту вимірювань, які поділяються на наступні види [11]:

- Параметричні;
- Статистичні;
- Інформаційні;
- Функціонально-логічні.

При експлуатації обробних центрів з ЧПК основними параметрами, які підлягають вимірювальному контролю, є лінійно-кутові та механічні.

## **2.2. Аналіз та порівняння принципу дії первинних вимірювальних перетворювачів для контролю лінійно-кутових і механічних параметрів обробних центрів з ЧПК**

Датчик переміщення (механічний) - це пристрій, призначений для визначення лінійного або кутового положення контрольованого об'єкта, жорстко пов'язаного з чутливим елементом, за допомогою перетворення зміни його положення в відповідний вихідний сигнал, зручний для подальшої обробки або збору інформації. За способом перетворення датчики переміщення (механічні) найбільш часто поділяють на такі види:

- Резистивні;
- Реостатні;
- Ємнісні;
- Електромагнітні.

1. **Резистивні датчики** відносять до датчиків параметричного типу, принцип дії яких заснований на залежності електричного опору резистора від вимірюваного механічного переміщення об'єкта.

Залежно від призначення резистивні датчики поділяють на контактні і реостатні.

У контактних датчиках механічне переміщення об'єкта перетворюється в замкнуте або розімкнений стан контактів, керує електричним колом.

Переваги контактних датчиків:

- Простота і дешевизна;
- Простота регулювання чутливості;
- Можливість роботи на постійному і змінному струмі;
- Можливість контролю розмірів деталей з дуже високою точністю (менше 1 мкм).

Недоліки контактних датчиків:

- Наявність електричної дуги і іскріння на контактах, що знижує надійність їх роботи;
- Можливість отримання помилкових спрацьовувань в ланцюзі сигналу при наявності вібрацій або різких струсів установок.
- Контактні датчики широко застосовуються в системах автоматичного контролю та сортування розмірів, а також в системах автоматичної сигналізації різних фізичних величин.

У реостатних (потенціометричних) датчиках механічне переміщення перетворюється в зміну електричного опору кола.

**2. Реостатний датчик** являє собою резистор зі змінним опором, який може бути включений за схемою реостата або за схемою потенціометра.

Принципова схема реостатного датчика для вимірювання кутових переміщень буде така: складається з каркаса з обмоткою, по якій ходить движок з рухомим контактом.

Принцип дії його заснований на тому, що в залежності від кута повороту в рухомій частині датчика змінюється співвідношення опорів плечей.

Реверсивні реостатні датчики застосовуються в тих випадках, коли контрольована величина повинна змінюватися не тільки за абсолютним значенням, але і по напрямку (знаку).

На практиці частіше за інших використовуються константан, ніхром і манганін, що володіють низькою вартістю, високою питомою опором, що забезпечує високу точність вимірювання, і широким температурним діапазоном. Крім того, ці матеріали стійкі до зносу і корозії, що забезпечує хороший контакт з двигуном.

Щітки виконують у вигляді дротів, стрічок або роликів з бронзи, срібла, платиноіридєвого сплаву і інших пружних матеріалів. Провід реостата повинен бути покритий емаллю або шаром окислів, ізолюючих витки один від одного. Уздовж траєкторії движка ізоляція псується, а сам провід полірується.

Основні переваги реостатних датчиків:

- Простота конструкції;
- Можливість отримання прямолінійною характеристики;
- Відсутність необхідності подальшого посилення (якщо вони застосовуються для цілей вимірювання).

Основні недоліки:

- Низька надійність через наявність ковзного електричного контакту;
- Підгоряння контактів;
- Відносно велике переміщення движка і велике зусилля для його переміщення.

Реостатні датчики застосовуються для вимірювання великих переміщень (Десятки міліметрів) з точністю до 0,1 мм. В автоматичних системах движок реостата може бути механічно пов'язаний з супортом, клапаном або іншим рухомим елементом, положення якого потрібно вимірювати і передавати у вигляді електричного сигналу. При переміщенні

елемента переміщується і движок, викликаючи зміну струму і напруги в ланцюзі. Чим сильніше движок притискається до обмотці, тим надійніше контакт, але більше зусилля, потрібне для переміщення движка. Це викликає певні труднощі при конструюванні вимірювального приладу, так як зусилля, що розвивається чутливими елементами (мембранами, поплавками і т.п.), часто невелика.

3. **Ємнісні датчики** відносять до датчиків параметричного типу, принцип дії яких полягає в залежності ємності конденсатора від вимірюваного переміщення об'єкта.

Принцип дії ємнісних датчиків заснований на властивості конденсатора змінювати ємність зі зміною геометричних розмірів або діелектричної постійної.

Конденсатор в ланцюзі постійного струму може проводити струм в момент включення його в ланцюг (відбувається зарядка або перезарядка конденсатора), по закінченні перехідного процесу струм через конденсатор не тече, так як його обкладання розділені діелектриком. У ланцюзі же змінного струму він проводить коливання змінного струму за допомогою циклічної перезарядки конденсатора, замикаючись так званим струмом зсуву.

Для ємнісного датчика входними величинами можуть бути:

- Зазор між обкладинками;
- Площа перекриття обкладок;
- Діелектрична проникність.

Датчики ємнісного типу мають безліч переваг перед іншими:

- Форма датчика легко поєднується з різними конструкціями і поставленими завданнями;
- Не потрібно великих зусиль для пересування чутливого компонента;
- Можлива тривала експлуатація;

- Відсутні рухливі контакти;
- Підвищена чутливість;
- Малі витрати електроенергії;
- Невеликі габаритні розміри і маса;
- Технологічність при виготовленні, застосування дешевих матеріалів і речовин.

Ємнісні датчики відрізняються своєю простою конструкцією, що дає можливість створення надійних і міцних пристроїв. Властивості конденсатора залежать лише від геометричних параметрів і не мають залежності від властивостей застосовуваних матеріалів, за умови їх правильного підбору.

Недоліки:

- Робота на високій частоті;
- Підвищені вимоги до екранування елементів;
- Малий коефіцієнт перетворення.

При використанні ємнісних датчиків необхідно забезпечувати захист від помилкових спрацьовувань. Вони виникають через випадкове торкання, впливу атмосферних опадів, різних рідин.

Ємнісні датчики застосовуються в системах управління технологічними процесами і системах регулювання у всіх промислових виробництвах. Вони мають невисоку ціну і широкий спектр напрямків по використанню. Основними областями застосування датчиків стали:

- Підрахунок штучного товару;
- Регулювання натягу конвеєра;
- Сигналізація обриву провідника під час намотування;
- Контроль наповнення упаковки;
- Сигналізація при заповненні скляних і пластикових посудин.



4. Принцип дії **електромагнітних датчиків** заснований на залежності параметрів електромагнітної ланцюга від вимірюваного переміщення об'єкта.

Як вимірювані величини служать:

- Переміщення елемента магнітного ланцюга (сердечника або якоря);
- Переміщення елемента електричного кола (обмотки).

В результаті таких переміщень змінюється індуктивність  $L$  обмотки або її взаєміндуктивність  $M$  з обмоткою збудження. Тому в технічній літературі електромагнітні датчики часто називають індуктивними.

Індуктивні датчики зазвичай розглядають як параметричні, оскільки величини  $L$  і  $M$  залежать від переміщення  $X$ :  $L = f(X)$ ,  $M = f(X)$ .

Електромагнітні датчики зі змінною взаєміндуктивністю відносять до генераторного типу, оскільки в результаті змінюється ЕРС обмотки,

тобто  $E = f(X)$ . Так як ЕРС в вихідній обмотці з'являється за рахунок зміни коефіцієнта взаєміндукції з обмоткою збудження, то такі електромагнітні датчики називають трансформаторними. Адже обмотку збудження можна розглядати як первинну обмотку трансформатора, а вихідну обмотку - як вторинну.

Для виготовлення магнітопроводів застосовуються такі феромагнітні матеріали: технічно чисте залізо, якісна вуглецева сталь, сірий чавун, електротехнічна кремниста сталь, залізонікелеві сплави, залізокобальтові сплави і ін.

Для виготовлення обмоток найчастіше використовується мідний дріт. Це робиться через те, що мідь має мале електричний опір і високу електропровідність. Завдяки своїй гнучкості і механічній міцності, вона добре обробляється і погано піддається корозії.

Однак мідь - це досить цінний і дефіцитний метал. Висока вартість міді пов'язана з невеликими світовими запасами її руди. Через цього вартість металу постійно збільшується. На сьогоднішній день кращою альтернативою міді є алюміній. Але алюміній має меншу електропровідність. Також він менш гнучкий і поступається міді в межі міцності.

### **2.3. Розробка методики оцінки невизначеності багатократних вимірювань лінійно-кутових параметрів**

У сучасній метрологічній практиці при оцінці кількісних значень фізичних величин – технологічних параметрів необхідно забезпечити належну якість вимірювання.

*Якість результатів вимірювань* характеризується точністю, достовірністю, правильністю, збіжністю і відтворюваністю вимірювань, а також розміром допустимих похибок.

*Точність* - якість вимірів, що відбиває близькість їх результатів до істинного значення вимірюваної величини. Її кількісно оцінюють зворотною величиною модуля відносної похибки [13-15].

*Достовірність вимірювань* характеризує ступінь довіри до результатів вимірювань. Достовірність визначають на основі законів теорії ймовірності та математичної статистики.

*Правильність вимірювань* - якість вимірів, що відбиває близькість до нуля систематичних похибок в результатах вимірювань.

*Збіжність* - якість вимірів, що відбиває близькість один до одного результатів вимірювань, які виконуються в однакових умовах; також відображає вплив випадкових похибок.

*Відтворюваність* - така якість вимірювань, яка відображає близькість один до одного результатів вимірювань, які виконуються в різних умовах, у різний час, в різних місцях, різними методами і засобами [13-16].

На першому місці серед чинників, які взагалі характеризуються якістю вимірювання знаходиться така характеристика як точність. Згідно з діючими міжнародними стандартами [17-24] для оцінки точності вимірювань застосовується поняття невизначеності вимірювань.

Поняття невизначеності вимірювань використовується, як і термін «похибка», для оцінки точності та достовірності результатів вимірювань.

Невизначеність результату вимірювань зазвичай характеризується або середнім квадратичним відхиленням, або симетричними межами, тому усі систематичні похибки повинні коригуватися, а їх залишки відносять до розсіювання результатів вимірювань [25-27].

Результат вимірювань повинен мати кількісну оцінку його якості. Без такої оцінки результати вимірювань неправомірно порівнювати. У керуючому документі Міжнародної системи якості ISO такою оцінкою якості результату вважається його невизначеність.

У керуючому документі ISO наведені такі визначення [17-25].

Невизначеність вимірювання (НВ) – параметр, поєднаний з результатом вимірювань, що характеризує розсіювання значень вимірюваної величини.

Стандартна невизначеність – це невизначеність результату вимірювань, яка обчислюється за допомогою методів математичної статистики як середнє квадратичне відхилення.

Компоненти категорії А – це компоненти НВ, оцінка яких ґрунтується на статистичному аналізі ряду вимірювань.

Компоненти категорії В – це компоненти НВ, оцінка яких відбувається за допомогою будь-яких інших операцій.

Комбінована стандартна невизначеність – це стандартна невизначеність результату вимірювань, яку знаходимо на основі інформації про значення ряду інших величин (компонентів невизначеності) та яка дорівнює позитивному кореню із суми квадратів складових, зважених з урахуванням залежності

остаточного результату вимірювань від відповідних компонентів невизначеності.

Розширена невизначеність – НВ, її кількісне отримання ґрунтується на встановленні інтервалу в межах результату вимірювань, відносно якого можна вважати з певною ймовірністю, що більша частина розподілу значень вимірюваної величини знаходиться у зазначеному інтервалі.

При розрахунку кількісних значень лінійно-кутових технологічних параметрів при експлуатації обробного центру з ЧПК обираємо методику оцінку невизначеності для багатократних вимірювань, описану у літературі літературі [25-27].

#### 1. Розрахунок стандартної невизначеності категорії А.

Невизначеність категорії А розраховується на базі статистичного аналізу ряду вимірювань лінійно-кутових переміщень. Розрахунок цього виду невизначеності передбачає виконання прямих багаторазових вимірювань.

При експлуатації обробного центру з ЧПК багатократні вимірювання лінійно-кутових параметрів можуть бути реалізовані в автоматичному режимі згідно з алгоритмом та програмою, що розроблена для системи ЧПК.

Позначимо через  $z$  випадкову величину, що характеризується певним законом розподілу ймовірностей. В результаті багатократних вимірювань лінійно-кутових параметрів отримаємо випадкову вибірку. При розрахунках точності вимірювань скористаємося тим фактом, що достовірною оцінкою випадкових змін значень величини  $z$  при  $n$  незалежних вимірюваннях лінійних або кутових технологічних параметрів в однакових умовах  $z_k$ ,  $k = 1...n$  є математичне очікування  $m_z$ .

Оскільки розрахунок математичного очікування теоретично потребує наявності генеральної сукупності нескінченної величини, то на практиці замість математичного очікування використовується наближене значення – середнє арифметичне  $\bar{z}$  для вибірки з  $n$  результатів вимірювань:

$$\bar{z} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n z_k \quad (2.1)$$

Оцінка експериментальної дисперсії у даній методиці розрахунку:

$$\sigma^2(z_k) = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (z_k - \bar{z})^2 \quad (2.2)$$

Експериментальним середньоквадратичним відхиленням (СКВ) виступає позитивний квадратний корінь з дисперсії  $\sigma(z_k)$ . Тоді мірою невизначеності при вимірюванні лінійних, кутових, механічних величин  $z$  є статистичні експериментально знайдені параметри:

дисперсія середнього  $\sigma^2(\bar{z}) = \sigma^2 / n$ .

середньоквадратичне відхилення середнього  $\sigma(\bar{z})$ .

Для лінійних, кутових, механічних технологічних параметрів обробного центру з ЧПК, кількісне значення яких одержано шляхом незалежних рівноточних вимірювань  $z_k$ , стандартна невизначеність оцінки найбільш ймовірного значення вимірюваної величини:

$$u(z) = \sigma(\bar{z}) \quad (2.3)$$

При цьому  $u^2(z_k) = \sigma^2(\bar{z})$ . Параметри  $u^2(z_k) = \sigma^2(\bar{z})$  та  $u(z) = \sigma(\bar{z})$  – дисперсія за типом А та стандартна невизначеність типу А.

## 2. Розрахунок стандартної невизначеності типу В.

Якщо для оцінки найбільш ймовірного значення фізичної величини не використовуються багаторазові незалежні вимірювання, то для визначення кількісного значення невизначеності у цьому випадку використовується додаткова інформація, джерелами якої можуть бути [25-27]:

Документи заводу-виробника вимірювальної апаратури та приладів (технічні паспортні дані).

Знання, що ґрунтуються на досвіді, або знання о характеристиках та властивостях матеріалів, складових, пристроїв, експертна інформація.

Дані попередніх вимірювань в аналогічних умовах.

Дані випробувань, калібрування, сертифікації та акредитації.

Інформація про невизначеність, що отримана з літературних джерел.

3. Розрахунок комбінованої стандартної невизначеності (за відсутності кореляції між вхідними величинами) здійснюється за такою формулою [25-27]::

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^n \left[ \frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i), \quad (2.4)$$

де  $f$  – відома функціональна залежність, що з'єднує параметри, знайдені експериментально шляхом застосування прямих вимірювань з шуканою величиною  $y$ , яка вимірюється непрямим методом;  $y = f(x_1, \dots, x_n)$ ;  $u(x_i)$  – стандартна невизначеність для кожного параметра, вимірюного прямим методом.

4. Розрахунок розширеної невизначеності здійснюється шляхом множення стандартної комбінованої невизначеності на коефіцієнт  $K$ , який прийнято називати фактором покриття [25-27]::

$$U = K \cdot u_c(y), \quad (2.5)$$

де  $K$  – коефіцієнт, числове значення якого вибирається залежно від закону розподілу ймовірностей та прийнятого рівня довіри.

#### **2.4. Розробка моделі вимірювання лінійних параметрів обробного центру з ЧПК**

У цьому підрозділі розглянемо модель вимірювання, яка може бути рекомендована для застосування при вимірювальному контролі лінійних розмірів деталей, виготовлених на обробних центрах з ЧПК. Запропонована модель вимірювань може бути рекомендована при здійсненні контролю якості виробів.

Об'єктом вимірювань у даному випадку виступає металевий виріб, виготовлений із застосуванням обробного центру з ЧПК, лінійні параметри якого повинні бути визначені з метою оцінки якості.

Вимірювання товщини металевого виробу здійснюється контролером відділу технічного контролю з застосуванням мікрометра (у якості прикладу для опису пропонованої методики розглянемо мікрометр МК-50). Мікрометр має наступні основні метрологічні характеристики: ціна поділки  $C$ ; межа припустимої похибки  $\Delta l$ .

Для підвищення точності вимірювань та достовірності оцінки якості металевого виробу рекомендується проводити багатократні вимірювання з оцінкою розширеної невизначеності. Розширена невизначеність за стандартною методикою обробки результатів багатократних досліджень оцінюється для довірчої ймовірності  $P=0,95$ .

У якості умов проведення операцій технічного контролю якості металевих виробів розглядаються типові кліматичні фактори в умовах виробничого приміщення відділу технічного контролю.

При складанні моделі вимірювань, перш за все, слід визначити категорії чинників, які впливають на результати та похибки (невизначеності) вимірювань.

Серед таких чинників обов'язково враховуються наступні:

1. Клас точності мікрометра.
2. варіації значень температури по відношенню до номінальної;
3. неточність зчитування результатів спостережень оператором;
4. випадкові фактори під час вимірювань.

Після складання переліку впливаючих чинників можна записати аналітичну модель рівняння вимірювань у вигляді суми зазначених компонентів:

$$l = l_0 + \Delta_0 + \overset{0}{\Delta} + \Delta_t, \quad (2.6)$$

де  $l_0$  - покази приладу (мікрометру);

$\Delta_0$  - похибка знаття показів оператором;

$\overset{0}{\Delta}$  - випадкова складова похибки вимірювань;

$\Delta_t$  - додаткова складова похибки, від впливу температури.

На наступному етапі необхідно розрахувати стандартні невизначеності для компонентів рівняння (2.6).

Стандартна невизначеність типу А за умови здійснення серії багатократних спостережень за параметром товщина деталі, виготовленої на обробному центрі з ЧПК, розраховується наступним чином:

$$u_A(\overset{0}{\Delta}) = S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{30} (l_i - \bar{l})^2}{30(30-1)}}, \quad (2.7)$$

де  $\bar{l}$  - середнє арифметичне значення. Рекомендована кількість спостережень за товщиною металевого виробу складає не менш, ніж 10. У даному випадку обираємо вибірку експериментальних даних, яка складається з 30 елементів.

Стандартна невизначеність типу В для результатів вимірювань (показів) мікрометра розраховується в умовах ситуації, коли закон розподілу цієї складової невідомий, що дає підстави прийняти рівномірний закон. Тоді формула набуває наступного вигляду:

$$u_B(l_0) = \frac{b-a}{2\sqrt{3}}. \quad (2.8)$$

Стандартна невизначеність від впливу варіації значень температури у виробничому приміщенні повинна розраховуватись, спираючись на довідкову інформацію про питоме розширення металу  $\alpha$ , з якого виготовляється виріб.

Тоді формула для розрахунку границь температурної похибки наступна:

$$\Delta = \alpha \cdot l \cdot \Delta_t. \quad (2.9)$$

Для переходу від виразу меж у вигляді (2.9) до оцінки невизначеності за категорією В скористаємося виразом:



$$u_B(\Delta_t) = \frac{\Delta}{\sqrt{3}}. \quad (2.10)$$

В обраній моделі вимірювань необхідно визначити коефіцієнти впливу, кожного з впливаючих чинників, описаних вище. Скористаємося позначеннями:  $x_1 = l_0$ ;  $x_2 = \Delta_0$ ;  $x_3 = \overset{0}{\Delta}$ ;  $x_4 = \Delta_t$ .

Коефіцієнти впливу визначаємо за формулою:

$$\frac{\partial f}{\partial x_1} = \frac{\partial l}{\partial l_0} = \frac{\partial(l_0 + \Delta_0 + \overset{0}{\Delta} + \Delta_t)}{\partial l_0} = \frac{\partial l_0}{\partial l_0} + \frac{\partial \Delta_0}{\partial l_0} + \frac{\partial \overset{0}{\Delta}}{\partial l_0} + \frac{\partial \Delta_t}{\partial l_0} = 1 + 0 + 0 + 0; \quad (2.11)$$

Для наступних коефіцієнтів 2-4 розрахунки будуть аналогічними, тобто:

$$\frac{\partial f}{\partial x_1} = \frac{\partial f}{\partial x_2} = \frac{\partial f}{\partial x_3} = \frac{\partial f}{\partial x_4} = 1. \quad (2.12)$$

Формально, при складанні та використанні моделі вимірювань необхідно враховувати кореляцію між її параметрами. У даному випадку можна обґрунтовано вважати, що зазначені чинники є незалежними. Окрім того, згідно з діючим керівництвом з вираження невизначеності, кореляцією при складанні моделі вимірювань можна знехтувати.

Тоді, спираючись на запропоновану модель, сумарна стандартна невизначеність вимірювання лінійних розмірів деталі, виготовленої на обробному центрі з ЧПК, виражається наступним чином:

$$u_c(l) = \sqrt{u_A^2(\overset{0}{\Delta}) + u_B^2(l_0) + u_B^2(\Delta_t) + u_B^2(\Delta_0)}. \quad (2.13)$$

Останній етап оцінки невизначеності вимірювання лінійних розмірів деталі полягає у розрахунку розширеної невизначеності:

$$U = k_p \cdot u_c(l).$$

### **3. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОЦІНКА МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ОБРОБНОГО ЦЕНТРУ, РОЗРОБКА ВІРТУАЛЬНОГО СТЕНДУ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ РОЗРАХУНКІВ**

#### **3.1. Розробка віртуального стенду для моделювання та обробки результатів багатократних вимірювань лінійних розмірів**

З метою автоматизації розрахунку метрологічних характеристик вимірювальної системи обробного центру з ЧПК необхідно виконати наступні етапи:

а) створення віртуальної моделі для отримання вибірок, які підпорядковуються певному закону розподілу;

б) перевірка відповідності отриманих у результаті моделювання вибірок закону розподілу;

в) розробка алгоритмічного та програмного забезпечення для розрахунку метрологічних характеристик, що забезпечує оцінку наступних параметрів:

- експериментальна оцінка математичного очкування вибірки у вигляді середнього арифметичного значення:

- експериментальна оцінка дисперсії;

- розрахунок середнього квадратичного значення;

- побудова гістограми;

- розрахунок стандартної невизначеності за типом А;

- розрахунок стандартної невизначеності за типом В;

- розрахунок сумарної стандартної невизначеності;

- розрахунок розширеної невизначеності;

г) розробка людино-машинного інтерфейсу користувача прикладного програмного забезпечення;

д) розробка керівництва користувача.

Для створення віртуальної моделі обране середовище програмування LabView [26-28], оскільки воно забезпечує розв'язання широкого кола завдань, пов'язаних зі збором, аналізом, обробкою та представленням інформації у вигляді результатів вимірювань. Окрім цього, середовище має потужні інструменти у вигляді бібліотек функції для моделювання випадкових величин, статистичної обробки, фільтрації даних тощо.

При розробці віртуального стенду для моделювання випадкових вибірок необхідно враховувати, що згенеровані програмно вибірки є обмеженими за обсягами та отримані на базі алгоритмів з генерування псевдовипадкових величин, тому результати моделювання повинні пройти процедуру ідентифікації закону розподілу.

В цілому ідеальним варіантом для оцінки результатів вимірювань та метрологічних характеристик є наявність так званої генеральної сукупності даних, під якою розуміється сукупність абсолютно усіх без виключення одиниць об'єкту (процесу) вимірювань, зокрема, усіх одиниць, що підпорядковуються меті вимірювального експерименту.

На практиці під час експериментальних досліджень, а також в умовах проведення модельного експерименту, отримати генеральну сукупність у повному обсязі неможливо унаслідок ресурсних, технічних та часових обмежень. Тому замість генеральної сукупності у метрологічній практиці застосовується так звана вибіркова сукупність (яку спрощено для скорочення називають вибіркою).

Вибіркова сукупність – це тільки обмежена частини одиниць, які приналежать (входять до складу) генеральної сукупності. При створенні програмної моделі для отримання вибірок випадкових величин слід враховувати, що вибіркова сукупність не є результатом випадкового вилучення певних даних з генеральної, а повинна відбиратися спеціальним методом, повинна містити певний обсяг даних, оскільки призначена для отримання характеристик усієї генеральної сукупності.

При створенні віртуального лабораторного стенду у середовищі LabView розроблена програмна модель реалізує можливості моделювання різних законів розподілу для випадкової вибірки результатів вимірювання:

1. Рівномірний.
2. Трикутний.
3. Нормальний.

На рис. 3.1 показаний інтерфейс користувача (лицьова панель віртуального інструменту) для випадку моделювання випадкової вибірки на основі застосування генератора псевдовипадкових чисел з рівномірним законом розподілу.

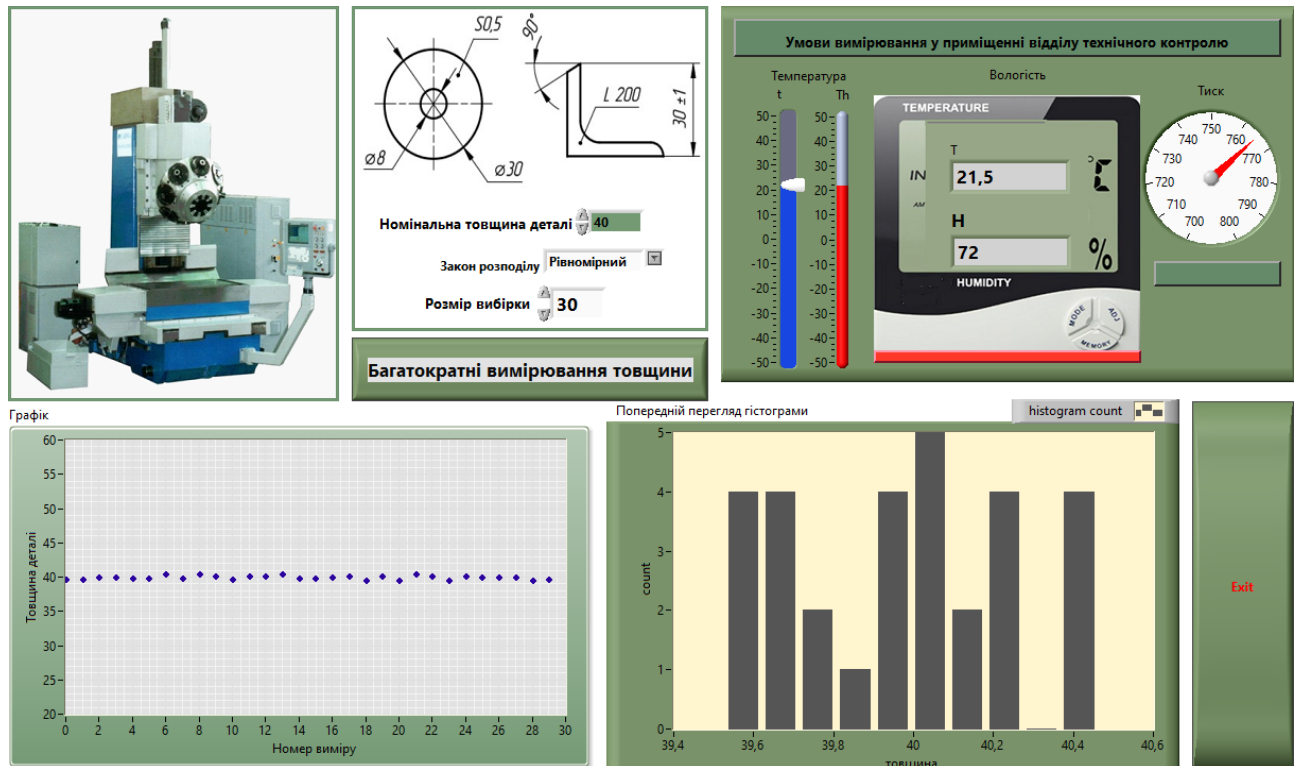


Рис. 3.1. Лицьова панель віртуального стенду для моделювання багатократних вимірювань товщини деталі (рівномірний закон розподілу)

Віртуальний лабораторний стенд дозволяє виконати моделювання багатократних вимірювань товщини деталі, яка була виготовлена за допомогою обробного центру з ЧПК.

Програмна модель дозволяє користувачу обирати наступні параметри моделювання:

1. Номінальну товщину деталі.
2. Розмір вибірки.
3. Закон розподілу.
4. Параметри навколишнього середовища для умов вимірювання у відділі технічного контролю.

Результатом роботи розробленої програмної моделі є формування вибірки результатів вимірювання товщини, яка записується у файл. На лицьову панель виводиться графік з елементами вибірки, а також доступний попередній перегляд гістограми розподілу випадкових даних.

Для отримання псевдовипадкових чисел у програмній моделі використана вбудована у середовище графічного програмування LabView функція для генерування випадкових чисел з рівномірним законом розподілу у діапазоні від 0 до 1.

У випадку генерування вибірки псевдовипадкових чисел з рівномірним законом розподілу оцінка математичного очікування і дисперсії теоретично (тобто в ідеальному випадку) повинні бути наступними:

$$m_r = \frac{\sum_{i=1}^n r_i}{n} = 0.5$$

$$D_r = \frac{\sum_{i=1}^n (r_i - m_r)^2}{n} = \frac{1}{12}$$

На базі застосування стандартної функції отримання вибірки в діапазоні від 0 до 1, в програмі додається зміщення для того, щоб отримана експериментальна оцінка математичного очікування для згенерованої вибірки збігалася з номінальною товщиною деталі, заданою користувачем у якості вхідних параметрів моделі.

Якщо програмний генератор псевдовипадкових чисел видає елементи вибірки, які зміщені у якийсь бік заданого інтервалу розподілу, то тоді, результати моделювання можуть виявитися невірними.

Для перевірки відповідності отриманої випадкової вибірки певному закону розподілу проводиться процедура ідентифікації закону розподілу, яка зазвичай складається з двох етапів:

1. Висунення гіпотези про можливий закон розподілу.
2. Перевірка висунутої гіпотези на базі залучення формальних критеріїв.

Перший етап, як правило передбачає наближену оцінку шляхом застосування графічних способів, наприклад, у вигляді побудови гістограми. Для вирішення цього завдання у графічних інтерфейс користувача програми доданий графік попереднього перегляду гістограми розподілу для згенерованої вибірки псевдовипадкових величин.

Другий етап може бути реалізований у кожному конкретному випадку на основі застосування критерію  $\chi^2$ .

На рис. 3.2 показаний зовнішній вигляді інтерфейсу користувача для генерування вибірки даних, які підпорядковуються трикутному закону розподілу.

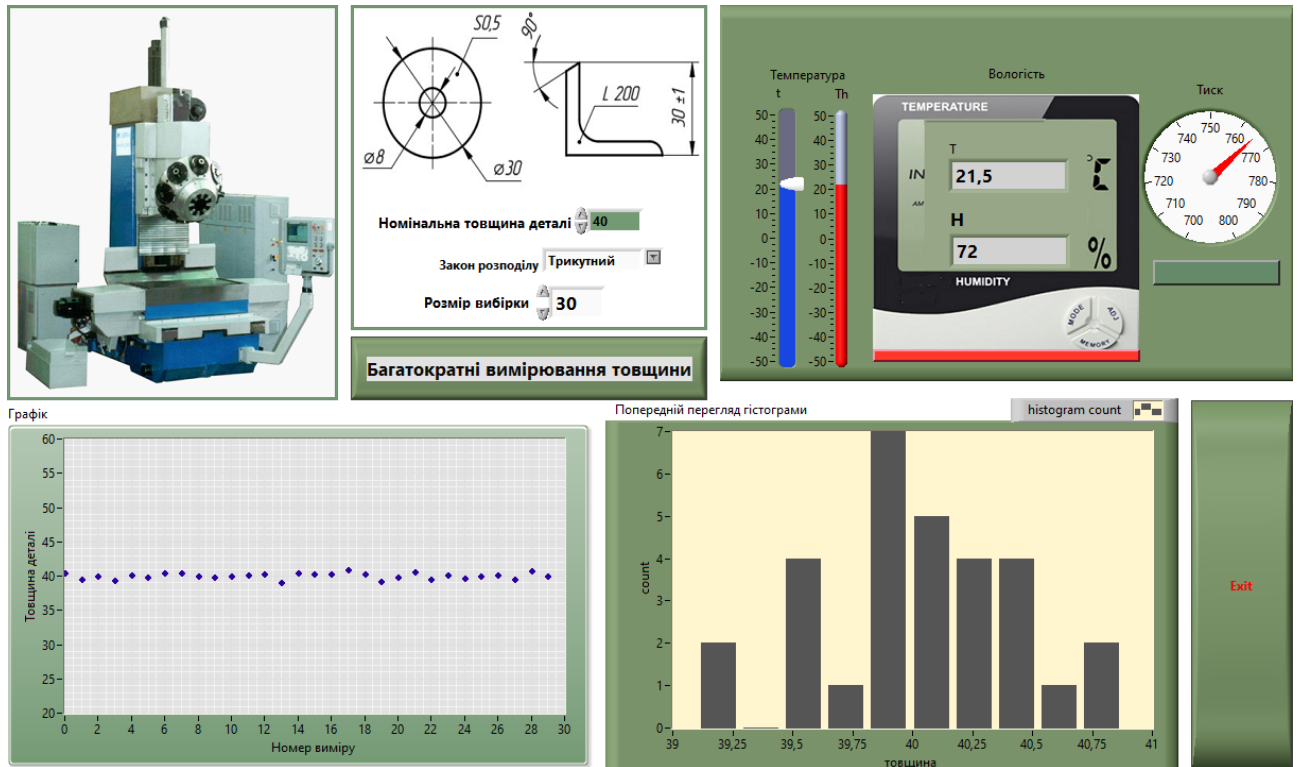


Рис. 3.2. Лицьова панель віртуального стенду для моделювання багатократних вимірювань товщини деталі (трикутний закон розподілу)

Згідно з теоретичними викладками, трикутний закон розподілу можна отримати на базі генератору випадкових величин з рівномірним законом. Трикутний розподіл (розподіл Сімпсона) програмно можна отримати шляхом додавання або віднімання двох випадкових змінних, які підпорядковуються рівномірному закону розподілу. Таким чином, програмна реалізація отримання вибірки з трикутним законом розподілу достатньо проста і компактна.

На рис. 3.3 показана лицьова панель розробленого віртуального стенду для отримання вибірки з нормальним законом розподілу.

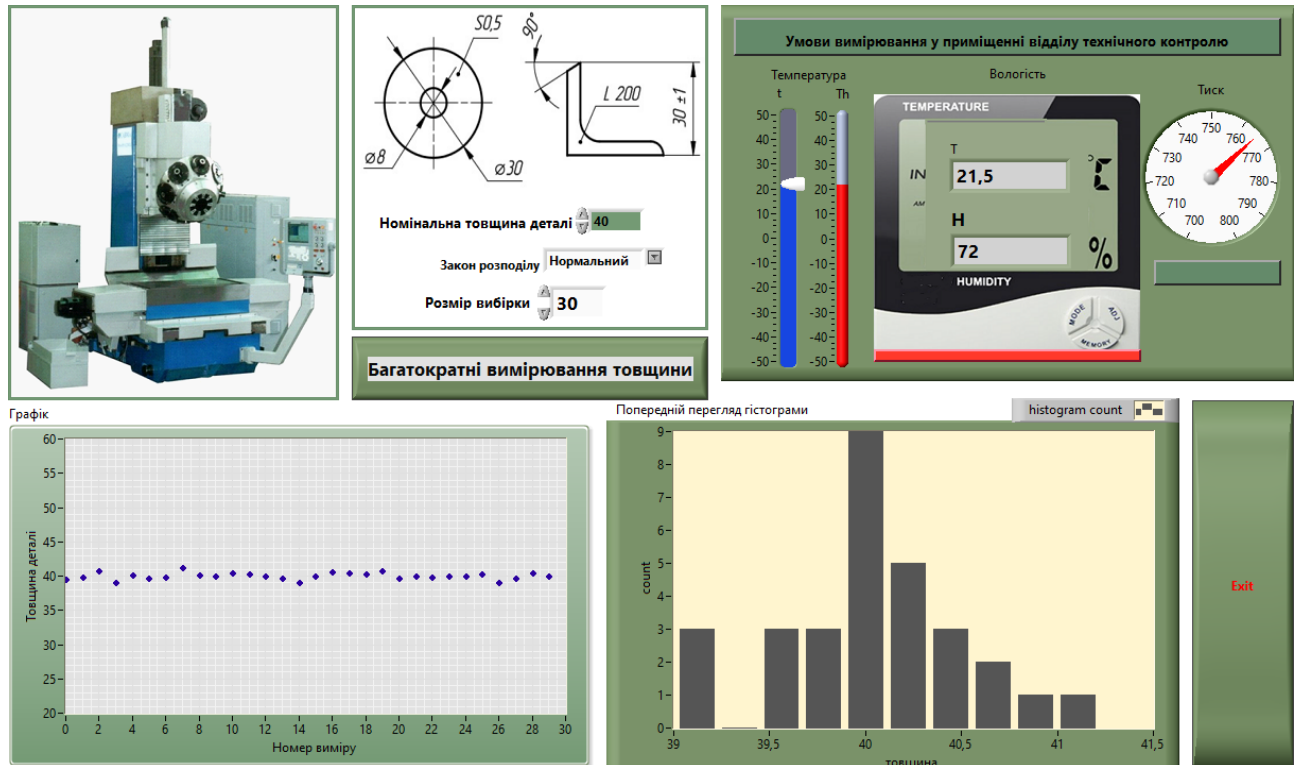


Рис. 3.3. Лицьова панель віртуального стенду для моделювання багатократних вимірювань товщини деталі (нормальний закон розподілу)

### 3.2. Перевірка адекватності моделі

Виконавши аналіз отриманих вибірок та побудованих для них гістограм можна прийти до висновку, що гістограми відрізняються за формою від «ідеальних» для відповідних законів розподілу. Це пояснюється невеликим обсягом вибірок  $n=30$ . Так, наприклад, згідно відомостям з літератури [30], для ідентифікації закону розподілу необхідний обсяг вибірки не менш, ніж 200 елементів.

Тому при перевірці адекватності розробленої моделі було використано спеціально згенеровану вибірку великого розміру (200 елементів), для неї побудовано гістограму та виконано перевірку на відповідність нормальному закону розподілу з застосуванням критерію  $\chi^2$ :

$$\chi^2\text{-квadrat} = \chi^2 = \sum \frac{(f_o - f_e)^2}{f_e},$$



де  $f_0$  – вираження вибірки у вигляді спостережуваних частот потраплянь у інтервали розбиття,  $f_e$  – набір очікуваних частот. Таким чином, ця статистика дозволяє оцінити наскільки добре вхідні набори даних відповідають висунутій гіпотезі  $f_e$ .

При використанні критерію виконано наступні кроки:

1. Розраховано різницю між  $f_0$  та  $f_e$  для кожної з категорій.
2. Різниця возводиться у квадрат (для того, щоб усі відхилення мали позитивний знак і не компенсували один одного).
3. Квадрат різниці ділиться на величину  $f_e$ .
4. Розраховується сума усіх категорій.

Лицьова панель з отриманим графіком гистограми для вибірки розміром 200 елементів показана на рис. 3.4.

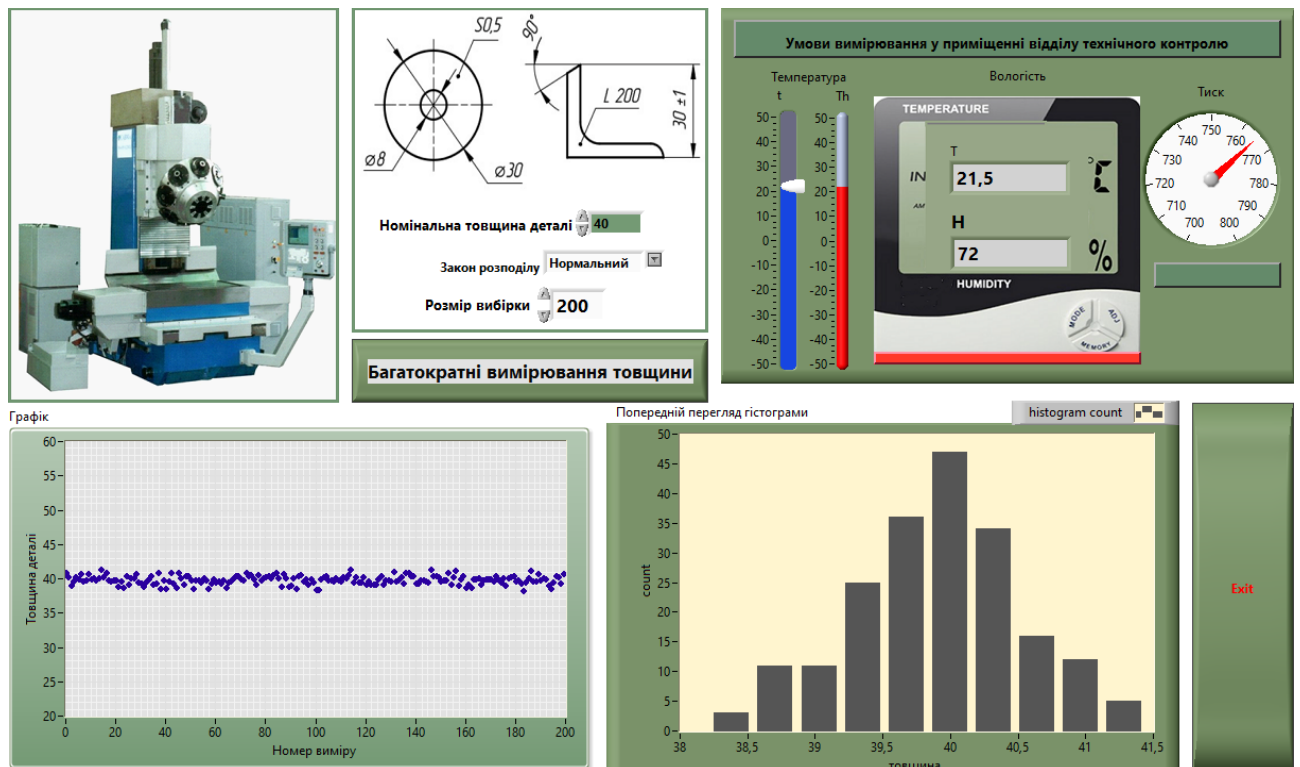


Рис. 3.4. Лицьова панель віртуального стенду для моделювання багатократних вимірювань товщини деталі (нормальний закон розподілу), розмір вибірки 200 елементів

Застосування критерію  $\chi^2$  дозволило обгрунтовано підтвердити гіпотезу про нормальний закон розподілу та, відповідно, адекватність розробленої моделі.

### 3.3. Розрахунок невизначеності вимірювань товщини деталі, виготовленої на обробному центрі з ЧПК

На основі отриманих модельних даних щодо багатократних вимірювань товщини деталі, виготовленої на обробному центрі з ЧПК, застосовано методику оцінки невизначеності багатократних вимірювань товщини деталі [30].

1. Рівняння вимірювань:

$$l = l_0 + \Delta_0 + \dot{\Delta} + \Delta_t$$

де  $l_0$  – результат спостережень на базі використання мікрометра;  $\Delta_0$  - неточність зчитування показів оператором;  $\dot{\Delta}$  - випадкова складова похибки;  $\Delta_t$  – температурна похибка.

$$l_0 = \frac{1}{30} \sum_{i=1}^{30} l_i = 40,177(\text{мм})$$

На величину невизначеності, оціненої за типом В, безпосередньо впливає закон розподілу випадкових величин – результатів вимірювань (рис.3.5).

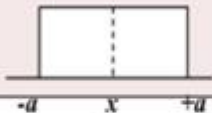
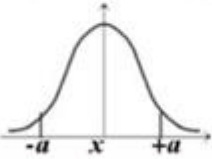
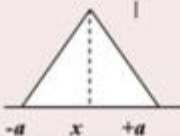
Розподіл	Вигляд	Формула для розрахунку стандартної невизначеності
Прямокутний		$u_B = \frac{a}{\sqrt{3}}$
Нормальний		$u_B = \frac{a}{2}$
Трикутний		$u_B = \frac{a}{\sqrt{6}}$

Рис. 3.5. Залежність формул розрахунку невизначеності від закону розподілу

## 2. Стандартні складові невизначеності вимірювань параметрів:

- Стандартна складова невизначеність для показів, знятих з мікрометра:

$$u_B(l_0) = \frac{b - a}{2\sqrt{3}} = \frac{0,004}{\sqrt{3}} = 2,31 \text{ мкм.}$$

- Стандартна невизначеність зчитування оператором  $u_B(\Delta_0)$  :

$$u_B(\Delta_0) = \frac{b - a}{2\sqrt{3}} = \frac{0,005}{\sqrt{3}} = 2,89 \text{ мкм.}$$

- Стандартну невизначеність для складової випадкової, тобто невизначеність типу А:

$$u_A(\dot{\Delta}) = S_x = \sqrt{\frac{1}{30(30 - 1)} \sum_{i=0}^{30} (l_i - \bar{l})^2} = 0,12 \text{ мм}$$

$$\dot{\Delta}_{\text{дов}} = S_x * t_{0,95;29} = 0,12 * 2,0930 = 0,25 \text{ мм}$$

- Стандартна невизначеність від впливу температури  $u_B(\dot{\Delta})$  з урахуванням питомого розширення металу (свинець), з якої виготовлена

$\alpha = 29 * 10^{-6} \text{C}^{-1}$ . Тоді стандартна невизначеність від впливу температури:

$$\Delta = \alpha * l * \Delta_t = 29 * 10^{-6} * 40,17 * 5 = 5,8 \text{ мкм.}$$

○ Складову стандартної невизначеності від впливу температури:

$$u_B(\Delta_t) = \frac{\Delta}{\sqrt{3}} = 3,36 \text{ мкм.}$$

3. Обчислення коефіцієнтів впливу.

$$\begin{aligned} \frac{\partial f}{\partial x_1} = \frac{\partial l}{\partial l_0} = \frac{\partial(l_0 + \Delta_0 + \dot{\Delta} + \Delta_t)}{\partial l_0} &= \frac{\partial l_0}{\partial l_0} + \frac{\partial \Delta_0}{\partial l_0} + \frac{\partial \dot{\Delta}}{\partial l_0} + \frac{\partial \Delta_t}{\partial l_0} = \\ &= 1 + 0 + 0 + 0; \end{aligned}$$

Для інших змінних:

$$\frac{\partial f}{\partial x_1} = \frac{\partial f}{\partial x_2} = \frac{\partial f}{\partial x_3} = \frac{\partial f}{\partial x_4} = 1.$$

4. Приймаємо незалежність вхідних впливів один від одного, тобто кореляцію у подальших обчисленнях не враховуємо.

5. Сумарна стандартна невизначеність:

$$\begin{aligned} u_c(l) &= \sqrt{u_B(l_0)^2 + u_B(\Delta_0)^2 + u_A(\dot{\Delta})^2 + u_B(\Delta_t)^2} = \\ &= \sqrt{2,31^2 + 2,89^2 + 120^2 + 3,36^2} = 120 \text{ мкм} \end{aligned}$$

6. Розширена невизначеність розраховується у залежності від коефіцієнту покриття (охоплення). Коефіцієнт залежить від закону розподілу (табл.3.1).

Таблиця 3.1.

Коефіцієнти охоплення розподілів невизначеності вхідних величин

Передбачуваний розподіл невизначеності вхідної величини	Імовірність охоплення $P$ , якій відповідає $U(x_i)$	Коефіцієнт охоплення $k$
Рівномірний розподіл	0,99 – 1,0	1,73

»	0,95	1,65
Нормальний розподіл	1 (Межа допустимих значень)	3
»	0,99 ( $U(x1)$ первинних та вторинних еталонів)	2,6
»	0,95 ( $U(x1)$ робочих еталонів)	2
Невідомий розподіл	–	2

Оскільки у даному випадку переважаючою за чисельним розміром є випадкова складова невизначеності з нормальним законом розподілу, то при виборі фактору покриття також обираємо нормальний закон розподілу, тоді розширена невизначеність дорівнює:

$$U = k_p * u_c(l) = 2 * 120 = 240 \text{ мкм}$$

Результати складання бюджету невизначеності наведено у табл. 3.2.

Таблиця 3.2.

## Бюджет невизначеності

Параметр	Кількісне значення	Станд. Невизн., мкм	Закон розп.	Кількість ступенів свободи	Коеф. впливу	Оцінка вкладу у сумарну невизн., мкм
$l_0$	40,17мм	2,31	Рівномірн.	$\infty$	1	2,31
$\Delta_0$	$\pm 0,005$ мм	2,89	Рівномірн.	$\infty$	1	2,89
$\dot{\Delta}$	$\pm 0,25$ мм -	120	Нормальн.	19	1	120
$\Delta_t$	$\pm 5^\circ\text{C}$	3,36	Рівномірн.	$\infty$	1	3,36
$l$	40,08мм	120	Нормальн.	28	Коеф. охопл.= 2	$U = 240;$ $P = 0,95$

## 4. ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

Для виробництва більш якісної продукції за допомогою обробного центру з ЧПК слід ретельно контролювати слід контролювати безліч параметрів характеризуючих якість продукції, серед яких точність у розмірах форми і положенні вироблених деталей яка може контролюватись за допомогою вимірювальної головки.

В цьому розділі ми розглянемо економічні витрати на встановлення фрезерувального станка та визначимо наступне:

- 1) капітальні витрати на придбання, доставку відповідного обладнання.
- 2) річні експлуатаційні витрати об'єкта

### 4.1. Розрахунок капітальних витрат.

Капітальні витрати включають в себе витрати на закупівлю обладнання, витрати на транспортування та витрати на монтаж та наладку і розраховуються за формулою 5.1 [31].

$$K = B_o + B_{mp} + B_m, \quad (4.1)$$

де  $B_o$  – витрати на обладнання, грн.;

$B_{mp}$  – витрати на транспортування, грн.;

$B_m$  – витрати на монтаж та наладку, грн.

Таблиця 4.1 Перелік комплектуючих

№	Найменування витрат	Кількість	Вартість за одиницю, грн	Загальна вартість, грн
1	Обробний центр з ЧПК	1	1 113 000,00	1 113 000,00
2	Вимірювальна голівка	1	16 500,00	16 500,00
3	Базовий набір фрез	1	2 000,00	2 000,00
Всього	1 131 500,00			

Витрати на транспортування складають 56 575,00 грн (5% від вартості обладнання)

Витрати на монтаж, пуск і налагодження системи складаються з витрат на плату відповідним працівникам, звірившись з середніми цінами на ринку можна сказати, що передбачувана вартість даної процедури приблизно 10 000,00 грн. .

$$K = 1\,131\,500,00 + 56\,575,00 + 10\,000,00 = 1\,198\,075,00 \text{ грн}$$

Капітальні витрати на придбання та налагодження обладнання складають 1 198 075,00 грн.

#### 4.2. Розрахунок експлуатаційних витрат.

До основних статей експлуатаційних витрат відносять:

- амортизація основних засобів  $C_a$ ;
- заробітна плата обслуговуючого персоналу  $C_z$ ;
- відрахування на соціальні заходи від заробітної плати  $C_c$ ;
- витрати на ремонт та технічне обслуговування  $C_{p.m.o.}$ ;
- вартість електроенергії, споживаної об'єктом проектування  $C_{ee}$ ;
- інші витрати  $C_{ини}$ .

Таким чином, річні експлуатаційні витрати складуть:

$$C_e = C_a + C_z + C_c + C_{p.m.o.} + C_{ee} + C_{інш}, \quad (4.2)$$

#### 4.2.1. Розрахунок амортизаційних відрахувань

Амортизація об'єкта основних засобів нараховується виходячи з терміну його корисного використання. Строк корисного використання (експлуатації) об'єктів основних засобів і нематеріальних активів визначається підприємством самостійно, виходячи з очікуваних економічних вигод, технічних і якісних характеристик основного засобу, морального і фізичного зносу, а також інших факторів, які можуть вплинути на можливість використання. Термін корисного використання об'єктів основних засобів для нарахування амортизації, який приймається дипломником, не може бути менше мінімально допустимих термінів корисного використання (табл. 4.3)

Таблиця 4,2 Терміни експлуатації засобів

Група	Основні засоби	Термін корисного використання, років
3	Будівлі	20
	Споруди	15
	Передавальні пристрої	10
4	Машини і обладнання	5
	ЕОМ, машини для автоматичної обробки інформації, пов'язані з ними засоби зчитування або друку інформації, комп'ютерні програми, інформаційні системи тощо.	2
5	Транспортні засоби	5



6	Інструменти, прилади, інвентар (меблі)	4
---	--	---

Обладнання належить до 4 та 6 групи за нормами нарахування амортизації основних засобів. Передбачуваний термін експлуатації становить 5 років для обробного центру та 4 роки для додаткового обладнання

Податковим кодексом України дозволено використовувати прямолінійний (пропорційний) метод амортизації, при якому річна сума амортизації визначається діленням вартості, яка амортизується, на строк корисного використання об'єкта основних засобів. Вартістю основних засобів і нематеріальних активів, що амортизується, є первісна або переоцінена вартість основних засобів і нематеріальних активів за вирахуванням їх ліквідаційної вартості:

$$\Phi_a = \Phi_n - L, \quad (4.3)$$

де  $\Phi_a$  – первісна (або переоцінена) вартість об'єкта основних засобів;  
 $L$  – розрахункова ліквідаційна вартість основних засобів.

Якщо визначити очікувану ліквідаційну вартість об'єкта основних засобів складно (як в цьому випадку), то при прямолінійному методі амортизації дозволяється вважати її рівною нулю.

Норма амортизації при прямолінійному методі постійна протягом усього амортизаційного періоду і дорівнює:

$$Na = \frac{\Phi_n - L}{\Phi_n \cdot T_n} \cdot 100, \% \quad (4.4)$$

Де  $T_n$  термін корисного використання (амортизаційний період).

Тоді річні амортизаційні відрахування АО за прямолінійним методом:

$$AO = \frac{\Phi_{\text{п}} \cdot \text{На}}{100} \text{ або, } AO = \frac{\Phi_{\text{п}} - \Phi_{\text{л}}}{T_{\text{п}}} \quad (4.5)$$

Річний фонд амортизаційних відрахувань визначається за видами основних фондів і нематеріальних активів за розділами зведення капітальних витрат для проектного варіанту і за даними підприємства про балансову вартість замісного устаткування для базового варіанту.

Таблиця 4.3 Розрахунок амортизаційних відрахувань.

№	Найменування	Капітальні інвестиції тис. грн.	Норма амортизації, %	Сума амортизації, тис. грн.
1	Обробний центр з ЧПК	1 178,65	0,2	235,73
2	Вимірювальна голівка	17,325	0,25	4,33
3	Базовий набір фрез	2,1	0,25	0,53
Всього				240,59

#### 4.2.2. Номінальний річний фонд робочого часу одного працівника:

$$T_{\text{ном.рік}} = (T_{\text{к}} - T_{\text{вих.св}} - T_{\text{відп}}) \cdot T_{\text{зм}} \quad (4.6)$$

де,  $T_{\text{к}}$  – календарний фонд робочого часу, дні ( $T_{\text{к}} = 365$ );

$T_{\text{вих.св}}$  – вихідні дні та свята, дні ( $T_{\text{вих.св}} = 118$ );

$T_{\text{відп}}$  – відпустка, дні ( $T_{\text{відп}} = 21$ );

$T_{\text{зм}}$  – тривалість зміни, год ( $T_{\text{зм}} = 8$ ).

Таким чином, річний фонд робочого часу працівника складе:

$$T_{ном.рік} = (365 - 118 - 21) \cdot 8 = 1808 \text{ годин}$$

Безпосередньо у процесі виготовлення деталей задіяний один оператор.

Розрахунок річного фонду заробітної плати працівників здійснюється у відповідності з формою, наведеною в таблиці 4.5.

Таблиця 4.4 Розрахунок заробітної плати персоналу

Найменування професії робітників	Явочний штат у зміну, осіб	Годинна тарифна ставка, грн	Номинальний річний фонд робочого часу	Основна заробітна плата, грн	Додаткова заробітна плата, грн	Річний фонд заробітної плати, грн
Фахівець-фрезерувальник	1	57,00	1 808	103 056,00	10 305,60	113 361,60

Відрахування на соціальні заходи складуть:

$$C_c = 0,22 \cdot C_z \quad (4.7)$$

$$C_c = 0,22 \cdot 113\,361,60 = 24\,939,55 \text{ грн.}$$

Річні витрати на технічне обслуговування й поточний ремонт електротехнічного встаткування й мереж включають витрати на матеріали, запасні частини, заробітну плату ремонтником.

Витрати, пов'язані з ремонтом та технічним обслуговуванням обладнання, становлять 4 % від вартості капітальних вкладень, тобто:

$$C_{p.t.o.} = 1\,198\,075,00 \cdot 0,04 = 47\,923,00 \text{ грн.} \quad (4.8)$$

Розрахуємо вартість електроенергії, споживаної устаткуванням:

$$C_{ee} = K_e \cdot K_{\partial} \cdot T, \quad (4.9)$$

де  $K_e$  – кількість електроенергії, що споживається за годину, кВт/год;

$K_{\partial p}$  – кількість днів у році,  $K_{\partial p} = 365$  днів;

$T$  – тариф на електроенергію для підприємств (для користувачів електроенергії 2 класу тариф складає 1,64 грн за кВт/год без ПДВ. З урахуванням ПДВ тариф складає 1,968 грн за кВт/год).

Виходячи з технічних характеристик споживання електроенергії за годину, становить 3,7 кВт/год.

Витрати на електроенергію будуть становити:

$$C_{ee} = 3.7 \cdot 365 \cdot 8 \cdot 1,968 = 21\,262,272 \text{ грн,}$$

Інші витрати з експлуатації системи містять витрати з охорони праці, на спецодяг та інше. Згідно практики, ці витрати визначаються в розмірі 4% від річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу:

$$C_{\text{інш}} = C_3 \cdot 0,04 \quad (4.10)$$

$$C_{\text{інш}} = 113\,361,60 \cdot 0,04 = 4\,534,46 \text{ грн.}$$

За формулою 4.3 розраховуємо річні експлуатаційні витрати:

$$C_e = 25\,303,20 + 113\,361,60 + 24\,939,55 + 2\,530,33 + 3\,448,00 + 4\,534,46 = 193\,114,7 \text{ грн.}$$

Розраховані експлуатаційні витрати представлено в таблиці 4.5.

*Таблиця 4.5 Експлуатаційні витрати*

Найменування показника	Сума, грн
Сума нарахованої амортизації	240 590,00
Фонд заробітної плати	113 361,60
Відрахування на соціальне страхування	24 939,55
Ремонт і технічне обслуговування	47 923,00
Електроенергія	21 262,27
Інші витрати	4 534,46
Разом	452 610,88.

### **4.3.Висновки**

В даному розділі був проведений розрахунок капітальних та експлуатаційних витрат Капітальні витрати на закупівлю та налагодження обладнання складають 1 198 075,00 грн. а щорічні експлуатаційні витрати становлять 452 610,88 грн.

## 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

### 5.1. Небезпечні і шкідливі виробничі чинники під час роботи фрезерувальника

Основні шкідливі та небезпечні виробничі фактори, які можуть діяти на фрезерувальника під час виконання робіт.

- ураження електричним струмом;
- рухомі частини фрезерного верстата та незахищений робочий інструмент;
- підвищені рівні шуму та вібрації;
- падіння заготовок та готових деталей;
- теплові опіки рук при знятті з верстата неохолоджених деталей;
- стружка деталей, які обробляються;
- підвищена запиленість та загазованість робочої зони.

Слід виключати порушення правил експлуатації верстатів і обробних центрів, так як наприклад, при перевищенні режимів різання та відсутності захисного скла або інших захисних пристроїв можливі травмування працівників фрезами.

Найбільшу небезпеку для фрезерувальників представляють неогорожені дискові та торцеві фрези зі вставними ножами, використовувані при фрезеруванні на горизонтально- і вертикально-фрезерних верстатах, оскільки може відбутися виліт вставних ножів. Для того щоб виключити можливість травмування фрезерувальників фрезами під час обертання, необхідно застосовувати захисні екрани і щитки.

Нещасні випадки можуть статися при закріпленні деталі або знятті її з верстата, коли руки працівника знаходяться поблизу неогороженої фрези. Неправильно підібрані або несправні пристосування для закріплення заготовок також становлять небезпеку для верстатників. Через недостатньо надійне закріплення можливий вирив заготовки і травмування працюючих.

Велику небезпеку для верстатників і оточуючих представляє відлітаюча стружка. Вона розлітається на значні відстані від верстата, має високу

температуру (400-600 °C) і велику кінетичну енергію, тому може бути причиною травмування очей і опіків шкіри.

## **5.2. Інженерно-технічні заходи з охорони праці**

### **5.2.1. Засоби пасивної безпеки**

До роботи допускаються лише ті особи, які мають кваліфікаційне посвідчення про присвоєння професії фрезерувальник та придатні за станом здоров'я. Перед допуском до самостійної роботи, після отримання вступного інструктажу, первинного інструктажу, попереднього спеціального навчання з питань охорони праці, перевірки знань з охорони праці, яка проводиться за екзаменаційними білетами, перевірки вмінь та навичок безпечного виконання робіт, фрезерувальник повинен пройти безпосередньо на робочому місці стажування протягом 2-15 змін, під керівництвом досвідченого та кваліфікованого фрезерувальника. Допуск до самостійної роботи здійснюється при високих результатах стажування, перевірки вміння та навичок безпечного виконання робіт [32].

Фрезерувальник повинен знати: основні вимоги з охорони праці, передбачені інструкцією, інструкціями за видами робіт та інструкціями заводів-виготовлювачів з експлуатації верстатів, що використовується у роботі; правила безпечного використання слюсарного та спеціального контрольно-вимірювального інструменту; властивості шкідливих та отруйних речовин для організму людини; правила користування засобами колективного та індивідуального захисту; порядок надання першої долікарняної допомоги потерпілим при нещасних випадках; правила внутрішнього трудового розпорядку.

Фрезерувальник повинен пам'ятати, що дотримання вимог інструкцій є основною вимогою запобігання нещасним випадкам. Порухення фрезерувальником вимог інструкцій розглядається як порушення ним трудової дисципліни, за яке до нього може бути застосовано стягнення згідно з чинним законодавством.

Згідно з відомчими нормами безкоштовної видачі спецодягу та засобів індивідуального захисту, фрезерувальнику видається наступний спецодяг:

- При виконанні робіт з рясним охолодженням скипидаром, гасом та мастилами:
  - Комбінезон віскозно-лавсановий .
  - Черевики шкіряні .
  - Окуляри захисні
- При виконанні робіт з сухої обробки деталей:
  - Комбінезон віскозно-лавсановий .
  - Черевики шкіряні .
  - Респіратор ..
  - Окуляри захисні.
- При виконанні робіт з рясним охолодженням емульсією:
  - Комбінезон віскозно-лавсановий .
  - Черевики хромові .
  - Окуляри захисні .
- При постійній роботі по обробці деталей з магнієвого сплаву:
  - Костюм бавовняний з вогнезахисним просоченням .
  - Черевики хромові.

До робочого місця фрезерувальника та інструменту, який використовується протягом робочого дня, ставляться такі вимоги:

- на кожному робочому місці біля верстата на підлозі повинні бути дерев'яні трапи на всю довжину робочої зони і шириною не менше 0,6



м від частин верстата, що виступають; усі рухомі частини верстата повинні бути зачинені та огорожені; робоче місце фрезерувальника повинно мати достатнє освітлення, у тому числі, і місцеве;

- пускові пристрої, електродвигуни, а також металеве обладнання, яке може опинитись під напругою, повинні бути заземленими;
- оброблювані заготовки, що виступають за габарити обладнання, повинні бути огорожені і мати надійні, стійки підтримуючі пристрої;
- верстати, під час роботи на яких виділяється стружка або іскра, повинні бути забезпечені зручними для експлуатації запобіжними пристроями з досить міцним склом або іншим прозорим матеріалом для захисту очей.

### **5.2.2. Дотримання правил особистої гігієни.**

Особиста гігієна фрезерувальника сприяє запобіганню професійним отруєнням і захворюванням.

Для запобігання простудним захворюванням необхідно стежити, щоб одяг і взуття не були мокрими, уникати протягів, не допускати переохолодження і перегрівання тіла. Фрезерувальник зобов'язаний виконувати вимоги санітарних норм, зокрема:

- утримувати у чистоті і порядку робоче місце;
- правильно і дбайливо користуватись санітарно-побутовими приміщеннями, спецодягом і індивідуальними засобами захисту;
- утримувати спецодяг і спецвзуття у справному стані і чистому вигляді;
- для запобігання шкірним захворюванням при користуванні охолоджуючими рідинами (емульсії, масла тощо) необхідно перед початком роботи змастити руки спеціальними пастами;
- перед кожним прийманням їжі мити руки водою з милом;

- дотримуватись питного режиму з урахуванням особливостей умов праці;
- дотримуватись режиму праці і відпочинку;
- при появі температури чи інших ознак захворювання негайно звертатись до лікаря.

### 5.3. Пожежна профілактика

До самостійного виконання фрезерувальних робіт допускаються лише повнолітні особи, які пройшли медичний огляд та спеціальне навчання для роботи на верстатах, вступний інструктаж з охорони праці, інструктаж на робочому місці та інструктаж з питань пожежної безпеки.

Базові та найпоширеніші вимоги з пожежної безпеки:

- Не виконувати вказівок, які суперечать правилам охорони праці та пожежної безпеки.
- Постійно пам'ятати про особисту відповідальність за додержання правил охорони праці, пожежної безпеки і безпеки товаришів по роботі.
- Знати розташування первинних засобів пожежегасіння та вміти ними користуватися.
- У разі виникнення пожежі викликати пожежну частину та приступити до гасіння її наявними засобами пожежогасіння:  
Вимкнути електроенергію. Пам'ятати, що електромережу, електрообладнання гасити тільки вуглекислотними порошковими вогнегасниками, азбестовими ковдрами, піском. При займанні матеріалів, стружки з магнію та його сплавів користуватися виключно спеціальною емульсією.

- Користуватися за призначенням спецодягом та засобами індивідуального захисту.
- Виконувати вимоги технологічного процесу, особливо під час обробки матеріалів з металів та сплавів, які мають схильність до самозапалення (магній, його сплави тощо).

### 5.3.1. Заходи з ергономіки

Розглянемо заходи з ергономіки з метою оптимізації трудової діяльності оператора, створення для нього комфортних і безпечних умов, підвищення за рахунок цього його продуктивності, збереження здоров'я і працездатності.

Робоче місце - це зона, у якій відбувається трудова діяльність виконавця або групи виконавців. Робочі місця можуть бути індивідуальними й колективними, універсальними, спеціалізованими й спеціальними.

Загальні вимоги, які повинні дотримуватися при проектуванні робочих місць:

- достатній робочий простір для людини;
- оптимальне положення тіла працюючого;
- достатні фізичний, зоровий і слуховий зв'язок між людиною й машиною;
- оптимальне розміщення інформаційного й моторного поля;
- наявність засобів захисту від виробничих небезпек.

Робочі місця можуть бути оснащені засобами адміністративного зв'язку і сигналізації, складання, копіювання, збереження і пошуку текстових документів, виконання креслярських робіт і відображення аудіовізуальної

інформації, обчислювальної техніки, іншими технічними засобами і пристроями, настільною оргтехнікою і канцелярськими пристосуваннями.

#### Організація робочого місця фрезерувальника

Організоване робоче місце фрезерувальника, передбачає раціональне розташування устаткування і оснащення. Продумане розташування інструменту, заготовок та готової продукції створює зручні та безпечні умови праці на робочому місці. Всі предмети і інструменти, органи управління обладнанням повинні знаходитися в межах досяжності витягнутих рук робочого, так, щоб не робити зайвих нахилів, поворотів та інших рухів, що викликають додаткові витрати часу і прискорюють стомлюваність робітника.

При розташуванні поряд декількох фрезерних верстатів, інструментальні шафи повинні бути винесені за межі робочих місць так як це може заважати пересуванню самого фрезерувальника. Підлога має бути рівною, без вибоїн і нерівностей на підлозі не повинно бути патьоків і крапель масел. Слід своєчасно очищати верстат від стружки і охолоджуючої рідини спеціальними засобами. Рівень шуму на робочому місці повинен бути не вище 70 дБ. Оптимальне освітлення - 200 лк.

#### **5.4. Розрахунок теплових надлишків в приміщенні**

Робота в приміщеннях, обладнаних обчислювальною технікою неможлива без забезпечення в них оптимальних показників температури повітря, вологості та його швидкості руху. Для дотримання комфортних умов праці необхідно розрахувати всі виділення і витрати тепла в приміщенні. Оскільки більш складна ситуація виникає при забезпеченні метрологічних показників в літню пору, тому основну увагу приділимо визначенню теплових надходжень у приміщення з обчислювальною технікою, та вибору методів для їх виведення [33].

Джерелами тепловиділень в громадських приміщеннях є штучне освітлення, електроприлади, люди, що знаходяться в приміщенні, сонячне тепло, яке потрапляє через вікна і стіни.

Виділення тепла від джерел штучного освітлення

Розрахунок виділення тепла від джерел штучного освітлення  $Q_{OCB}$ , кВт, визначається по формулі

$$Q_{OCB} = N\eta \quad (5.1)$$

де  $N$  - сумарна потужність джерел освітлення, кВт;  $\eta$  - коефіцієнт теплових витрат ( $\eta = 0,92...0,97$  для ламп накаливання,  $0,55$  - для люмінесцентних ламп).

$$Q_{OCB} = 0.075 \times 6 \times 0.92 = 0.414$$

### **Виділення тепла від радіотехнічних приладів і комп'ютерних систем**

Для розрахунку виділення тепла від комп'ютерних систем, радіотехнічних установок і пристроїв обчислювальної техніки використовується попередня формула (5.1), у якій  $\eta=0,3...0,5$  для радіотехнічних пристроїв і  $0,4...0,7$  для пристроїв обчислювальної техніки і комп'ютерних систем.

### **Виділення тепла від працюючих машин, механізмів, станків, електродвигунів**

Найбільше розповсюдженим двигуном машини, механізмів, станків є електродвигун, на валу якого відбувається видозміна електричної енергії в механічну. Механічна енергія завдяки тертю частин механізмів переходить в тепло. Теплові виділення від електродвигунів можна визначити по формулі:

$$Q_{дв} = N_{дв} (1 - \eta_{кпд}) \quad (5.2)$$

де  $N_{дв}$  – номінальна потужність електродвигуна, кВт;  $\eta_{кпд}$  – к.п.д. електродвигуна.

$$Q_{дв} = 3.7 \times 0.2 = 0.74$$

### **Виділення тепла від людей**

Тепловиділення організму людини залежать від важкості роботи, температури і швидкості руху навколишнього повітря. Розрізняють явне і скрите тепло, що виділяється з організму людини. Їх співвідношення залежить як від мускульної роботи так і від параметрів навколишнього середовища. Зі збільшенням інтенсивності роботи і температури збільшується доля скритого

тепла. При температурі повітря 36 °С все тепло, що виробилось в організмі, віддається шляхом випаровування, а при більш високих температурах виводиться з організму виводиться і тепло, що передається за допомогою повітря.

Тепловиділення від однієї людини в залежності від температури повітря та інтенсивності роботи.

Кількість тепла, що виділяється від однієї людини визначається за формулою

$$Q_{\text{л}} = nq \text{ кВт} \quad (5.3)$$

де  $q$  – кількість загального тепла, що виділяє одна людини, кВт;  $n$  – кількість людей в приміщенні.

Вважається, що жінка виділяє 85%, а дитина - 75% тепла яке виділяє дорослий чоловік.

$$Q_{\text{л}} = 170$$

### **Виділення тепла від сонячної радіації**

В теплу пору року, при температурі навколишнього повітря 10 0С і вище, в загальному тепловому балансі приміщення необхідно враховувати також тепло, що надходить в нього через осклянілі поверхні і покриття.

Розрахунок кількості тепла, що надходить у приміщення від сонячної радіації:

- для зашкленних поверхонь

$$Q_{\text{оск}} = F_{\text{зас}} q_{\text{зас}} A_{\text{зас}} \quad (5.4)$$

- для покрить

$$Q_n = F_n q_n \quad (5.5)$$

де  $F_{\text{зас}}$ ,  $F_n$  - відповідно, площі поверхні засклення і покриття,  $\text{м}^2$ ;  $q_{\text{зас}}$ ,  $q_n$  - відповідно, питомі тепловиділення від сонячної радіації,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ , через  $1\text{м}^2$  поверхні засклення (з урахуванням орієнтації по сторонах світу, табл. 5.1) і через  $1\text{м}^2$  покриття ( $q_n = 21$  для географічної широти 45;  $q_n = 17$  для географічної широти 55);  $A_{\text{зас}}$  - коефіцієнт характеру засклення (табл.5.2).

З двох варіантів в якості розрахункового приймається той, де більша кількість тепловиділень

$$Q_{\text{оск}} = 3 \times 185 \times 0.8 = 444$$

Таблиця 5.1

Виділення тепла від сонячної радіації через засклення  $q_{\text{зас}}$ ,  $\text{Вт}/\text{м}^2$

Характер Засклення	При орієнтації засклення і географічній широті							
	Південь		Півд - Схід і Півд - Захід		Схід і Захід		Півн - Схід і Півн - Захід	
	45	55	45	55	45	55	45	55
Вікна з плетіннями: дерев'яними	145	145	128	145	145	170	75	75
металевими	185	185	165	185	185	200	95	95

Таблиця 5.2

Значення коефіцієнта  $A_{\text{зас}}$

№	Характер засклення, його стан	$A_{\text{зас}}$
1	Подвійне засклення в одній рамі	1,15
2	Одинарне засклення	1,45
3	Звичайне забруднення	0,8
4	Сильне забруднення	0,7
5	Забілювання вікон	0,6
6	Засклення з матовим склом	0,7
7	Зовнішнє зашторювання вікон	0,25

Для зменшення надходження тепла через вікна, рекомендується по можливості орієнтувати вікна на північ, примінити подвійне застклення, забілку застклення, штори, жалюзі, карниз. В результаті використання вказаних захисних пристроїв, теплові надходження від сонячної радіації можуть бути зменшені до 60 % (табл. 5.3). При розрахунках вони враховуються за допомогою коефіцієнту  $k$ , який вводиться в формулу (5.5).

Таблиця 5.3

Захисний пристрій	$K$
при шторах між віконними рамами	0,5
при внутрішніх шторах на вікнах	0,4
жалюзі	0,5

Надлишки загальної теплоти, що підлягають виведенню з приміщення, представляють собою в тепловому балансі різницю між кількістю тепла, що надійшло і кількістю тепла, що було використане.

$$Q_{\text{надл}} = Q_z - Q_m \quad (5.6)$$

де  $Q_z$  - загальні теплові надходження в приміщення, кВт;  $Q_m$  - теплові витрати приміщення, які враховуються в тепловому балансі в холодну пору року, при різниці температур зовнішнього і внутрішнього повітря більше 5 °С.

$$Q_{\text{надл}} = 259.846 - 258 = 1,846$$

Загальні теплові надходження в приміщення, визначають як суму зовнішніх і внутрішніх теплових потоків:

$$Q_z = Q_1 - Q_2 \quad (5.7)$$

де  $Q_1$  - зовнішні теплові притоки, кВт;  $Q_2$  - внутрішні теплові притоки.



$$Q_3 = 431 - 171.154 = 259.846$$

Для визначення зовнішніх теплових надходжень необхідно знати об'єм приміщення  $V$ :

$$Q_1 = qV - Q_{\text{оск}} + Q_{\text{п}} \quad (5.8)$$

де  $q$  – коефіцієнт тепловіддачі;  $q = 30$ , якщо не має сонця в приміщенні,  $q = 35$  – якщо частина вікон розташована з сонячної сторони;  $q = 40$  – якщо всі вікна розташовані з сонячної сторони.

$$Q_1 = 35 \times 25 - 444 = 431$$

Внутрішні теплові надходження в приміщення розраховуються за формулою:

$$Q_2 = Q_{\text{кс}} + Q_{\text{осв}} + Q_{\text{л}} + Q_i \quad (5.9)$$

де  $Q_{\text{кс}}$  – виділення тепла від комп'ютерних систем;  $Q_{\text{л}}$  – виділення тепла від людей;  $Q_i$  – виділення тепла від інших приборів, які знаходяться в приміщенні наприклад холодильники ( $\eta = 0,3$ ), електрочайники ( $\eta = 0,3$ ), радіотехнічні пристрої та ін.

$$Q_2 = 0.414 + 0.74 + 170 = 171.154$$

### 5.5. Вибір систем кондиціонування

Для вибору кондиціонера необхідно визначити його потужність, яка забезпечить нормалізацію кліматичних умов в приміщенні.

Потужність кондиціонера можна визначити за формулою

$$L = kQ_{\text{надл}}; \text{кВт} \quad (5.10)$$

де  $k$  – коефіцієнт, що враховує величину втрат холодопродуктивності кондиціонера,  $k = 1,1$  – якщо кондиціонер встановлений в приміщенні,  $k = 1,15$  – якщо кондиціонер встановлений поза приміщенням.

$$L = 1.1 \times 1.846 = 2.03$$

Визначивши необхідну потужність кондиціонера, був обраний тип кондиціонерів, який здатен забезпечити необхідні кліматичні умови, а саме G09LN з потужністю охолодження та нагрівання 2.6 кВт.

### **Висновок**

У даному розділі розглянуто нормативні документи з експлуатації та ергономіки ознайомившись із якими можна скоротити кількість порушень техніки безпеки, пожежної безпеки, охорони праці, підвищити продуктивність праці та уповільнити появу професійних захворювань, травм при виконанні робіт із верстатами або обробними центрами. Було розраховано кількість теплових надлишків та обране відповідне технічне рішення для забезпечення відповідних умов праці.

## Висновок

Актуальність розробки пояснюється необхідністю моделювання віртуального стенду з метою дослідження та оцінки метрологічних характеристик вимірювальної системи обробного центру.

У кваліфікаційній роботі проаналізований та досліджений об'єкт контролю, визначені використовувані засоби вимірювання і їх параметри.

Результати, отримані в процесі експлуатації створеної моделі максимально наближені до реальних і підтверджують якість відпрацювання завдання.

У розділі охорони праці було проведено опис та розрахунок шкідливих та небезпечних факторів, які можуть виникнути при експлуатації обробних центрів, а також запобіжні заходи для уникнення впливу шкідливих факторів на життєдіяльність людини. В економічному розділі був проведений розрахунок капітальних та експлуатаційних витрат. Капітальні витрати на закупівлю відповідного обладнання становлять 1 198 075,00 грн. а щорічні експлуатаційні витрати становлять 452 610,88 грн.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Технология программирования и эксплуатация станков с ЧПУ: учебное пособие / Д. Г. Мирошин, Т. В. Шестакова, О. В. Костина. Екатеринбург: Изд-во Рос. гос. проф.-пед. ун-та, 2011. 79 с.
2. Босинзон М. А. Современные системы ЧПУ: их эксплуатация: учебное пособие / М. А. Босинзон. Москва: Академия, 2009. 192 с.
3. Васин А. Н. Основы программирования обработки на станках с ЧПУ: учебное пособие / А. Н. Васин. Саратов: Изд-во СГТУ, 1997. 90 с.
4. Гжиров Р. И. Программирование обработки на станках с ЧПУ / Р. И. Гжиров. Санкт-Петербург: Политехника, 1990. 588 с.
5. Обработывающий центр с ЧПУ: описание, общие положения  
Электронный ресурс, режим доступа: <https://www.axissteel.ru/centr-s-chpu/>
6. [http://www.delcamural.ru/cam/nc\\_checker](http://www.delcamural.ru/cam/nc_checker)
7. Лабораторный практикум по металлорежущим станкам: учебное пособие / А.В. Проскоков, А.П. Чурбанов; Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 118 с.
8. Практикум по расчету и проектированию измерительных механизмов: учебное пособие / Г. Н. Мигачева. Екатеринбург: Изд-во Рос. гос. проф.-пед. ун-та, 2017. 83 с. Режим доступа: <http://elar.rsvpu.ru/978-5-8050-0648-8>.
9. <https://sapr.ru/article/23077>.
- 10.Крюков О.М., Флорін О.П. Основы метрологічного забезпечення: навч. пос. – Харків: ХНАДУ, 2010 – 208 с.
- 11.Володарський Є.Т. та ін. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю: навч. пос. – Вінниця: ВДТУ, 2001. – 219 с.

12. Н. А. Кузнецов, Н. С. Ковальов, Е. А. Садигов, А. В. Шмідт основи метрології, стандартизації сертифікації в землеустрою. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. Воронеж 2001.
13. <http://um.co.ua/6/6-12/6-120369.html>
14. [http://www.ni.biz.ua/2/2\\_12/2\\_128419\\_v-kakoy-forme-mozhet-bit-virazhena-pogreshnost-kakovi-osnovnie-sostavlyayushchie-pogreshnostey-izmereniya.html](http://www.ni.biz.ua/2/2_12/2_128419_v-kakoy-forme-mozhet-bit-virazhena-pogreshnost-kakovi-osnovnie-sostavlyayushchie-pogreshnostey-izmereniya.html).
15. JCGM 100:2008 GUM 1995 зі змінами, оцінювання даних вимірювання – Керівництво щодо виразу невизначеності вимірювань.
16. JCGM 200:2008 Міжнародний словник метрології – Основні та загальні концепції та терміни.
17. JCGM 104:2009. Evaluation of measurement data – An introduction to the "Guide to the expression of uncertainty in measurement" and related documents.
18. JCGM 102:2011. Evaluation of measurement data – Supplement 2 to the "Guide to the expression of uncertainty in measurement" – Extension to any number of output quantities.
19. JCGM 106:2012. Evaluation of measurement data – The role of measurement uncertainty in conformity assessment.
20. Directive 2014/32/EU of the European Parliament and of the Council of 26 February 2014 on the harmonisation of the laws of the Member States relating to the making available on the market of measuring instruments (recast) Text with EEA relevance.
21. ДСТУ ISO/TS 21749:2013 (ISO/TS 21749:2005, IDT) Національний стандарт України. Невизначеність вимірювання в метрологічній практиці. Повторні вимірювання та ієрархічні експерименти.
22. Настанова з оцінювання невизначеності вимірювання результатів кількісних випробувань: Технічний звіт EUROLAB № 1/2006//Переклад

- з англ. та науково-технічне редагування: А. В. Абрамов; А. М. Коцюба, В. М. Новіков. – Київ, Євролаб-Україна, 2008. – 51 с.
23. Корсун В.І., Белан В.Т., Глухова Н.В. Метрологія, стандартизація, сертифікація, акредитація: Навч. посібник. – Д.: Національний гірничий університет, 2011. – 147 с.
24. Дорожовець М., Стадник Б., Мотало В., Василюк В., Ковальчик А., Борек Р. Основи метрології: Підручник для студентів. Том.1. – Львів: Вид-во Національного університету «Львівська політехніка», 2005. – 532 с.
25. Дорожовець М., Стадник Б., Мотало В., Василюк В., Ковальчик А., Борек Р. Основи метрології: Підручник для студентів. Том.2. – Львів: Вид-во Національного університету «Львівська політехніка», 2005. – 654 с.
26. Asmundis Riccardo de (ed.) LabVIEW: A Flexible Environment for Modeling and Daily Laboratory Use. ITeXLi, 2021. — 161 p.
27. Глухова Н.В. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Віртуальні вимірювальні пристрої» студентами спеціальності 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка / Н.В. Глухова, Д.В. Славінський, Ю.М. Харламова // Дніпро: НТУ «Дніпровська політехніка», 2020. – 48 с.
28. Глухова Н.В. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Віртуальні вимірювальні прилади» студентами спеціальності 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка / Н.В. Глухова, Д.В. Славінський, Ю.М. Харламова // Дніпро: НТУ «Дніпровська політехніка», 2020. – 37 с.
29. Ціделко В.Д., Яремчук Н.А. Невизначеність вимірювання. Обробка даних і подання результату вимірювання: Монографія. – К.: ІВЦ «Видавництво «Політехніка»», 2002. – 176 с.

- 30.Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни метрологія та вимірювання студентами спеціальності 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка / Н.В. Глухова – Дніпро: НТУ «ДП», 2020. – 34 с. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [https://do.nmu.org.ua/pluginfile.php/305752/mod\\_resource/content/1/%D0%9A%D0%9F%20%D0%9C%D0%92%20%D0%93%D0%BB%D1%83%D1%85%D0%BE%D0%B2%D0%B0%202020.pdf](https://do.nmu.org.ua/pluginfile.php/305752/mod_resource/content/1/%D0%9A%D0%9F%20%D0%9C%D0%92%20%D0%93%D0%BB%D1%83%D1%85%D0%BE%D0%B2%D0%B0%202020.pdf).
- 31.Методичні вказівки до виконання економічної частини дипломного проєкту для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / НТУ «Дніпровська політехніка», каф. ПЕПтаПУ. – Д.: НТУ «ДП», 2020. – 16 с.
- 32.ПІ 1.1.23- 206 -2002. Примірня інструкція з охорони праці для фрезерувальника [Електронний ресурс]. Режим доступу: [https://dnaop.com/html/33283/doc-%D0%9F%D0%86\\_1.1.23-206\\_-2002](https://dnaop.com/html/33283/doc-%D0%9F%D0%86_1.1.23-206_-2002)
- 33.Методичні вказівки з виконання розділу „Охорона праці” в кваліфікаційних роботах магістрів інституту електроенергетики. /Уклад. В.І. Голінько, Я.Я. Лебедєв, В.Є. Колесник – Дніпропетровськ: НТУ «ДП» – 10 с.