

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Вбудована система контролю геометричних параметрів деталей у виробничому процесі з використанням лазерних вимірювальних сенсорів
Назва теми

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 12 «Інформаційні технології»
Шифр назви

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»
Шифр назви

Освітня програма «Комп'ютерна інженерія та програмування»
Назва

КВРКІ 022001.22.03.43 ПЗ

Виконав здобувач IV курсу, група КІ2-22-1

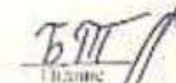
Керівник

Науковий ступінь, учене звання

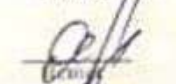
Нормоконтролер канд. фіз.-мат. наук, доц.
Науковий ступінь, учене звання

До захисту допускаю:
завідувач кафедри КІС
«14» червня 2026 р.

дата


Підпис

Тарас БАДОІ
Ініціали, прізвище


Підпис

Василь СТЕЦЮК
Ініціали, прізвище


Підпис


Тетяна КИСІЛЬ
Ініціали, прізвище


Підпис

Ольга ПАВЛОВА
Ініціали, прізвище

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Інформаційних Технологій
Кафедра Комп'ютерної Інженерії та Інформаційних Систем
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань 12 Інформаційні Технології
Спеціальність 123 Комп'ютерна Інженерія
Освітня програма «Комп'ютерна Інженерія та Програмування»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувачка кафедри КІС

Ольга ПАВЛОВА

“ 10 ” 01 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Бадону Тарасу Юрійовичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Вбудована система контролю геометричних параметрів деталей у виробничому процесі з використанням лазерних вимірювальних сенсорів
Керівник проекту (роботи) Василь Стецюк, ст. викладач.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, звання

Затверджена наказом ректора університету від 20.01.2026 р. № 7

2. Термін подання здобувачем роботи на кафедру 01.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Завдання на кваліфікаційну роботу

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

Теоретичний аналіз, огляд існуючих рішень та постановка задачі.

Проектування системи, обґрунтування структури та вибір заліза (лазерних сенсорів, контролерів).

Програмно-апаратна реалізація, алгоритми обробки даних з лазерів та тестування.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

Основні алгоритми

Схема вбудованої системи

Апаратна структура системи

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання приймав

7. Дата видачі завдання

« 10 » 01 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Приміт
1	Вибір напряму дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	10.01.2026	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.02.2026	виконано
3	Робота над розділом 1 – дослідження предметної області та постановка задачі	01.03.2026	виконано
4	Робота над розділом 2 – вибір та обґрунтування компонентів вбудованої системи контролю та лазерних вимірювальних сенсорів	01.04.2026	виконано
5	Робота над розділом 3 – проєктування вбудованої системи контролю геометричних параметрів деталей та алгоритмів обробки даних	29.04.2026	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	25.05.2026	виконано
7	Попередній захист ВКР	26.05.2026	виконано
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	Червень 2026 року	

Здобувач

Підпис

Тарас БАДОН

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник кваліфікаційної роботи

Підпис

Василь СТЕЦЮК

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Теоретичні основи контролю геометричних параметрів деталей.....	6
1.1 Поняття геометричних параметрів деталей та їх роль у забезпеченні якості виробництва.....	6
1.2 Види контролю геометричних параметрів у виробничому процесі.....	9
1.3 Допуски, похибки та метрологічне забезпечення геометричного контролю.....	13
1.4 Проблеми традиційного контролю та потреба у вбудованих системах.....	17
1.5 Висновки до першого розділу.....	22
2 Методи та засоби побудови вбудованих систем контролю.....	24
2.1 Контактні та безконтактні методи вимірювання геометричних параметрів.....	24
2.2 Проектування архітектури інформаційної системи.....	27
2.3 Апаратні компоненти вбудованої системи контролю.....	31
2.4 Програмне забезпечення та алгоритми прийняття рішення.....	36
2.5 Висновки до другого розділу.....	40
3 Постановка задачі проектування системи контролю.....	42
3.1 Постановка задачі проектування системи контролю.....	42
3.2 Вимоги до вбудованої системи контролю.....	43
3.3 Розроблення структурної схеми системи.....	48
3.4 Алгоритм контролю геометричних параметрів.....	52
3.5 Інформаційна модель даних системи.....	57
3.6. Реалізація демонстраційного програмного прототипу.....	58
3.7. Тестування демонстраційної системи та аналіз результатів.....	61
3.8 Висновки до третього розділу.....	63
Висновки.....	66
Перелік джерел посилань.....	68
Додаток А Основні алгоритми.....	73

КвРКІ 022001.22.03.43 ПЗ				
Зм.	Арк.	Надокум.	Підпис	Дата
Виконав		Бідош Тарас	<i>Т.Бідош</i>	
Перевір.		Стецюк Василь	<i>В.Стецюк</i>	22.02.20
Н.контр.		Тетяна КИСЛЯ	<i>Т.Кисля</i>	
Затвер.		Ольга ПАВЛОВА	<i>О.Павлова</i>	22.02.20
Вбудована система контролю геометричних параметрів деталей у виробничому процесі з використанням лазерних вимірювальних сенсорів				
		Літера	Аркуш	Аркушів
		у	2	12
ХНУ КІ2-22-3				

Додаток Б.Схема вбудованої системи.....	76
Додаток В Алгоритм прийняття рішення в системі контролю	77

					КВРКІ 022001.22.03.43 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

ВСТУП

Сучасне виробництво потребує високої точності, стабільності технологічних процесів і зменшення кількості бракованої продукції. Одним із важливих напрямів забезпечення якості є контроль геометричних параметрів деталей, оскільки саме розміри, форма та розташування окремих елементів визначають придатність деталі до подальшого використання. Навіть незначні відхилення можуть спричинити проблеми під час складання, зниження надійності виробу або потребу в додатковій обробці.

Традиційний контроль геометричних параметрів часто виконується після завершення окремої операції або після виготовлення партії деталей. Для цього застосовують ручні вимірювальні інструменти, калібри, шаблони, координатно-вимірювальні машини та інші засоби контролю. Такий підхід є поширеним, однак він має певні недоліки: залежність від оператора, витрати часу, можливість людської помилки та затримку у виявленні браку.

У зв'язку з цим актуальним є використання вбудованих систем контролю, які можуть працювати безпосередньо у виробничому процесі. Такі системи дозволяють автоматично отримувати інформацію про параметри деталі, порівнювати її з допустимими значеннями та швидко формувати висновок щодо придатності виробу. Це дає змогу оперативніше виявляти відхилення, зменшувати кількість браку та підвищувати стабільність виробництва.

Одним із перспективних підходів до побудови таких систем є використання машинного зору. За допомогою камери, освітлення та програмної обробки зображень можна визначати габаритні розміри деталі, діаметр отворів, положення окремих елементів та інші геометричні характеристики. У межах цієї роботи також передбачається демонстраційна програмна модель, яка показує логіку перевірки параметрів деталі за заданими допусками.

					КВРКІ 022001.22.03.43 ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Метою роботи є дослідження принципів побудови вбудованої системи контролю геометричних параметрів деталей у виробничому процесі та розроблення концепції демонстраційного програмного прототипу.

Для досягнення мети необхідно виконати такі завдання:

1. Розглянути поняття геометричних параметрів деталей та їх значення для якості виробництва.
2. Проаналізувати види контролю геометричних параметрів.
3. Розглянути допуски, похибки та метрологічне забезпечення контролю.
4. Визначити проблеми традиційного контролю та переваги вбудованих систем.
5. Проаналізувати контактні й безконтактні методи вимірювання.
6. Розглянути можливості машинного зору для контролю деталей.
7. Сформуванати вимоги до системи контролю.
8. Розробити структурну схему та алгоритм роботи системи.
9. Запропонувати демонстраційний програмний прототип для перевірки параметрів деталі.
10. Оцінити результати й обмеження запропонованого рішення.

Об'єктом дослідження є процес контролю геометричних параметрів деталей у виробничому середовищі.

Предметом дослідження є вбудована система автоматизованого контролю геометричних параметрів деталей.

У роботі використовуються методи аналізу технічної літератури, порівняльного аналізу, структурного моделювання, алгоритмізації та проектування демонстраційного програмного прототипу.

Практичне значення роботи полягає в тому, що запропонована система може бути використана як навчальна модель для пояснення принципів автоматизованого контролю. Демонстраційна програма дозволяє показати перевірку параметрів деталі за допусками, формування статусу придатності та збереження результатів контролю.

					КВРКІ 022001.22.03.43 ПЗ	Арк. 5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ КОНТРОЛЮ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДЕТАЛЕЙ

1.1 Поняття геометричних параметрів деталей та їх роль у забезпеченні якості виробництва

Геометричні параметри деталей є однією з основних характеристик, за якими оцінюється якість виготовлення виробу. До них належать лінійні розміри, діаметри, радіуси, кути, форма поверхонь, взаємне розташування елементів, положення отворів, відхилення від симетрії, паралельності, перпендикулярності та інші параметри, які визначають відповідність деталі конструкторській документації. У виробничому процесі ці параметри мають практичне значення, оскільки саме вони показують, наскільки виготовлена деталь відповідає заданій формі та розмірам.

У машинобудуванні та інших технічних галузях деталей рідко розглядається окремо від загального виробу. Найчастіше вона є частиною вузла, механізму або складальної одиниці. Тому навіть невелике відхилення її геометричних параметрів може вплинути на роботу всієї системи. Наприклад, якщо отвір у деталі має зміщений центр, це може ускладнити складання. Якщо діаметр отвору більший або менший за допустимий, з'єднання може бути занадто вільним або, навпаки, неможливим без додаткової обробки. Якщо поверхні деталі не є паралельними або перпендикулярними, це може призвести до перекосів, підвищеного тертя, вібрацій або передчасного зношування.

Геометричні параметри можна умовно поділити на кілька груп. Перша група - це розмірні параметри, до яких належать довжина, ширина, висота, товщина, діаметр, радіус та інші величини, що безпосередньо характеризують розмір деталі або її окремих елементів. Друга група - це параметри форми, наприклад площинність, прямолінійність, круглість або циліндричність. Вони показують, наскільки реальна поверхня або лінія відповідає ідеальній геометричній формі. Третя група - параметри розташування, які описують

					КВРКІ 022001.22.03.43 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

взаємне положення елементів деталі: співвісність, симетричність, паралельність, перпендикулярність, позиційне відхилення. Саме ці характеристики часто є критичними для деталей, які мають отвори, пази, посадкові поверхні або елементи кріплення [1].

Особливе значення мають допуски геометричних параметрів. У реальному виробництві неможливо виготовити абсолютно точну деталь, яка повністю збігається з ідеальною моделлю. Будь-який технологічний процес має певні похибки, пов'язані з інструментом, обладнанням, матеріалом, температурними умовами, режимами обробки та іншими факторами. Саме тому в конструкторській документації задаються допустимі межі відхилень. Якщо фактичний параметр деталі перебуває в межах встановленого допуску, деталь вважається придатною. Якщо хоча б один важливий параметр виходить за ці межі, деталь може бути визнана непридатною або такою, що потребує додаткової обробки.

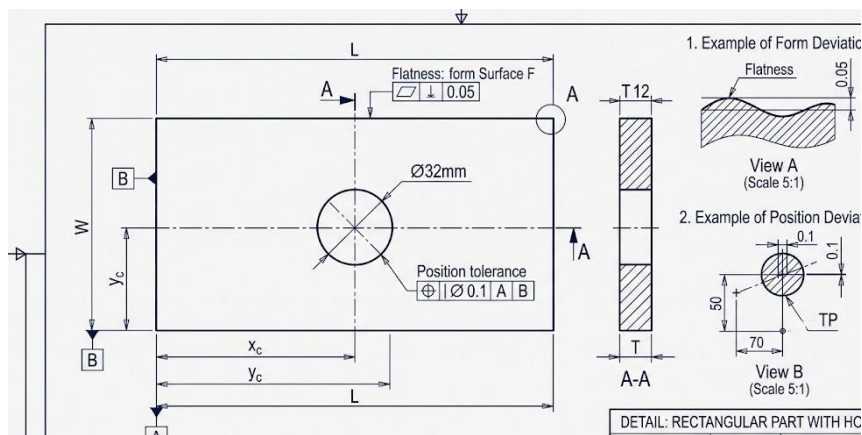


Рисунок 1.1 – Основні групи геометричних параметрів деталі

Геометричні параметри тісно пов'язані з поняттям функціональності деталі. Це означає, що контроль розмірів і форми виконується не лише для формального порівняння з кресленням, а й для забезпечення правильної роботи виробу. Наприклад, вал повинен мати відповідний діаметр для посадки в підшипник, корпусна деталь повинна мати точні отвори для кріплення, а плоска

деталь повинна зберігати необхідну форму для правильного контакту з іншими елементами. Якщо геометрія порушена, деталь може зовні виглядати придатною, але фактично не виконувати свою функцію в готовому виробі [2].

У сучасному виробництві контроль геометричних параметрів розглядається як частина загальної системи забезпечення якості. Якість виробу залежить не тільки від кінцевої перевірки, а й від стабільності всього технологічного процесу. Якщо вимірювання показують постійне наближення параметрів до межі допуску, це може свідчити про зношування інструменту, неправильне налаштування обладнання або порушення режимів обробки. Тому геометричний контроль дозволяє не лише відбракувати непридатну деталь, а й виявити проблеми у виробничому процесі на ранньому етапі.

Традиційно контроль геометричних параметрів виконувався після завершення обробки або після виготовлення певної партії деталей. Однак у сучасних умовах цього часто недостатньо. Якщо брак виявляється занадто пізно, підприємство може втратити час, матеріали й ресурси. Саме тому дедалі більше уваги приділяється вбудованим системам контролю, які можуть працювати безпосередньо у виробничому процесі. Такі системи дозволяють отримувати дані про деталь одразу після виконання технологічної операції або навіть під час її виконання. Це створює можливість швидко реагувати на відхилення та зменшувати кількість бракованої продукції [3].

Для вбудованих систем контролю геометричні параметри мають бути представлені у вигляді конкретних вимірюваних величин. Наприклад, для демонстраційної системи можна обрати прямокутну пластину з круглим отвором. Для такої деталі доцільно контролювати довжину, ширину, діаметр отвору, а також координати центра отвору відносно базових сторін. Така модель є достатньо простою для програмної реалізації, але водночас добре показує основну логіку промислового контролю: система отримує фактичні значення параметрів, порівнює їх із номінальними значеннями та допусками, після чого формує висновок про придатність деталі.

					КВРКІ 022001.22.03.43 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Важливо розуміти, що геометричний контроль не обмежується лише вимірюванням одного розміру. У багатьох випадках деталь може мати правильну довжину й ширину, але бути непридатною через неправильне розташування отвору або відхилення форми. Тому сучасний підхід до контролю передбачає комплексну оцінку кількох параметрів одночасно. Саме такий підхід є доцільним для вбудованої системи.

Отже, геометричні параметри деталей є важливим показником якості виробництва. Вони визначають можливість складання, надійність роботи виробу, стабільність технологічного процесу та рівень браку. Контроль таких параметрів є необхідною умовою сучасного виробництва.

1.2 Види контролю геометричних параметрів у виробничому процесі

Контроль геометричних параметрів у виробничому процесі може виконуватися на різних етапах виготовлення деталі та з різним рівнем автоматизації. Його основна мета полягає в тому, щоб своєчасно визначити, чи відповідає деталь заданим вимогам, і не допустити переходу непридатної продукції на наступні етапи виробництва. У загальному вигляді контроль можна розглядати як систему перевірок, які супроводжують деталь від моменту надходження матеріалу до завершення виготовлення виробу.

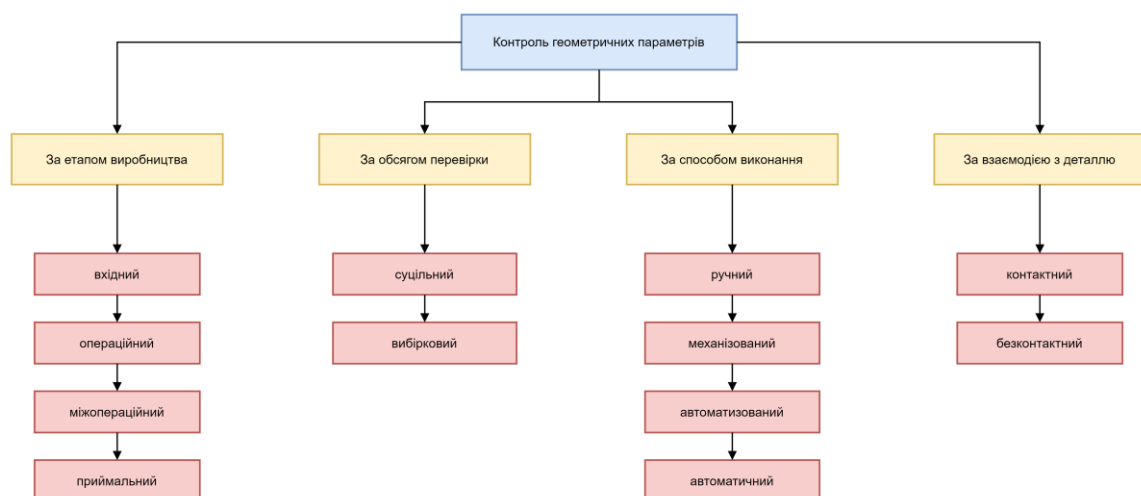


Рисунок 1.2 – Класифікація видів контролю геометричних параметрів

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Одним із базових підходів є поділ контролю за етапом виробничого процесу. За цією ознакою можна виділити вхідний, операційний, міжопераційний і приймальний контроль. Вхідний контроль застосовується для перевірки матеріалів, заготовок або комплектуючих, які надходять у виробництво. Його завдання полягає в тому, щоб не допустити використання невідповідних матеріалів або заготовок, оскільки їхні дефекти можуть вплинути на точність подальшої обробки.

Операційний контроль виконується безпосередньо під час або після окремої технологічної операції. Наприклад, після свердління може перевірятися діаметр отвору, після фрезерування - довжина або ширина поверхні, після токарної обробки - діаметр циліндричної деталі. Такий контроль є особливо важливим, оскільки дозволяє виявити відхилення ще до того, як деталь пройде всі етапи виробництва. Якщо дефект виявлено на ранній стадії, підприємство може швидше відкоригувати технологічний процес і зменшити витрати на виготовлення непридатної продукції [4].

Міжопераційний контроль застосовується між кількома технологічними операціями. Він потрібний тоді, коли результат однієї операції впливає на можливість виконання наступної. Наприклад, якщо перед складанням необхідно перевірити точність розташування отворів, то міжопераційний контроль допомагає не допустити передачі невідповідної деталі на складальну дільницю. Приймальний контроль виконується наприкінці виробничого процесу. Його мета - підтвердити, що готова деталь або виріб відповідає встановленим технічним вимогам.

За обсягом перевірки контроль може бути суцільним або вибіркоvim. Суцільний контроль передбачає перевірку кожної виготовленої деталі. Такий підхід доцільний для відповідальних виробів, де навіть один дефект може призвести до серйозних наслідків. Однак суцільний контроль може бути складним і дорогим, якщо він виконується вручну. Саме тому автоматизація має

					КВРКІ 022001.22.03.43 ПЗ	Арк. 10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

велике значення: якщо перевірку виконує вбудована система, контроль кожної деталі стає значно реальнішим для серійного виробництва.

Вибірковий контроль передбачає перевірку лише частини деталей із партії. Він часто використовується тоді, коли процес є стабільним, а повна перевірка кожного виробу потребує надмірних витрат часу. Перевагою вибіркового контролю є менша трудомісткість, але його недоліком є ризик пропуску окремих дефектних деталей. Через це вибірковий контроль не завжди підходить для виробництв, де потрібна висока надійність і простежуваність результатів перевірки.

За способом виконання контроль можна поділити на ручний, механізований, автоматизований і автоматичний. Ручний контроль виконується оператором за допомогою вимірювальних інструментів, наприклад штангенциркуля, мікрометра, індикатора або калібра. Такий спосіб є простим і поширеним, однак він має суттєву залежність від людського фактора. На результат можуть впливати досвід оператора, уважність, правильність встановлення деталі, умови вимірювання та навіть втома працівника.

Механізований контроль передбачає використання спеціальних пристроїв, які полегшують виконання вимірювань, але не повністю замінюють участь оператора. Автоматизований контроль відрізняється тим, що значна частина операцій виконується технічними засобами: датчиками, вимірювальними модулями, камерами, програмним забезпеченням. Оператор у такому випадку переважно налаштовує систему, контролює її роботу та аналізує результати.

Автоматичний контроль виконується без постійної участі оператора. Система самостійно отримує дані, обробляє їх, порівнює з допустимими значеннями та формує рішення про придатність деталі. Такий підхід є найбільш близьким до поняття вбудованої системи контролю, оскільки він дозволяє інтегрувати перевірку безпосередньо у виробничу лінію. У сучасних дослідженнях підкреслюється, що автоматизовані та вбудовані засоби контролю допомагають перейти від реактивного підходу, коли дефект виявляється після

					КВРКІ 022001.22.03.43 ПЗ	Арк. 11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виготовлення партії, до більш оперативного керування якістю в процесі виробництва [5].

Окремо варто розглянути поділ контролю на контактний і безконтактний. Контактний контроль передбачає фізичний контакт вимірювального інструмента з поверхнею деталі. До нього належать вимірювання штангенінструментом, мікрометрами, індикаторними пристроями, координатно-вимірювальними машинами. Такий підхід може забезпечувати високу точність, але інколи потребує більше часу, а також може бути менш зручним для швидкісного виробництва.

Безконтактний контроль виконується без фізичного дотику до деталі. До нього належать оптичні, лазерні та візуальні методи, зокрема системи машинного зору. Для вбудованої системи контролю безконтактний підхід є особливо перспективним, тому що камера або оптичний датчик можуть швидко отримати інформацію про деталь, не зупиняючи або майже не зупиняючи виробничий процес. Це знижує ризик механічного впливу на деталь і дозволяє контролювати параметри у потоці виробництва.

У практиці виробництва також важливе розрізнення контролю після виготовлення та контролю в процесі виготовлення. Контроль після виготовлення дає змогу оцінити готову деталь, але не завжди дозволяє швидко знайти причину відхилення. Наприклад, якщо після завершення партії виявлено, що частина деталей має неправильний розмір, підприємство вже витратило матеріал, час роботи обладнання та енергію. Контроль у процесі виготовлення дає змогу виявляти проблему раніше. Якщо система фіксує, що параметр поступово наближається до межі допуску, це може бути сигналом про зношування інструменту або потребу в налаштуванні обладнання.

Саме вбудований контроль є найбільш актуальним для сучасних виробничих процесів. Він передбачає, що контрольна система не існує окремо від виробництва, а є частиною технологічної лінії. Така система може бути розміщена після певної операції, наприклад після свердління, фрезерування або

					КВРКІ 022001.22.03.43 ПЗ	Арк. 12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

різання. Вона автоматично перевіряє деталь і передає результат оператору або керуючій системі. У складніших випадках система може не тільки виявляти непридатну деталь, а й подавати сигнал для коригування технологічного процесу.

Для теми цієї роботи найбільший інтерес становить саме автоматизований або автоматичний вбудований контроль геометричних параметрів. Його можна реалізувати за допомогою камери, програмного забезпечення для обробки зображень і алгоритму порівняння вимірних параметрів із допусками. Навіть у спрощеній демонстраційній програмі можна показати основну логіку такого контролю: система отримує параметри деталі, перевіряє довжину, ширину, діаметр отвору та положення центра отвору, після чого визначає, чи є деталь придатною.

Важливо, що різні види контролю не обов'язково виключають один одного. На одному підприємстві можуть одночасно використовуватися вхідний контроль матеріалів, операційний контроль після окремих етапів, вибіркового контролю партій і автоматизований контроль критичних параметрів. Вибір конкретного виду контролю залежить від типу продукції, вимог до точності, вартості браку, швидкості виробництва та технічних можливостей підприємства.

Отже, контроль геометричних параметрів може мати різні форми залежно від етапу виробництва, обсягу перевірки, способу виконання та рівня автоматизації. Для сучасного виробництва найбільш перспективним є перехід від переважно ручного й вибіркового контролю до автоматизованих і вбудованих систем.[6].

1.3 Допуски, похибки та метрологічне забезпечення геометричного контролю

Під час виготовлення деталей неможливо повністю уникнути відхилень від заданих розмірів і форми. Навіть якщо обладнання налаштоване правильно, а

					КвРКІ 022001.22.03.43 ПЗ	Арк. 13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

технологічний процес є стабільним, фактичні параметри деталі все одно можуть незначно відрізнятись від номінальних значень. Це пов'язано з багатьма факторами: зношуванням інструменту, температурними змінами, похибками закріплення заготовки, вібраціями, особливостями матеріалу, точністю верстата та людським фактором. Саме тому в технічній документації для кожного важливого параметра встановлюються допуски.

Допуск - це допустимий інтервал зміни параметра, у межах якого деталь вважається придатною для використання. Наприклад, якщо номінальна довжина деталі становить 100 мм, а допуск дорівнює $\pm 0,5$ мм, то придатними будуть деталі з фактичною довжиною від 99,5 мм до 100,5 мм. Якщо фактичне значення виходить за ці межі, деталь не відповідає заданим вимогам. Такий підхід дозволяє врахувати реальні можливості виробництва і водночас забезпечити необхідну якість продукції.

У системі геометричного контролю важливо розрізнити номінальне значення, граничні відхилення та поле допуску. Номінальне значення - це основне значення параметра, яке задається в кресленні або технічному завданні. Граничні відхилення визначають, наскільки фактичне значення може бути більшим або меншим за номінальне. Поле допуску - це проміжок між верхньою та нижньою допустимою межею. Саме в межах цього поля має знаходитися фактичний результат вимірювання [7].

Для вбудованої системи контролю поняття допуску має особливе значення, тому що програма або контролер повинні автоматично приймати рішення щодо придатності деталі. У найпростішому випадку алгоритм працює за зрозумілою логікою: якщо виміряне значення параметра перебуває між нижньою та верхньою межею, параметр вважається придатним. Якщо значення виходить за встановлені межі, параметр позначається як невідповідний. Після перевірки всіх параметрів система формує загальний висновок щодо деталі.

Однак у реальному виробництві контроль геометричних параметрів не зводиться лише до простого порівняння чисел. Важливо враховувати похибку

вимірювання. Похибка - це різниця між результатом вимірювання та істинним або умовно істинним значенням параметра. Оскільки істинне значення зазвичай неможливо визначити абсолютно точно, у метрології використовують поняття невизначеності вимірювання. Воно показує, з якою довірою можна інтерпретувати отриманий результат.

Наприклад, якщо система виміряла діаметр отвору як 20,31 мм, а верхня допустима межа становить 20,30 мм, на перший погляд деталь є непридатною. Але якщо похибка або невизначеність вимірювання становить $\pm 0,05$ мм, то ситуація стає не такою однозначною. У промисловій метрології такі випадки потребують чітко визначених правил прийняття рішення, оскільки неправильне трактування результатів може призвести або до пропуску браку, або до відбракування фактично придатної продукції [8].

Похибки вимірювання можуть мати різну природу. Систематичні похибки повторюються в одному напрямі й можуть бути пов'язані, наприклад, з неправильним калібруванням вимірювального засобу або зміщенням камери в системі машинного зору. Випадкові похибки змінюються від вимірювання до вимірювання і можуть виникати через шум зображення, нестабільне освітлення, вібрації або незначну зміну положення деталі. Також існують грубі похибки, які пов'язані з помилками оператора, неправильним встановленням деталі або збоєм обладнання.

У вбудованих системах контролю особливо важливо забезпечити повторюваність і відтворюваність результатів. Повторюваність означає, що система дає близькі результати під час повторних вимірювань однієї й тієї самої деталі в однакових умовах. Відтворюваність характеризує близькість результатів у разі зміни певних умов, наприклад оператора, обладнання або часу вимірювання. Якщо система не забезпечує стабільних результатів, її висновки про придатність деталей не можна вважати надійними.

Метрологічне забезпечення геометричного контролю охоплює комплекс заходів, які потрібні для отримання достовірних результатів вимірювання. До

					КВРКІ 022001.22.03.43 ПЗ	Арк. 15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

нього належать вибір відповідного методу контролю, калібрування обладнання, перевірка точності вимірювальних засобів, дотримання умов вимірювання, правильне налаштування програмного забезпечення та періодичний контроль працездатності системи. Для систем машинного зору особливе значення має калібрування, оскільки зображення спочатку отримується в пікселях, а для виробничого контролю потрібні фізичні одиниці - найчастіше міліметри.

Калібрування у спрощеному вигляді можна пояснити як встановлення відповідності між пікселями зображення та реальними розмірами деталі. Наприклад, якщо відомо, що 5 пікселів відповідають 1 мм, система може перераховувати виміряні на зображенні відстані в міліметри. У реальних умовах калібрування є складнішим, оскільки потрібно враховувати перспективні спотворення, положення камери, характеристики об'єктива, відстань до деталі та рівномірність освітлення. Проте навіть у демонстраційному програмному прототипі важливо показати сам принцип такого перерахунку.

Для контролю геометричних параметрів також важливим є поняття бази вимірювання. База - це поверхня, лінія або точка, від якої відраховуються інші параметри. Наприклад, положення центра отвору в прямокутній пластині можна визначати відносно лівого та нижнього краю деталі. Якщо база визначена неправильно або нестабільно, результат контролю положення отвору також буде неточним. Тому в автоматизованих системах потрібно чітко визначати, які елементи деталі використовуються як опорні.

У контексті цієї роботи допуски та похибки мають безпосереднє значення для практичної частини. Демонстраційна програма повинна працювати з номінальними значеннями параметрів, встановленими допусками та фактичними результатами вимірювання. Для кожного параметра програма має визначати нижню й верхню допустиму межу, після чого порівнювати з ними фактичне значення. Такий алгоритм є спрощеним, але він правильно відображає базову логіку геометричного контролю у виробничому процесі.

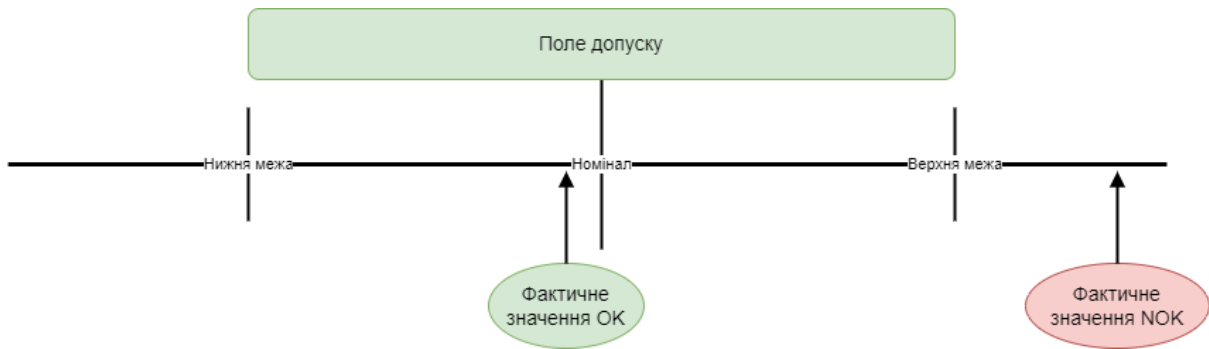


Рисунок 1.3 – Схема номінального розміру, допуску та граничних відхилень

Наприклад, для прямокутної пластини з отвором можуть бути задані такі параметри: довжина 100 мм, ширина 60 мм, діаметр отвору 20 мм, координата центра отвору по осі X - 50 мм, координата центра отвору по осі Y - 30 мм. Для кожного з цих параметрів встановлюється власний допуск. Якщо фактична довжина, ширина, діаметр і положення отвору відповідають допустимим межам, система формує статус «придатна». Якщо хоча б один параметр виходить за встановлений інтервал, система формує статус «непридатна» і вказує, який саме параметр має відхилення.

Таким чином, допуски, похибки та метрологічне забезпечення є основою достовірного геометричного контролю. Допуски визначають допустимі межі зміни параметрів, похибки показують обмеження точності вимірювання, а метрологічне забезпечення допомагає зробити результати контролю стабільними й надійними. Для вбудованої системи контролю ці поняття мають практичне значення, оскільки саме на їхній основі система приймає рішення про якість виготовленої деталі.

1.4 Проблеми традиційного контролю та потреба у вбудованих системах

Традиційний контроль геометричних параметрів деталей тривалий час був основним способом перевірки якості у виробництві. Він ґрунтується на використанні ручних або напівавтоматичних вимірювальних засобів: штангенциркулів, мікрометрів, індикаторів, калібрів, шаблонів, вимірювальних

плит, координатно-вимірювальних машин та іншого обладнання. Такий підхід має свої переваги, оскільки він добре відомий, відносно простий для організації та може забезпечувати високу точність за правильного використання засобів вимірювання. Однак у сучасному виробництві традиційний контроль має низку обмежень, які стають особливо помітними в умовах серійного або масового виготовлення деталей.

Однією з головних проблем традиційного контролю є значна залежність від людського фактора. Якщо вимірювання виконує оператор, результат може залежати від його досвіду, уважності, правильності встановлення інструмента, сили притискання, кута зчитування шкали та дотримання методики вимірювання. Навіть за наявності якісного інструмента різні оператори можуть отримувати дещо різні результати. У виробництві це створює ризик як помилкового відбракування придатної деталі, так і пропуску деталі з відхиленнями.

Другою проблемою є тривалість контролю. Ручне вимірювання кожної деталі потребує часу, особливо якщо потрібно перевірити не один параметр, а кілька: довжину, ширину, діаметр отвору, положення центра, паралельність або перпендикулярність поверхонь. Якщо виробнича лінія працює швидко, ручний контроль може стати вузьким місцем у всьому процесі. Через це підприємства часто застосовують вибіркового контролю, коли перевіряється не кожна деталь, а лише певна частина партії. Такий підхід зменшує витрати часу, але водночас підвищує ризик того, що окремі дефектні деталі залишаться невиявленими [10].

Ще одним обмеженням традиційного підходу є затримка між моментом виготовлення деталі та моментом виявлення відхилення. Якщо контроль виконується після виготовлення партії, то дефект може бути виявлений занадто пізно. Наприклад, якщо інструмент поступово зношується, розміри деталей можуть повільно зміщуватися до межі допуску, а потім виходити за неї. Якщо система контролю не відстежує це в реальному часі.

Традиційний контроль також не завжди забезпечує достатню простежуваність результатів. У деяких випадках результати вимірювань записуються вручну або зберігаються у вигляді окремих таблиць. Це ускладнює подальший аналіз, пошук причин браку, оцінювання стабільності процесу та формування звітності. Для сучасного виробництва важливо не тільки перевірити окрему деталь, а й накопичувати інформацію про параметри деталей у часі. Саме такі дані дозволяють виявляти тенденції, прогнозувати відхилення й покращувати технологічний процес.

Окремо слід зазначити, що традиційні методи контролю часто потребують зупинення деталі або її переміщення до окремої контрольної позиції. Це не завжди зручно в умовах потокового виробництва. Якщо деталь потрібно зняти з лінії, закріпити, виміряти, записати результат і повернути в процес, це збільшує тривалість виробничого циклу. Для деталей, які виготовляються великими партіями, навіть невеликі затримки на кожній операції можуть суттєво вплинути на загальну продуктивність.

У таких умовах зростає потреба у вбудованих системах контролю. Вбудована система контролю - це система, яка інтегрується безпосередньо у виробничий процес і виконує перевірку параметрів деталей без значного втручання оператора. Вона може бути встановлена після певної технологічної операції або безпосередньо на виробничій лінії. Основна ідея полягає в тому, що контроль стає не окремим завершальним етапом, а частиною самого процесу виготовлення [11].

Вбудовані системи можуть працювати за різними принципами. Для контролю геометричних параметрів часто використовуються датчики переміщення, лазерні вимірювальні пристрої, оптичні системи, промислові камери та алгоритми комп'ютерного зору. У порівнянні з ручними методами такі системи здатні швидше отримувати дані, автоматично обробляти їх і одразу формувати результат. Якщо параметр виходить за допустимі межі, система може

подати сигнал оператору, зупинити процес, позначити деталь як непридатну або передати інформацію до виробничої інформаційної системи.

Важливою перевагою вбудованого контролю є можливість швидкого реагування на відхилення. Якщо система постійно контролює параметри деталей, вона може виявити проблему ще до того, як буде виготовлена велика кількість браку. Наприклад, якщо виміряна ширина деталі поступово зменшується і наближається до нижньої межі допуску, це може свідчити про зміну стану інструменту або налаштувань обладнання.

Ще однією перевагою є зменшення впливу людського фактора. У вбудованій системі оператор не виконує кожне вимірювання вручну, а переважно контролює роботу системи, налаштовує параметри та аналізує результати. Це дозволяє зробити контроль більш стабільним і повторюваним. Звичайно, повністю усунути людський фактор неможливо, оскільки систему потрібно правильно налаштовувати, калібрувати та обслуговувати.

Вбудовані системи також краще відповідають сучасним підходам до цифровізації виробництва. Вони можуть не лише виконувати контроль, а й накопичувати дані про кожну перевірену деталь. Такі дані можна використовувати для статистичного аналізу, оцінювання стабільності процесу, формування звітів, виявлення повторюваних дефектів і прийняття управлінських рішень.

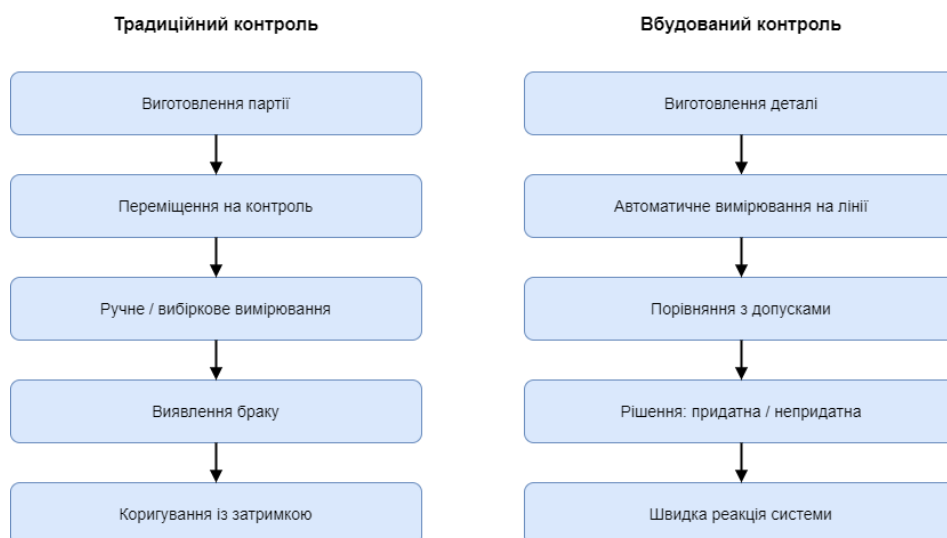


Рисунок 1.4 – Порівняння традиційного та вбудованого контролю

Для контролю геометричних параметрів особливо перспективними є системи на основі комп'ютерного зору. Камера може швидко отримувати зображення деталі, а програмне забезпечення - визначати контури, отвори, габарити та інші елементи. Такий підхід добре підходить для контролю деталей простої або середньої складності, особливо якщо потрібно перевіряти форму, розміри й положення окремих елементів. У навчальній або демонстраційній системі можна показати спрощену логіку такого контролю: отримання зображення або тестових параметрів, розрахунок геометричних характеристик, порівняння з допусками та формування результату [12].

Водночас вбудовані системи не є універсальним рішенням без обмежень. Вони потребують правильного проектування, налаштування та калібрування. Для систем машинного зору важливими є якість освітлення, стабільне положення деталі, правильний вибір камери, відсутність зайвих відблисків і шумів на зображенні. Якщо ці умови не забезпечені, система може працювати нестабільно. Тому впровадження вбудованого контролю вимагає не лише програмної реалізації, а й урахування реальних виробничих умов.

У межах цієї роботи вбудовану систему доцільно розглядати як поєднання технічної та програмної частин. Технічна частина може включати камеру, освітлення, робочу зону для деталі та обчислювальний модуль. Програмна частина виконує обробку даних, перевірку параметрів за допусками, виведення результатів і збереження історії контролю. Такий підхід дозволяє логічно перейти від теоретичного аналізу до проектування демонстраційного прототипу.

Таким чином, традиційний контроль залишається важливим елементом виробництва, але його можливості не завжди відповідають вимогам сучасних технологічних процесів. Основними проблемами є залежність від оператора, тривалість вимірювань, вибірковість перевірки, затримка виявлення дефектів і складність аналізу накопичених даних. Вбудовані системи контролю дозволяють частково вирішити ці проблеми за рахунок автоматизації, швидкого отримання

					КВРКІ 022001.22.03.43 ПЗ	Арк. 21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

результатів, інтеграції у виробничу лінію та можливості накопичення даних про якість деталей. Саме тому подальший розгляд методів і засобів побудови таких систем є необхідним для розроблення ефективного рішення контролю геометричних параметрів деталей у виробничому процесі.

1.5 Висновки до першого розділу

У першому розділі було розглянуто теоретичні основи контролю геометричних параметрів деталей у виробничому процесі. Встановлено, що геометричні параметри є одними з головних показників якості деталі, оскільки вони визначають її відповідність конструкторській документації, можливість складання з іншими елементами та надійність роботи готового виробу.

До основних геометричних параметрів належать лінійні розміри, діаметри, радіуси, кути, параметри форми та параметри розташування. Виробнича деталь не може бути абсолютно точною, тому її придатність визначається не повною відповідністю ідеальній моделі, а перебуванням фактичних параметрів у межах встановлених допусків. Саме допуски дозволяють враховувати реальні похибки технологічного процесу й водночас підтримувати необхідний рівень якості продукції.

Було визначено, що контроль геометричних параметрів може виконуватися на різних етапах виробництва. Він може бути вхідним, операційним, міжопераційним або приймальним. За обсягом перевірки контроль поділяється на суцільний і вибірковий, а за способом виконання - на ручний, механізований, автоматизований і автоматичний. Для сучасного виробництва особливе значення має автоматизований та вбудований контроль, оскільки він дозволяє скоротити час перевірки, зменшити вплив людського фактора та швидше реагувати на відхилення.

Окрему увагу було приділено допускам, похибкам і метрологічному забезпеченню контролю. Було показано, що результат вимірювання не можна

					КВРКІ 022001.22.03.43 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

розглядати ізольовано від точності засобу вимірювання, умов контролю, калібрування та можливої невизначеності. Для вбудованих систем це має особливе значення, оскільки саме на основі вимірних значень система автоматично приймає рішення про придатність або непридатність деталі.

Також було розглянуто проблеми традиційного контролю. До них належать залежність від оператора, тривалість вимірювань, обмеженість вибіркової перевірки, затримка між виготовленням деталі та виявленням дефекту, а також складність накопичення й аналізу результатів. У зв'язку з цим виникає потреба у вбудованих системах контролю, які інтегруються безпосередньо у виробничий процес і забезпечують швидке отримання результатів.

					КВРКІ 022001.22.03.43 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

2 МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ПОБУДОВИ ВБУДОВАНИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ

2.1 Контактні та безконтактні методи вимірювання геометричних параметрів

Вимірювання геометричних параметрів деталей може виконуватися різними методами, які відрізняються точністю, швидкістю, вартістю обладнання, складністю застосування та придатністю до автоматизації. У виробничому процесі вибір методу контролю залежить від типу деталі, потрібної точності, форми поверхонь, матеріалу, умов роботи обладнання та необхідної швидкості перевірки. Найчастіше методи контролю поділяють на дві великі групи: контактні та безконтактні.

Контактні методи передбачають безпосередній фізичний контакт вимірювального інструмента або датчика з поверхнею деталі. До таких методів належать вимірювання штангенциркулями, мікрометрами, індикаторними головками, калібрами, профілометрами, а також координатно-вимірювальними машинами контактного типу. Їхньою перевагою є відносна простота, зрозумілість і висока точність у разі правильного застосування. Для багатьох виробництв контактні засоби контролю залишаються базовими, оскільки вони добре підходять для перевірки стандартних розмірів, отворів, валів, пазів та інших елементів деталі [13].

Найпростішим прикладом контактного контролю є вимірювання лінійного розміру штангенциркулем. Оператор встановлює губки інструмента на поверхні деталі та зчитує значення. Для більш точних вимірювань можуть застосовуватися мікрометри, які дозволяють контролювати розміри з меншою похибкою. Калібри використовуються для швидкої перевірки придатності параметра без отримання точного числового значення. Наприклад, прохідний і непрохідний калібр дозволяють визначити, чи перебуває діаметр отвору в заданих межах.

					КВРКІ 022001.22.03.43 ПЗ	Арк. 24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Більш складним варіантом контактної контролю є координатно-вимірювальні машини. Вони дають змогу визначати просторові координати точок на поверхні деталі та на основі цих даних оцінювати розміри, форму й розташування елементів. Такі системи можуть забезпечувати високу точність і застосовуються для контролю складних деталей. Однак вони часто потребують спеціальних умов, кваліфікованого персоналу та окремої контрольної зони, тому не завжди зручні для швидкого вбудованого контролю безпосередньо на виробничій лінії [14].

Контактні методи мають низку обмежень. По-перше, вони можуть бути повільними, особливо якщо потрібно контролювати багато параметрів однієї деталі. По-друге, результат може залежати від правильності встановлення інструмента або вимірювального наконечника. По-третє, контакт із поверхнею не завжди бажаний для тонких, м'яких, гарячих або делікатних деталей. Крім того, у швидкісному виробництві контактний контроль може вимагати зупинки деталі або її переміщення до окремої позиції, що збільшує тривалість технологічного циклу.

Безконтактні методи вимірювання не потребують фізичного дотику до деталі. До них належать оптичні, лазерні, відеовимірювальні, фотограмметричні та інші методи, у яких інформація про геометрію отримується за допомогою світла, зображення або іншого сигналу. Для сучасних вбудованих систем контролю безконтактні методи є особливо важливими, оскільки вони дозволяють виконувати перевірку швидко, з мінімальним впливом на деталь і без значного втручання оператора.

Одним із найпоширеніших напрямів безконтактної контролю є використання машинного зору. У такій системі камера отримує зображення деталі, після чого програмне забезпечення виконує його обробку. На основі зображення можна визначити контури деталі, габаритні розміри, діаметри отворів, положення елементів, наявність або відсутність окремих частин. Такий

					КВРКІ 022001.22.03.43 ПЗ	Арк. 25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підхід добре підходить для деталей, геометрія яких може бути проаналізована за зображенням зверху або з певного ракурсу [15].

Лазерні методи також широко застосовуються для контролю геометричних параметрів. Лазерні датчики можуть вимірювати відстані, профілі поверхонь, висоту, товщину або форму об'єкта. Їхня перевага полягає у високій швидкості та можливості роботи без контакту з деталлю. Вони особливо корисні тоді, коли потрібно контролювати параметри рухомих деталей або виконувати вимірювання у важкодоступних місцях. Водночас такі системи можуть бути дорогими та вимагати складнішого налаштування.

Оптичні та відеовимірювальні системи дозволяють перевіряти деталі за допомогою збільшеного зображення, цифрової камери та спеціального програмного забезпечення. Вони можуть застосовуватися для контролю малих елементів, тонких контурів, отворів, пазів та інших геометричних особливостей. Для підвищення точності таких систем важливими є правильне освітлення, калібрування масштабу, стабільне положення деталі та якість оптичної системи.

Порівняно з контактними методами, безконтактні краще підходять для автоматизації та інтеграції у виробничий процес. Наприклад, камера може бути встановлена над конвеєром або контрольним столом, а програмне забезпечення може автоматично аналізувати кожен деталь. Це дозволяє перейти від вибіркового контролю до контролю більшої кількості деталей або навіть до суцільної перевірки. Крім того, результати такого контролю можуть автоматично зберігатися в журналі або передаватися до інформаційної системи підприємства.

Проте безконтактні методи також мають обмеження. Їхня точність залежить від умов освітлення, якості камери, оптики, положення деталі, чистоти поверхні та правильності калібрування. Якщо деталь має відблиски, складну форму, темну або прозору поверхню, обробка зображення може ускладнюватися. Тому для реального виробництва система машинного зору повинна бути ретельно налаштована під конкретну задачу контролю.

					КВРКІ 022001.22.03.43 ПЗ	Арк. 26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

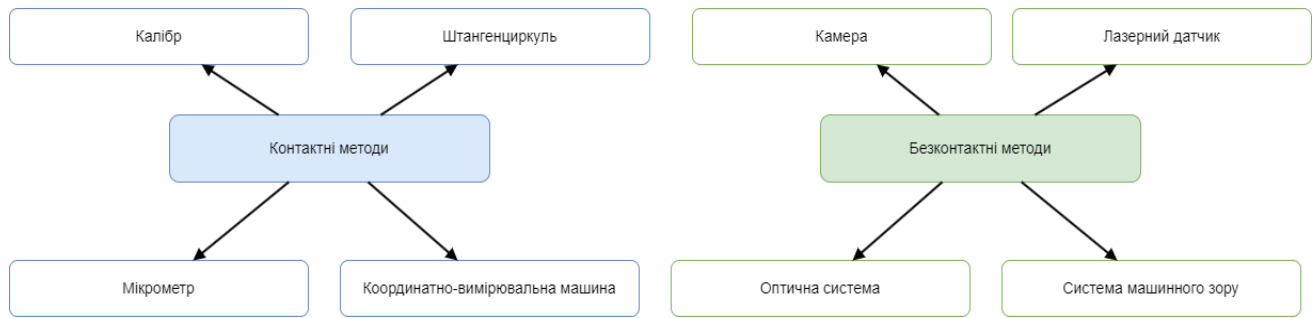


Рисунок 2.1 – Контактні та безконтактні методи контролю геометричних параметрів

Для теми цієї роботи найбільш доцільним є поєднання безконтактного підходу з програмною обробкою даних. Демонстраційна система може використовувати тестові параметри деталі, а також у перспективі працювати із зображеннями або камерою. Такий варіант дозволяє показати принцип роботи вбудованої системи без потреби в дорогому промисловому обладнанні. У навчальному прототипі можна змоделювати вимірювання довжини, ширини, діаметра отвору та координат центра отвору, після чого виконати порівняння з допусками.

Таким чином, контактні методи залишаються важливими для точного контролю деталей, особливо у випадках, коли потрібна висока метрологічна надійність. Водночас безконтактні методи краще відповідають вимогам швидкого та вбудованого контролю у виробничому процесі. Для системи, що розглядається в цій роботі, найбільш перспективним є використання машинного зору або його спрощеної програмної моделі, оскільки цей підхід дозволяє автоматизувати перевірку геометричних параметрів і зменшити залежність від ручних вимірювань.

2.2 Проектування архітектури інформаційної системи

Машинний зір є одним із найбільш перспективних напрямів автоматизованого контролю деталей у виробничому процесі. Його основна ідея

полягає в тому, що система отримує зображення об'єкта за допомогою камери, обробляє його програмними методами та на основі отриманих даних приймає рішення щодо якості деталі. Для контролю геометричних параметрів такий підхід є особливо зручним, оскільки багато розмірів і відхилень можна визначити за контуром, формою та положенням окремих елементів на зображенні.

На відміну від ручного контролю, система машинного зору може працювати швидко й однаково для великої кількості деталей. Вона не втомлюється, не змінює спосіб вимірювання залежно від оператора та може автоматично зберігати результати перевірки. Це важливо для виробничих процесів, у яких потрібно перевіряти багато однотипних деталей. Якщо система правильно налаштована, вона може стати частиною виробничої лінії та виконувати контроль одразу після певної технологічної операції [16].

Типова система машинного зору складається з кількох основних елементів. До них належать камера, об'єктив, джерело освітлення, обчислювальний модуль і програмне забезпечення для обробки зображень. Камера отримує зображення деталі, об'єктив визначає масштаб і якість зображення, освітлення допомагає виділити контури та зменшити вплив тіней, а програмне забезпечення виконує аналіз. У промислових умовах також можуть використовуватися датчики положення деталі, механізми подачі, захисні корпуси та інтерфейси зв'язку з виробничою системою.

Для контролю геометричних параметрів важливо, щоб зображення було достатньо якісним. Якщо деталь погано освітлена, має відблиски або розташована під неправильним кутом, алгоритм може неправильно визначити її контур. Тому в системах машинного зору значну роль відіграє не тільки програмна частина, а й умови отримання зображення. Правильне освітлення часто є не менш важливим, ніж сам алгоритм обробки, оскільки від нього залежить чіткість меж між деталлю та фоном.

Обробка зображення в системі машинного зору зазвичай виконується послідовно. Спочатку камера отримує початкове зображення. Далі воно може

перетворюватися в градації сірого, оскільки для багатьох задач контролю колір не є обов'язковим. Після цього застосовується фільтрація шуму, яка дозволяє зменшити випадкові перешкоди на зображенні. Наступним етапом може бути порогова обробка, коли зображення поділяється на об'єкт і фон. Після цього система знаходить контури деталі та визначає її геометричні параметри [17].

Одним із найважливіших етапів є сегментація зображення. Сегментація означає виділення потрібного об'єкта на фоні. У випадку контролю деталі система повинна відокремити саму деталь від робочої поверхні або конвеєра. Для цього можуть використовуватися різні методи: просте порогове перетворення, аналіз кольору, пошук контурів, фільтрація за площею або формою. У спрощеній демонстраційній системі достатньо застосувати базові методи OpenCV: перетворення в сірий колір, бінаризацію та пошук найбільшого контуру.

Після виділення контуру деталі можна переходити до розрахунку геометричних параметрів. Наприклад, для прямокутної пластини система може визначити габаритний прямокутник і розрахувати його ширину та висоту в пікселях. Якщо на деталі є круглий отвір, його можна визначити як внутрішній контур або як область, що відрізняється від основної поверхні деталі. Далі система може обчислити діаметр отвору та координати його центра відносно базових сторін деталі.

Проте вимірювання в пікселях саме по собі не є достатнім для виробничого контролю. У реальному виробництві параметри потрібно подавати у фізичних одиницях, найчастіше в міліметрах. Для цього використовується калібрування. Калібрування дозволяє встановити співвідношення між розміром на зображенні та реальним розміром деталі. Наприклад, якщо відомо, що 5 пікселів відповідають 1 мм, тоді розмір, виміряний на зображенні, можна поділити на цей коефіцієнт і отримати значення в міліметрах.

У реальних системах калібрування є складнішим, ніж просте співвідношення "пікселі - міліметри". Потрібно враховувати фокусну відстань, перспективні спотворення, положення камери, відстань до об'єкта, оптичні

спотворення об'єктива та нерівномірність освітлення. Проте для навчального демонстраційного прототипу достатньо використати спрощений коефіцієнт перерахунку. Це дозволяє показати головний принцип: система отримує розміри із зображення, переводить їх у міліметри та порівнює з допустимими значеннями.

Машинний зір може застосовуватися не лише для вимірювання розмірів, а й для виявлення дефектів. Наприклад, система може знаходити відсутні отвори, неправильну форму контуру, зміщення елементів, тріщини, сколи, зайві виступи або інші відхилення. У складніших системах для цього можуть використовуватися методи машинного навчання та нейронні мережі. Однак для цієї роботи доцільніше розглядати класичний алгоритмічний підхід, оскільки він є зрозумілішим, простішим для пояснення та достатнім для демонстрації контролю геометричних параметрів [18].

Перевагою машинного зору є можливість швидкої автоматизації контролю. Камера може перевіряти деталі без контакту з ними, а програмне забезпечення може виконувати однакові дії для кожного зображення. Це зменшує вплив людського фактора та дозволяє накопичувати результати контролю в цифровому вигляді. Крім того, система може бути розширена: до неї можна додати журнал вимірювань, статистику браку, сигналізацію про відхилення або інтеграцію з виробничою інформаційною системою.

Водночас машинний зір має певні обмеження. Його ефективність значною мірою залежить від якості зображення. Якщо деталь зміщена, повернута, частково закрита або має слабкий контраст із фоном, результати можуть бути неточними. Також складності виникають при контролі блискучих, прозорих або дуже темних поверхонь. У таких випадках потрібно спеціально підбирати освітлення, фон, кут зйомки та параметри обробки.

Для практичної частини цієї роботи машинний зір можна використати як основу демонстраційної Python-програми. Програма може мати режим тестових даних, у якому фактичні параметри деталі задаються числово, а також режим

роботи із зображенням або камерою. У режимі зображення система може знаходити контур прямокутної деталі, визначати габарити, приблизно знаходити отвір і формувати вимірні значення. Навіть якщо така система не буде промислово точною, вона добре продемонструє принцип роботи вбудованого контролю.

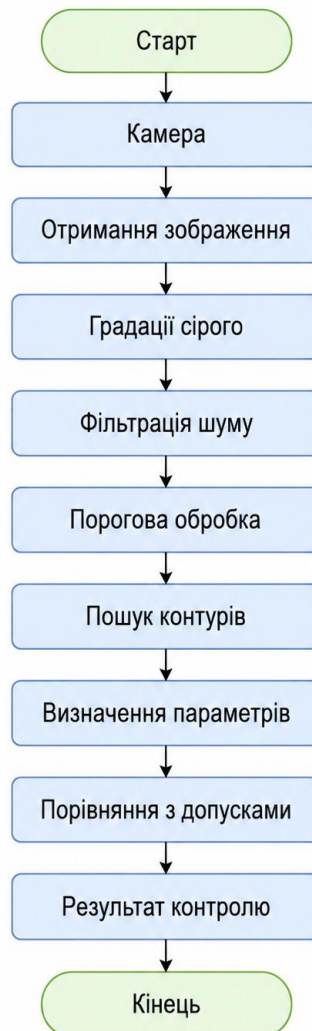


Рисунок 2.2 – Етапи обробки зображення в системі машинного зору

Машинний зір є ефективною основою для автоматизованого контролю геометричних параметрів деталей. Він дозволяє отримувати інформацію про форму, розміри та положення елементів без фізичного контакту з деталлю. У поєднанні з алгоритмами обробки зображень і перевіркою параметрів за

допусками машинний зір може бути використаний для побудови вбудованих систем контролю у виробничому процесі.

2.3 Апаратні компоненти вбудованої системи контролю

Вбудована система контролю геометричних параметрів деталей складається не лише з програмного забезпечення, а й з апаратних компонентів, які забезпечують отримання даних, їх обробку та передачу результатів. Якщо програмна частина відповідає за аналіз параметрів і прийняття рішення, то апаратна частина створює умови для отримання точних і стабільних вимірювань. У виробничому процесі це особливо важливо, оскільки система повинна працювати не в ідеальних лабораторних умовах, а поруч із обладнанням, рухомими деталями, можливими вібраціями, пилом, зміною освітлення та іншими зовнішніми факторами.

До основних апаратних компонентів вбудованої системи контролю можна віднести камеру або інший вимірювальний датчик, об'єктив, джерело освітлення, обчислювальний модуль, датчик положення деталі, інтерфейс оператора, а також виконавчий механізм для реакції на результат контролю.

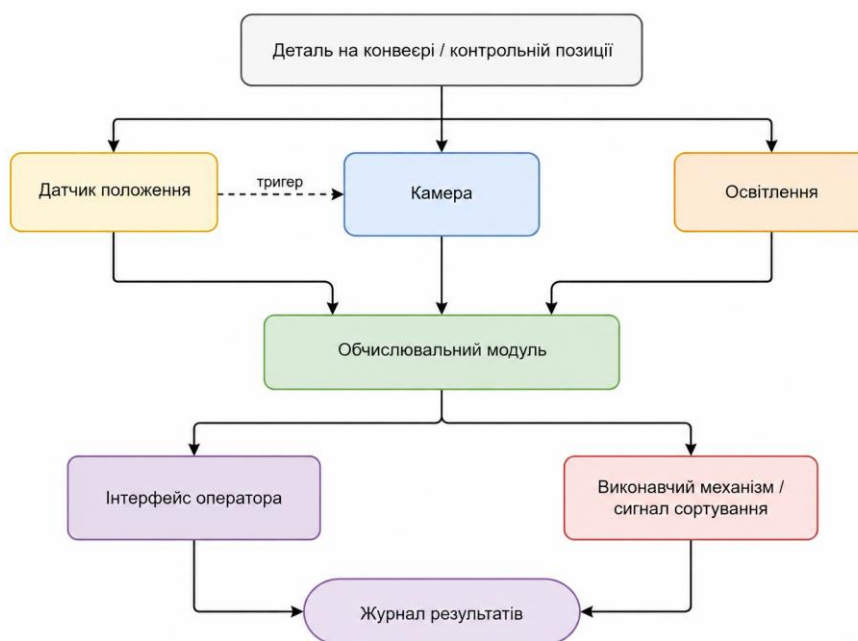


Рисунок 2.3 – Типова апаратна структура вбудованої системи контролю

Одним із центральних елементів системи машинного зору є камера. Вона відповідає за отримання зображення деталі, на основі якого програмне забезпечення визначає геометричні параметри. Для промислового використання можуть застосовуватися спеціальні промислові камери, які мають високу стабільність, підтримують зовнішню синхронізацію, можуть працювати з різними об'єктивами та забезпечують якісне зображення навіть у складних умовах. У навчальному або демонстраційному прототипі може використовуватися звичайна USB-камера або вебкамера, оскільки головне завдання полягає не в досягненні промислової точності, а в демонстрації принципу роботи системи [19].

Вибір камери залежить від кількох параметрів. Важливими є роздільна здатність, частота кадрів, тип сенсора, чутливість до освітлення, можливість ручного налаштування експозиції та фокуса. Якщо потрібно контролювати малі геометричні відхилення, камера повинна мати достатню роздільну здатність, щоб ці відхилення були помітними на зображенні. Наприклад, якщо один піксель відповідає занадто великій фізичній відстані, система не зможе точно визначати невеликі зміни розміру.

Не менш важливим компонентом є об'єктів. Саме він визначає, як об'єкт буде спроектований на сенсор камери. Об'єктів впливає на масштаб зображення, різкість, кут огляду та рівень геометричних спотворень. У системах контролю геометричних параметрів бажано мінімізувати спотворення, оскільки вони можуть призводити до неправильного визначення розмірів. Наприклад, якщо краї деталі на зображенні викривлені через особливості оптики, алгоритм може помилково розрахувати довжину або ширину.

Окрему роль відіграє освітлення. У багатьох задачах машинного зору правильно організоване освітлення є критичним фактором. Навіть якісна камера не забезпечить надійного результату, якщо контури деталі погано відокремлюються від фону. Для контролю геометричних параметрів часто

потрібно створити високий контраст між деталлю та робочою поверхнею. Залежно від задачі можуть застосовуватися кільцеві світильники, бокове освітлення, підсвічування знизу, розсіяне освітлення або спеціальні промислові LED-модулі.

У випадку контролю прямокутної пластини з отвором доцільно використовувати рівномірне освітлення та контрастний фон. Наприклад, темну деталь можна розмістити на світлому фоні або навпаки. Це дозволить алгоритму простіше виконати порогову обробку, знайти зовнішній контур деталі та внутрішній контур отвору. Якщо освітлення буде нерівномірним, на зображенні можуть з'являтися тіні або відблиски, які ускладнять сегментацію.

Обчислювальний модуль виконує обробку отриманих даних. У промислових умовах це може бути промисловий комп'ютер, PLC-контролер із модулем машинного зору, edge-пристрій або спеціалізована вбудована платформа. Для задач, де використовуються складні алгоритми комп'ютерного зору або нейронні мережі, можуть застосовуватися пристрої з графічними прискорювачами. Для простіших задач достатньо звичайного мінікомп'ютера або персонального комп'ютера [20].

У демонстраційному прототипі доцільно використати звичайний комп'ютер із програмою на Python. Такий варіант дозволяє реалізувати алгоритм перевірки параметрів, обробку зображення через OpenCV, виведення результатів у графічному інтерфейсі та збереження журналу контролю. З погляду навчальної роботи це є достатнім, оскільки демонструє основні принципи побудови системи без потреби в дорогому промисловому обладнанні.

Датчик положення деталі може використовуватися для визначення моменту, коли деталь знаходиться в контрольній зоні. У реальному виробництві це може бути оптичний датчик, індуктивний датчик, кінцевий вимикач або сигнал від конвеєрної системи. Після спрацювання такого датчика камера отримує команду зробити знімок, а програмне забезпечення починає обробку. У

навчальній системі цей етап можна спростити: користувач сам натискає кнопку “Провести контроль” або “Захопити кадр”.

Інтерфейс оператора потрібний для відображення результатів контролю та налаштування параметрів системи. Через нього оператор може бачити зображення деталі, фактичні значення параметрів, номінальні значення, допуски, статус деталі та перелік виявлених відхилень. У промислових системах інтерфейс може бути реалізований на панелі оператора або через SCADA/MES-систему. У демонстраційній програмі його можна реалізувати за допомогою Tkinter, що дозволяє створити просте вікно з кнопками, таблицею результатів і областю перегляду зображення.

Виконавчий механізм використовується тоді, коли система повинна не лише показати результат, а й фізично вплинути на процес. Наприклад, якщо деталь визнана непридатною, механізм може відштовхнути її з конвеєра, подати сигнал на сортувальний пристрій або зупинити лінію. У демонстраційному прототипі реальний виконавчий механізм не потрібен. Його можна змоделювати програмно: система виводить статус “придатна” або “непридатна”, змінює колір індикатора та записує результат у журнал.

Також важливо враховувати засоби зв'язку між компонентами. Камера має передавати дані до обчислювального модуля, обчислювальний модуль - до інтерфейсу оператора або системи керування, а в разі потреби - до виконавчого механізму. У промислових системах можуть використовуватися Ethernet, USB, GigE Vision, Profinet, Modbus, OPC UA та інші інтерфейси. У демонстраційній програмі достатньо локальної роботи на одному комп'ютері, але в теоретичному описі варто зазначити, що реальна система може бути інтегрована з виробничою мережею.

Для стабільної роботи апаратної частини важливими є умови встановлення. Камера повинна бути жорстко закріплена, щоб її положення не змінювалося під час роботи. Деталь повинна розташовуватися в контрольній зоні однаково або система повинна мати алгоритми компенсації зміщення.

Освітлення має бути стабільним, а фон - контрольованим. Якщо ці умови не виконані, навіть правильний алгоритм може давати нестабільні результати.

У межах цієї роботи апаратну структуру доцільно розглядати у двох рівнях. Перший рівень - реальна промислова система, яка може включати промислову камеру, освітлення, датчик положення, обчислювальний модуль і виконавчий механізм. Другий рівень - демонстраційна навчальна система, у якій частина апаратних елементів замінена програмною моделлю. Наприклад, замість реального конвеєра використовується тестовий набір деталей, замість промислової камери - вебкамера або завантажене зображення, а замість виконавчого механізму - програмне повідомлення про статус деталі.

Таким чином, апаратні компоненти є основою вбудованої системи контролю, оскільки саме вони забезпечують отримання даних і взаємодію з виробничим процесом. Для промислового застосування важливими є якість камери, правильний вибір об'єктива, стабільне освітлення, надійний обчислювальний модуль і можливість інтеграції з обладнанням. Для демонстраційної системи достатньо спрощеної апаратної моделі, яка дозволяє показати основні принципи роботи: отримання зображення або тестових параметрів, обробку даних, перевірку допусків і формування результату контролю.

2.4 Програмне забезпечення та алгоритми прийняття рішення

Програмне забезпечення є однією з основних частин вбудованої системи контролю геометричних параметрів. Якщо апаратна частина забезпечує отримання зображення або вимірювальних даних, то програмна частина відповідає за їх обробку, аналіз, порівняння з допустимими значеннями та формування остаточного рішення щодо придатності деталі. Саме програмний алгоритм визначає, як система інтерпретує отримані дані та за якими правилами відносить деталь до придатних або непридатних.

					КВРКІ 022001.22.03.43 ПЗ	Арк. 36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У загальному вигляді програмне забезпечення вбудованої системи контролю має виконувати кілька основних функцій. По-перше, воно повинно отримувати вхідні дані. Це можуть бути числові значення параметрів, отримані від датчиків, зображення з камери, кадр із відеопотоку або тестові дані для демонстраційного режиму. По-друге, програма повинна виконувати попередню обробку даних, наприклад фільтрацію шуму, нормалізацію зображення або перевірку коректності введених значень. По-третє, система має визначити фактичні геометричні параметри деталі та порівняти їх із номінальними значеннями й допусками [22].

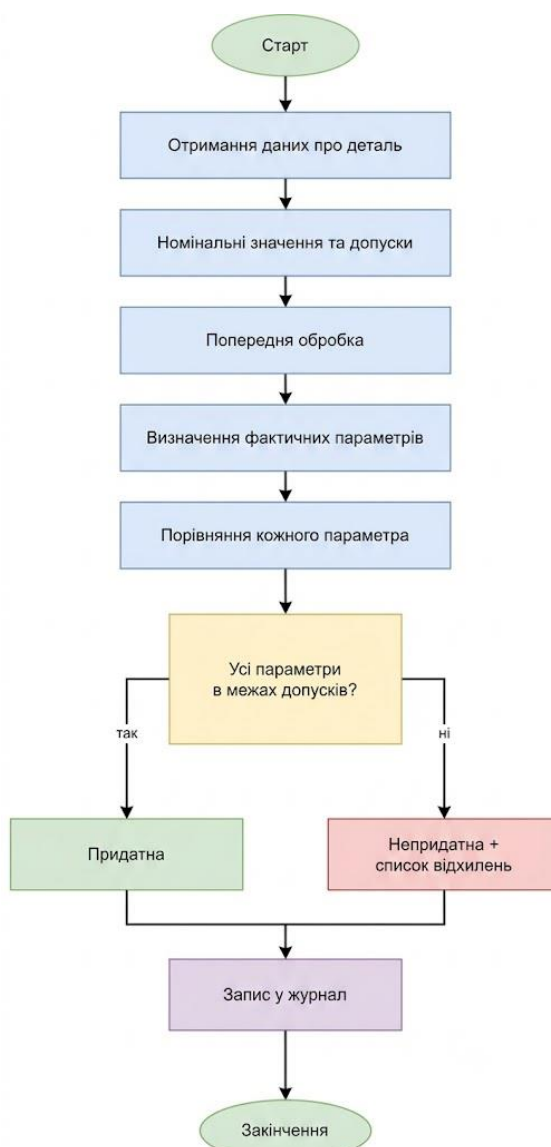


Рисунок 2.4 – Узагальнений алгоритм прийняття рішення в системі контролю

Одним із базових алгоритмів є алгоритм пошуку контуру. Він дозволяє визначити межу деталі на зображенні. Після цього можна знайти габаритний прямокутник, який описує зовнішні межі деталі, і на його основі розрахувати довжину та ширину. Якщо деталь має отвір, система може шукати внутрішній контур або кругову область, яка відповідає отвору. У спрощеному варіанті достатньо визначити центр і діаметр такого елемента. Потім розміри, виміряні в пікселях, переводяться в міліметри за допомогою коефіцієнта калібрування.

Проте в демонстраційній системі не обов'язково одразу реалізовувати повноцінне промислове розпізнавання зображень. Для навчальної роботи доцільно передбачити два режими: режим тестових даних і режим зображення або камери. У режимі тестових даних програма працює з уже заданими значеннями довжини, ширини, діаметра отвору та координат центра отвору. Це дозволяє стабільно показати логіку контролю незалежно від якості камери чи освітлення. У режимі зображення програма може демонструвати базові можливості обробки через OpenCV, але цей режим може бути допоміжним.

Після отримання фактичних параметрів система переходить до прийняття рішення. Найпростіший і найзрозуміліший алгоритм полягає у перевірці кожного параметра за допустимим інтервалом. Для кожного контрольованого параметра задається номінальне значення та допуск. На основі цих даних програма обчислює нижню й верхню межу. Якщо фактичне значення знаходиться в межах цього інтервалу, параметр вважається придатним. Якщо значення менше нижньої межі або більше верхньої межі, параметр вважається невідповідним.

Наприклад, якщо номінальна довжина деталі становить 100 мм, а допуск дорівнює $\pm 0,5$ мм, система формує допустимий інтервал від 99,5 мм до 100,5 мм. Якщо фактична довжина становить 100,2 мм, параметр є придатним. Якщо фактична довжина становить 101,0 мм, параметр виходить за межі допуску, і

система повинна зафіксувати відхилення. Така сама логіка застосовується до ширини, діаметра отвору та координат центра отвору.

Загальний статус деталі визначається після перевірки всіх параметрів. Якщо всі параметри перебувають у допустимих межах, система формує результат “придатна”. Якщо хоча б один параметр не відповідає вимогам, деталь отримує статус “непридатна”. Важливо, щоб система не просто показувала загальний результат, а й вказувала конкретні параметри, які не пройшли контроль. Це підвищує практичну цінність системи, оскільки оператор може швидше зрозуміти причину браку.

У програмній реалізації такий алгоритм можна подати як окремий модуль перевірки. Він отримує на вхід фактичні параметри деталі, номінальні значення та допуски. На виході модуль формує результат перевірки: статус, список відхилень і таблицю фактичних значень. Такий поділ є зручним, оскільки логіку контролю відокремлюється від інтерфейсу користувача. У майбутньому це дозволяє замінити джерело даних: наприклад, спочатку використовувати тестові значення, а потім підключити камеру або інший вимірювальний модуль [23].

Для демонстраційної програми доцільно використовувати просту структуру даних. Кожна деталь може описуватися набором параметрів: довжина, ширина, діаметр отвору, координата центра отвору по X і координата центра отвору по Y. Окремо зберігаються номінальні значення та допуски. Після перевірки створюється результат контролю, який містить дату й час перевірки, фактичні параметри, статус і перелік невідповідностей. Такі результати можна виводити в таблицю інтерфейсу та зберігати у CSV-файл.

Програмне забезпечення також повинно враховувати можливі помилки. Наприклад, користувач може завантажити зображення, на якому деталь не виявлена, або камера може бути недоступною. У такому випадку програма не повинна завершувати роботу аварійно. Вона має показати зрозуміле повідомлення і запропонувати інший режим роботи. Для навчального прототипу

це особливо важливо, оскільки програма повинна демонструвати ідею системи навіть тоді, коли автоматичне розпізнавання зображення працює приблизно.

Окрему роль відіграє інтерфейс користувача. У системі контролю він повинен бути простим і зрозумілим, оскільки оператору важливо швидко побачити результат. Основними елементами інтерфейсу можуть бути область зображення деталі, блок номінальних значень, блок фактичних вимірювань, індикатор статусу, список відхилень і таблиця історії перевірок. Якщо деталь придатна, статус можна позначати зеленим кольором, якщо непридатна - червоним. Такий підхід є простим, але зручним для сприйняття.

Для реалізації демонстраційного прототипу доцільно використати Python, оскільки він має зручні бібліотеки для обробки зображень, створення інтерфейсу та роботи з даними. OpenCV може застосовуватися для базової обробки зображень, NumPy - для розрахунків, Tkinter - для створення графічного інтерфейсу, а модуль CSV - для експорту результатів. Така комбінація технологій є достатньою для навчального програмного прототипу, який демонструє основну логіку вбудованого контролю.

У складніших системах прийняття рішення може базуватися не лише на простому порівнянні з допусками. Наприклад, можуть застосовуватися статистичні методи контролю процесу, аналіз тенденцій, машинне навчання або прогнозування появи дефектів. Такі підходи дозволяють не тільки виявляти вже наявні відхилення, а й передбачати можливі проблеми. Проте для цієї роботи доцільно використати класичний алгоритм перевірки параметрів, оскільки він є прозорим, зрозумілим і достатнім для демонстрації принципу роботи [24].

Таким чином, програмне забезпечення вбудованої системи контролю виконує роль центрального елемента, який поєднує отримання даних, обробку, аналіз і прийняття рішення. Для контролю геометричних параметрів найбільш зрозумілим є алгоритм порівняння фактичних значень із допустимими межами. У поєднанні з обробкою зображень і простим інтерфейсом оператора такий

					КВРКІ 022001.22.03.43 ПЗ	Арк. 40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

алгоритм дозволяє створити демонстраційну систему, яка показує основні принципи автоматизованого контролю деталей у виробничому процесі.

2.5 Висновки до другого розділу

У другому розділі було розглянуто методи та засоби побудови вбудованих систем контролю геометричних параметрів деталей. Основну увагу приділено тому, які вимірювальні підходи, апаратні компоненти та програмні алгоритми можуть застосовуватися для автоматизації контролю у виробничому процесі.

Було визначено, що методи вимірювання геометричних параметрів можна поділити на контактні та безконтактні. Контактні методи, зокрема вимірювання штангенінструментом, мікрометрами, калібрами та координатно-вимірювальними машинами, залишаються важливими для забезпечення високої точності. Водночас вони мають певні обмеження, пов'язані з тривалістю вимірювання, потребою у фізичному контакті з деталлю та залежністю від оператора.

Безконтактні методи є більш придатними для вбудованого контролю, оскільки вони дозволяють отримувати інформацію про деталь без її механічного торкання. Особливо перспективним є використання машинного зору. За допомогою камери, освітлення та програмної обробки зображення можна визначати контури, габаритні розміри, отвори, положення елементів і відхилення форми. Такий підхід добре підходить для автоматизації контролю деталей у виробничому потоці.

Було показано, що система машинного зору складається не тільки з програмного алгоритму, а й з апаратних компонентів. До них належать камера, об'єктив, джерело освітлення, обчислювальний модуль, датчик положення деталі, інтерфейс оператора та, за потреби, виконавчий механізм. Стабільність роботи системи значною мірою залежить від якості цих компонентів, правильного калібрування, освітлення та фіксації контрольної зони.

					КВРКІ 022001.22.03.43 ПЗ	Арк. 41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Окремо було розглянуто програмне забезпечення та алгоритми прийняття рішення. Встановлено, що для демонстраційної системи доцільно використовувати простий і зрозумілий алгоритм: отримання фактичних параметрів, порівняння з номінальними значеннями й допусками, визначення відхилень і формування статусу “придатна” або “непридатна”. Такий підхід є достатнім для навчального прототипу, оскільки він наочно показує логіку геометричного контролю.

Таким чином, аналіз методів і засобів контролю показав, що для теми цієї роботи найбільш доцільним є поєднання безконтактного підходу, програмної обробки даних і алгоритму перевірки параметрів за допусками. Це створює основу для подальшого проектування вбудованої системи контролю геометричних параметрів деталей та розроблення демонстраційної Python-програми з використанням OpenCV, Tkinter і тестових даних.

					КВРКІ 022001.22.03.43 ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ

3.1 Постановка задачі проєктування системи контролю

У межах цієї роботи розглядається проєктування вбудованої системи контролю геометричних параметрів деталей у виробничому процесі. Основне завдання такої системи полягає в автоматизованій перевірці фактичних параметрів деталі та визначенні її відповідності встановленим допускам. На відміну від ручного контролю, вбудована система повинна працювати безпосередньо в технологічному процесі або імітувати таку роботу в демонстраційному програмному середовищі.

Для спрощення проєктування як контрольовану деталь доцільно використати прямокутну пластину з круглим отвором. Така модель є зручною для навчальної демонстрації, оскільки дозволяє перевірити кілька важливих геометричних параметрів: довжину, ширину, діаметр отвору та координати центра отвору. Водночас така деталь достатньо проста для програмної реалізації й пояснення алгоритму контролю.

У запропонованій системі контролюються такі параметри: довжина деталі L , ширина W , діаметр отвору D , координата центра отвору по осі X та координата центра отвору по осі Y . Для кожного параметра задається номінальне значення та допуск. Система повинна порівнювати фактичні значення з допустимими межами і формувати результат: “придатна” або “непридатна”.

У реальній виробничій системі дані про деталь можуть надходити від камери, датчика або іншого вимірювального модуля. У демонстраційному прототипі передбачається використання тестових даних, випадково згенерованих параметрів, а також додаткового режиму роботи із зображенням або камерою. Такий підхід дозволяє показати логіку вбудованого контролю без використання дорогого промислового обладнання [2], [11].

Задача проєктування полягає у створенні концепції системи, яка отримує параметри деталі, виконує їх перевірку за допусками, показує результат оператору та зберігає історію контролю. Для демонстраційного варіанта достатньо реалізувати програму на Python, яка моделює роботу такої системи. У подальшому її можна розширити шляхом підключення реальної камери, удосконалення алгоритмів обробки зображень і додавання бази даних.

3.2 Вимоги до вбудованої системи контролю

Після постановки задачі проєктування необхідно визначити вимоги до вбудованої системи контролю геометричних параметрів. Саме вимоги описують, що система повинна виконувати, у яких умовах вона має працювати та яким критеріям повинна відповідати. Для цієї роботи вимоги доцільно розглядати у двох площинах: як вимоги до умовної виробничої системи та як вимоги до демонстраційного програмного прототипу. Такий підхід дозволяє зберегти зв'язок із реальною виробничою задачею, але водночас не ускладнювати практичну частину надмірними технічними деталями.

Основна функція системи полягає у контролі геометричних параметрів деталі та визначенні її відповідності встановленим допускам. Для обраної моделі деталі система повинна контролювати довжину, ширину, діаметр отвору, координату центра отвору по осі X та координату центра отвору по осі Y. Ці параметри є достатніми для демонстрації загальної логіки геометричного контролю, оскільки охоплюють як габаритні розміри, так і положення внутрішнього елемента деталі.

Першою групою є функціональні вимоги. Вони визначають конкретні дії, які повинна виконувати система. Насамперед система має отримувати дані про деталь. У реальній виробничій системі такі дані можуть надходити з камери, лазерного датчика або іншого вимірювального модуля. У демонстраційному прототипі передбачається кілька джерел даних: тестовий набір параметрів,

					КВРКІ 022001.22.03.43 ПЗ	Арк. 44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

випадково згенеровані параметри, завантажене зображення або кадр із камери. Завдяки цьому система може демонструвати логіку контролю навіть без підключення промислового обладнання [29].

Другою важливою функціональною вимогою є обробка отриманих даних. Якщо система працює з тестовими числовими значеннями, вона повинна перевірити їхню коректність і передати до модуля контролю. Якщо система працює із зображенням, програмне забезпечення має виконати базову обробку: перетворення зображення в градації сірого, фільтрацію, порогову обробку, пошук контурів і визначення геометричних параметрів. У демонстраційному прототипі цей режим може бути спрощеним, але він має показувати загальний принцип роботи машинного зору.

Третьою функціональною вимогою є порівняння фактичних параметрів із номінальними значеннями та допусками. Для кожного параметра система повинна визначати нижню й верхню допустиму межу. Наприклад, якщо номінальне значення довжини становить 100 мм, а допуск дорівнює $\pm 0,5$ мм, допустимий інтервал становить від 99,5 мм до 100,5 мм. Аналогічна перевірка виконується для ширини, діаметра отвору та координат центра отвору.

Четверта вимога пов'язана з формуванням результату контролю. Система повинна визначати загальний статус деталі: “придатна” або “непридатна”. Якщо всі параметри перебувають у межах допусків, деталь визнається придатною. Якщо хоча б один параметр виходить за межі, система повинна позначити деталь як непридатну. При цьому важливо, щоб програма не обмежувалася лише загальним статусом, а також показувала конкретні параметри, які не відповідають вимогам. Це потрібно для того, щоб оператор міг швидко зрозуміти причину браку.

П'ята функціональна вимога - відображення результатів контролю в інтерфейсі користувача. Інтерфейс має показувати номінальні значення, фактичні значення, допуски, статус деталі та список відхилень. Для зручності сприйняття результат можна виводити за допомогою кольорового індикатора:

					КВРКІ 022001.22.03.43 ПЗ	Арк. 45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зелений колір для придатної деталі, червоний - для непридатної. Такий підхід є простим, але зрозумілим для оператора або користувача демонстраційної програми.

Шоста функціональна вимога - збереження результатів контролю. Система повинна формувати журнал перевірок, у якому зберігаються дата й час контролю, фактичні значення параметрів, статус деталі та перелік відхилень. Для демонстраційного прототипу достатньо зберігати ці дані у таблиці інтерфейсу та забезпечити експорт у CSV-файл. У реальній виробничій системі такі дані могли б передаватися до бази даних, MES-системи або іншої інформаційної системи підприємства [30].

Крім функціональних вимог, потрібно визначити нефункціональні вимоги. Вони описують не конкретні дії системи, а її якісні характеристики. До таких вимог належать швидкодія, надійність, зручність використання, масштабованість, простота налаштування та стійкість до помилок. Для виробничої системи швидкодія є особливо важливою, оскільки контроль не повинен суттєво уповільнювати технологічний процес. Для демонстраційної програми ця вимога не є настільки критичною, але система все одно має реагувати на дії користувача без помітних затримок.

Надійність системи означає, що вона повинна стабільно працювати за нормальних умов і не завершувати роботу через типові помилки користувача. Наприклад, якщо зображення не завантажено, камера недоступна або контур деталі не знайдено, програма повинна показати повідомлення, а не аварійно завершитися. Така поведінка є важливою навіть для навчального прототипу, оскільки вона демонструє правильний підхід до розроблення технічного програмного забезпечення.

Зручність використання також є суттєвою вимогою. Інтерфейс системи повинен бути зрозумілим і не перевантаженим. Користувач має швидко бачити основні елементи: кнопки запуску перевірки, область зображення або схеми деталі, таблицю результатів і блок статусу. Для студентської демонстраційної

програми особливо важливо, щоб принцип роботи був зрозумілий не лише розробнику, а й викладачу або іншому користувачу, який буде переглядати практичну частину.

Масштабованість означає можливість подальшого розширення системи. Наприклад, у майбутньому можна додати підтримку інших типів деталей, нові контрольовані параметри, складнішу обробку зображення, статистику браку, графіки або підключення до бази даних. Тому навіть у простому прототипі бажано розділити програму на окремі модулі: модуль даних, модуль перевірки, модуль обробки зображень, модуль інтерфейсу та модуль експорту.

Окремою вимогою є можливість калібрування. Якщо система працює із зображенням, вона повинна мати коефіцієнт перерахунку пікселів у міліметри. У демонстраційному варіанті можна використати простий параметр `pixels_per_mm`, який задається в коді або через інтерфейс. У реальній системі калібрування повинно виконуватися за допомогою еталонного об'єкта або калібрувального шаблону. Без калібрування вимірювання із зображення не можна вважати коректними [31].

Також потрібно враховувати обмеження системи. Перше обмеження полягає в тому, що демонстраційний прототип не є сертифікованим вимірювальним засобом. Він призначений для пояснення принципу роботи, а не для реального промислового контролю. Друге обмеження пов'язане з якістю зображення. Якщо камера або завантажене зображення мають низьку якість, алгоритм може неправильно визначити контур деталі. Третє обмеження стосується спрощеної геометрії: у роботі розглядається одна типова деталь, хоча в реальному виробництві деталі можуть мати значно складнішу форму.

Для системи також важлива вимога простежуваності результатів. Кожен запис у журналі контролю повинен містити достатньо інформації, щоб можна було зрозуміти, коли була перевірена деталь, які параметри вона мала та чому отримала певний статус. У промисловому середовищі простежуваність є важливою частиною управління якістю, оскільки дозволяє аналізувати причини

отримувати параметри деталі, перевіряти їх за допусками, формувати результат контролю, показувати відхилення, вести журнал перевірок і за потреби працювати із зображенням або камерою. Такі вимоги є достатніми для створення демонстраційної Python-програми, яка відображає принципи роботи вбудованої системи контролю геометричних параметрів деталей.

3.3 Розроблення структурної схеми системи

Після визначення задачі та вимог до системи необхідно розробити її структурну схему. Структурна схема показує, з яких основних блоків складається система, як ці блоки взаємодіють між собою та яким шляхом проходять дані від моменту отримання інформації про деталь до формування результату контролю. Для вбудованої системи контролю геометричних параметрів така схема є важливою, оскільки вона поєднує апаратну, програмну та інформаційну частини.

У загальному вигляді запропонована система може складатися з таких основних блоків: блок отримання даних, блок попередньої обробки, блок визначення геометричних параметрів, блок налаштування номінальних значень і допусків, блок прийняття рішення, інтерфейс оператора, журнал результатів контролю та блок взаємодії з виробничим процесом. У демонстраційному програмному прототипі частина цих блоків може бути реалізована у спрощеному вигляді, але їх логіка залишається такою самою, як і в реальній системі.

Першим елементом структурної схеми є блок отримання даних. У реальній виробничій системі він може бути представлений камерою, лазерним датчиком, координатним вимірювальним модулем або іншим технічним засобом. Для задачі, що розглядається в цій роботі, основним варіантом є використання камери або зображення деталі. У демонстраційному прототипі блок отримання даних може працювати в кількох режимах: завантаження тестової деталі,

генерація випадкової деталі, завантаження зображення з файлу або отримання кадру з камери [33].

Другим елементом є блок попередньої обробки. Якщо система працює з числовими тестовими даними, цей блок виконує перевірку коректності значень. Наприклад, довжина, ширина та діаметр не можуть бути від'ємними, а координати центра отвору повинні бути логічно пов'язані з розмірами деталі. Якщо система працює із зображенням, блок попередньої обробки виконує перетворення зображення в градації сірого, фільтрацію шуму, порогову обробку та підготовку зображення до пошуку контурів.

Наступним є блок визначення геометричних параметрів. Його завдання полягає в тому, щоб отримати фактичні значення параметрів деталі. У режимі тестових даних ці параметри вже задані, тому блок просто передає їх до модуля перевірки. У режимі обробки зображення система повинна визначити зовнішній контур деталі, знайти її габаритний прямокутник, визначити ширину й довжину, а також знайти внутрішній контур отвору. На основі цього розраховуються діаметр отвору та координати його центра.

Окремим блоком є блок калібрування. Він потрібний тоді, коли система працює із зображенням або камерою. Оскільки зображення вимірюється в пікселях, а геометричні параметри деталі повинні бути представлені в міліметрах, необхідно використовувати коефіцієнт перерахунку. У демонстраційному прототипі можна застосувати спрощений параметр `pixels_per_mm`. У реальних системах калібрування виконується точніше, з урахуванням оптичних спотворень, положення камери та калібрувальних шаблонів [34].

Важливим елементом схеми є блок налаштування номінальних значень і допусків. Він містить еталонні параметри деталі, з якими порівнюються фактичні результати вимірювання. Для обраної деталі це можуть бути номінальна довжина, ширина, діаметр отвору та координати центра отвору. Для кожного

параметра задається допустиме відхилення. Саме цей блок визначає межі, у яких параметр вважається придатним.

Блок прийняття рішення є центральним елементом програмної логіки системи. Він отримує фактичні параметри, номінальні значення та допуски, після чого виконує порівняння. Для кожного параметра обчислюється нижня й верхня допустима межа. Якщо значення перебуває в цих межах, параметр позначається як придатний. Якщо значення виходить за межі допуску, параметр додається до списку відхилень. Після перевірки всіх параметрів система формує загальний статус деталі: “придатна” або “непридатна”.

Інтерфейс оператора забезпечує взаємодію користувача із системою. Через нього можна запускати перевірку, обирати режим роботи, переглядати зображення деталі, бачити фактичні значення, допуски, статус і список помилок. Для демонстраційної Python-програми інтерфейс доцільно реалізувати у вигляді простого вікна з кнопками керування, областю візуалізації деталі, таблицею вимірювань і журналом результатів. Такий інтерфейс не повинен бути складним, оскільки головна мета полягає в демонстрації принципу роботи системи.

Журнал результатів контролю є окремим інформаційним блоком. Він зберігає дані про кожну перевірену деталь: дату й час перевірки, фактичні параметри, статус і перелік відхилень. У демонстраційному прототипі журнал може зберігатися у таблиці програми та експортуватися у CSV-файл. У реальному виробництві аналогічний блок міг би бути пов’язаний із базою даних, MES-системою або системою управління якістю. Наявність журналу є важливою, оскільки вона дозволяє аналізувати повторювані дефекти та стабільність процесу [35].

Блок взаємодії з виробничим процесом у реальній системі може відповідати за передавання результату до обладнання або виконавчого механізму. Наприклад, якщо деталь непридатна, система може подати сигнал на сортувальний пристрій, зупинити конвеєр або повідомити оператора. У демонстраційному прототипі цей блок можна реалізувати умовно: замість

фізичного сигналу програма змінює статус на екрані, підсвічує результат і записує його в історію.

Структурна схема повинна також відображати потік даних. Спочатку система отримує дані про деталь. Далі ці дані проходять попередню обробку, після чого з них визначаються геометричні параметри. Потім параметри порівнюються з номінальними значеннями та допусками. Після прийняття рішення результат передається до інтерфейсу користувача, журналу контролю та, за потреби, до блоку виробничої реакції. Такий порядок забезпечує логічну послідовність роботи системи.

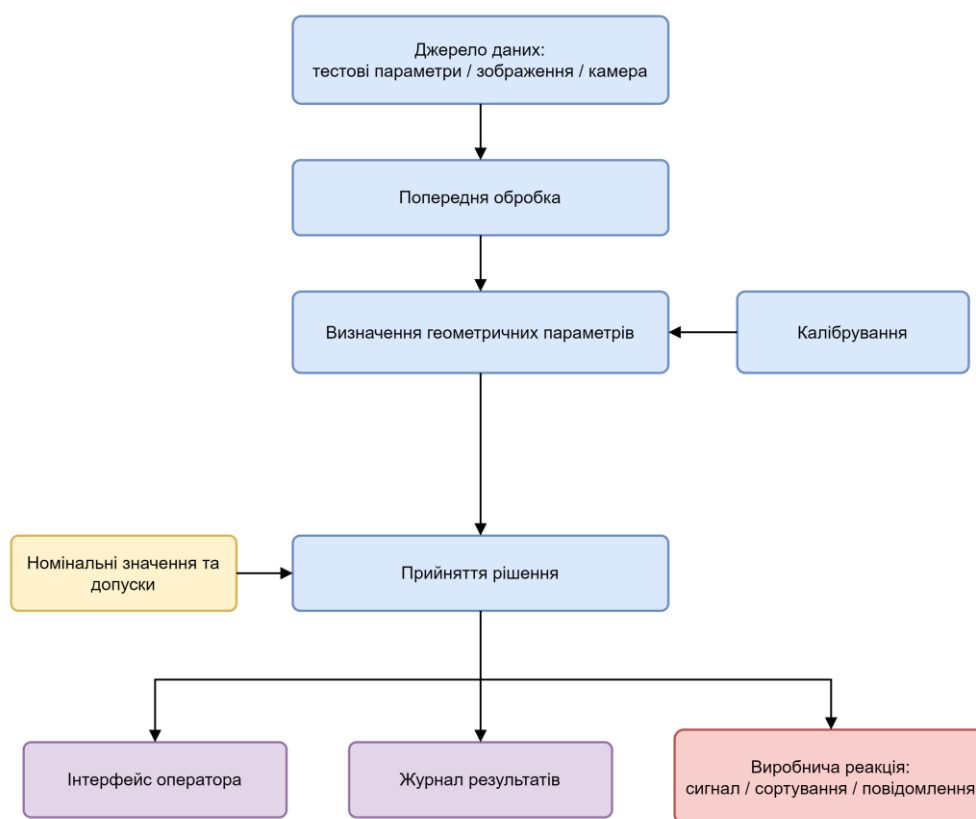


Рисунок 3.1 – Структурна схема вбудованої системи контролю геометричних параметрів деталей

Для демонстраційної програми структурну схему можна подати у вигляді програмних модулів. Наприклад, модуль `models.py` містить опис структури даних для параметрів деталі та результатів контролю. Модуль `inspection.py`

відповідає за логіку перевірки за допусками. Модуль `image_processing.py` виконує базову обробку зображення. Модуль `ui.py` реалізує графічний інтерфейс, а модуль `data_export.py` відповідає за експорт результатів у CSV. Такий поділ робить систему зрозумілішою і спрощує її подальше вдосконалення.

Перевагою запропонованої структури є її модульність. Якщо в майбутньому потрібно буде замінити тестові дані на реальну камеру, основна логіка перевірки залишиться майже незмінною. Якщо потрібно буде додати нові параметри, можна розширити модель даних і модуль перевірки. Якщо потрібно буде зберігати результати не в CSV, а в базі даних, можна змінити лише модуль експорту. Саме модульний підхід є зручним для технічних систем, які можуть поступово розвиватися [36].

Важливо також, що структурна схема допомагає відокремити навчальний прототип від промислової реалізації. У навчальному варіанті частина блоків моделюється програмно, але їх призначення залишається таким самим. Наприклад, тестові дані замінюють реальні вимірювання, а виведення статусу на екран замінює сигнал сортувальному механізму. Це дозволяє показати принцип роботи системи без складного обладнання, але зберегти логіку реального виробничого контролю.

Отже, структурна схема вбудованої системи контролю геометричних параметрів повинна відображати повний шлях даних: від отримання інформації про деталь до формування рішення та збереження результатів. Запропонована структура включає блоки отримання даних, попередньої обробки, визначення параметрів, калібрування, налаштування допусків, прийняття рішення, інтерфейсу оператора, журналу контролю та взаємодії з виробничим процесом. Така структура є достатньою для побудови демонстраційної Python-програми та водночас відповідає загальним принципам вбудованого контролю у виробництві.

3.4 Алгоритм контролю геометричних параметрів

Алгоритм контролю геометричних параметрів є основою роботи запропонованої системи. Саме він визначає послідовність дій, за якою система отримує дані про деталь, обробляє їх, визначає фактичні параметри, порівнює ці параметри з допусками та формує рішення про придатність або непридатність виробу. Для вбудованої системи такий алгоритм має бути достатньо простим, стабільним і зрозумілим, оскільки від нього залежить правильність результату контролю.

У межах цієї роботи алгоритм доцільно будувати для типової деталі - прямокутної пластини з круглим отвором. Для такої деталі контролюються п'ять основних параметрів: довжина, ширина, діаметр отвору, координата центра отвору по осі X та координата центра отвору по осі Y. Кожен параметр має номінальне значення та встановлений допуск. Завдання алгоритму полягає в тому, щоб визначити фактичні значення цих параметрів і перевірити, чи перебувають вони в допустимих межах.

Першим етапом алгоритму є запуск системи та підготовка до контролю. На цьому етапі система завантажує номінальні значення параметрів, допуски, налаштування калібрування та початкові параметри інтерфейсу. Якщо система працює із зображенням або камерою, також перевіряється доступність джерела даних. У демонстраційному прототипі цей етап може бути реалізований простіше: програма відкриває головне вікно, завантажує тестові параметри та готує таблицю журналу результатів.

Другим етапом є отримання даних про деталь. У запропонованій системі можливі кілька джерел даних. Перший варіант - тестові параметри, які заздалегідь задані в програмі. Другий варіант - випадкова генерація параметрів із невеликими відхиленнями від номінальних значень. Третій варіант - завантаження зображення деталі з файлу. Четвертий варіант - отримання кадру з камери. Такий підхід робить систему гнучкою: вона може стабільно

					КВРКІ 022001.22.03.43 ПЗ	Арк. 54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

демонструвати логіку контролю на тестових даних і водночас показувати можливість роботи з візуальною інформацією [37].

Якщо використовуються тестові дані, алгоритм одразу переходить до перевірки параметрів. Якщо використовується зображення або камера, необхідний етап попередньої обробки. Зображення перетворюється в градації сірого, щоб спростити подальший аналіз. Потім може застосовуватися фільтрація для зменшення шуму. Після цього виконується порогова обробка, яка дозволяє відокремити деталь від фону. Далі система шукає контури та вибирає найбільший контур як зовнішній контур деталі.

Після знаходження зовнішнього контуру система може визначити габаритний прямокутник. За цим прямокутником розраховуються довжина та ширина деталі в пікселях. Далі система намагається знайти внутрішній контур, який відповідає отвору. Якщо такий контур знайдено, визначаються його центр і діаметр. Якщо отвір не знайдено або результат є ненадійним, система повинна показати попередження й не завершувати роботу аварійно. Для демонстраційного прототипу це важливо, оскільки режим обробки зображень може залежати від якості знімка та освітлення [38].

Наступним етапом є перерахунок пікселів у міліметри. Для цього використовується коефіцієнт калібрування. У спрощеній моделі можна задати значення, наприклад $\text{pixels_per_mm} = 5.0$. Якщо довжина деталі на зображенні становить 500 пікселів, то за такого коефіцієнта вона відповідає 100 мм. У реальній системі калібрування повинно виконуватися точніше, але для демонстраційного прототипу такого підходу достатньо, щоб показати принцип переходу від зображення до фізичних параметрів.

Після отримання фактичних значень алгоритм переходить до перевірки за допусками. Для кожного параметра обчислюється нижня та верхня допустима межа. Нижня межа визначається як різниця між номінальним значенням і допуском, а верхня - як сума номінального значення та допуску. Наприклад,

якщо номінальний діаметр отвору становить 20 мм, а допуск дорівнює $\pm 0,3$ мм, допустимий інтервал буде від 19,7 мм до 20,3 мм.

Далі алгоритм порівнює фактичне значення кожного параметра з відповідним інтервалом. Якщо значення перебуває в межах допустимого діапазону, параметр вважається таким, що пройшов контроль. Якщо значення менше нижньої межі або більше верхньої межі, параметр вважається невідповідним. У такому разі назва параметра додається до списку відхилень. Цей список потрібний для того, щоб користувач бачив не тільки загальний статус деталі, а й конкретну причину браку.

Після перевірки всіх параметрів система формує загальний результат. Якщо список відхилень порожній, деталь отримує статус “придатна”. Якщо в списку є хоча б один параметр, деталь отримує статус “непридатна”. Така логіка є простою, але вона відповідає базовій ідеї контролю якості: виріб вважається придатним лише тоді, коли всі критичні параметри перебувають у допустимих межах [39].

Важливою частиною алгоритму є формування зрозумілого результату для оператора. Система повинна відобразити фактичні параметри, номінальні значення, допуски, статус і перелік невідповідностей. Наприклад, якщо довжина та ширина відповідають нормі, але діаметр отвору перевищує верхню межу, програма повинна вказати саме цей параметр як причину непридатності. Такий підхід підвищує практичну цінність системи, оскільки оператор може швидше зрозуміти, яка технологічна операція потребує уваги.

Після виведення результату алгоритм додає запис до журналу контролю. У записі повинні міститися ідентифікатор перевірки, дата й час, фактичні параметри, статус деталі та перелік відхилень. У демонстраційному прототипі журнал може відображатися в таблиці інтерфейсу та експортуватися у CSV-файл. У реальній виробничій системі такі дані можуть передаватися до бази даних або системи управління виробництвом. Накопичення результатів важливе для аналізу стабільності процесу та пошуку причин повторюваних дефектів.

					КВРКІ 022001.22.03.43 ПЗ	Арк. 56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Алгоритм також повинен містити обробку помилок. Наприклад, якщо користувач натиснув кнопку перевірки, але деталь не завантажена, система повинна показати повідомлення. Якщо камера недоступна, програма повинна запропонувати використати тестові дані або зображення з файлу. Якщо на зображенні не знайдено контур деталі, система повинна повідомити, що автоматичне визначення параметрів неможливе. Такі перевірки роблять програму стійкішою та зручнішою для використання.

У спрощеному вигляді логіку алгоритму можна подати так: система отримує дані, визначає фактичні параметри, порівнює їх із допусками, формує статус і зберігає результат. Незважаючи на простоту, така схема добре відображає роботу реальної системи контролю. У промисловому застосуванні вона може бути доповнена складнішими методами: статистичним аналізом, автоматичним коригуванням обладнання, машинним навчанням або інтеграцією з виробничою інформаційною системою [40].

Для демонстраційної Python-програми алгоритм можна реалізувати окремим модулем, наприклад `inspection.py`. У цьому модулі доцільно створити функцію або клас, який приймає фактичні параметри деталі та конфігурацію допусків. На виході модуль повертає результат контролю: статус і список параметрів, які не відповідають вимогам. Такий підхід дозволяє відокремити логіку перевірки від графічного інтерфейсу та спростити подальше тестування програми.

Таким чином, алгоритм контролю геометричних параметрів повинен забезпечувати послідовний перехід від вхідних даних до рішення про якість деталі. Його основними етапами є отримання параметрів, попередня обробка, визначення геометричних характеристик, перерахунок у фізичні одиниці, порівняння з допусками, формування статусу та збереження результату. Запропонований алгоритм є достатньо простим для демонстраційної реалізації, але водночас відображає основну логіку вбудованої системи контролю у виробничому процесі.

3.5 Інформаційна модель даних системи

Інформаційна модель даних визначає, які саме дані використовує система контролю та як вони зберігаються після перевірки. Для демонстраційного прототипу достатньо передбачити кілька основних груп даних: параметри деталі, номінальні значення, допуски, результат контролю та журнал перевірок.

Фактичні параметри деталі включають довжину, ширину, діаметр отвору, координату центра отвору по осі X та координату центра отвору по осі Y. Ці значення можуть надходити з тестового набору, генератора випадкових параметрів або модуля обробки зображення. Незалежно від джерела даних, перед перевіркою всі параметри мають бути представлені в міліметрах.

Окремо в системі зберігаються номінальні значення та допуски. Вони використовуються як еталон для перевірки фактичних параметрів. Для кожного параметра система визначає допустимий інтервал і порівнює з ним виміряне значення. Такий підхід дозволяє легко змінювати вимоги до деталі без зміни основного алгоритму контролю [31].

Результат контролю повинен містити дату й час перевірки, фактичні параметри, загальний статус деталі та список параметрів, які не відповідають допускам. Якщо всі значення перебувають у допустимих межах, деталь отримує статус “придатна”. Якщо хоча б один параметр виходить за межі, система формує статус “непридатна” та вказує причину браку.

Для реалізації такої моделі в Python доцільно використовувати окремі структури даних або класи. Наприклад, PartMeasurement може містити фактичні параметри, ToleranceConfig - номінальні значення й допуски, а InspectionResult - результат перевірки. Такий поділ робить програму зрозумілішою та спрощує її подальше розширення.

Журнал результатів може відображатися у таблиці інтерфейсу та експортуватися у CSV-файл. Це дозволяє зберігати історію перевірок і за потреби аналізувати результати контролю [33].

Таблиця 3.2 – Структура даних результату контролю

Поле	Опис
id	Номер перевірки
date_time	Дата й час контролю
length_mm	Фактична довжина деталі
width_mm	Фактична ширина деталі
hole_diameter_mm	Діаметр отвору
hole_center_x_mm	Координата центра отвору по X
hole_center_y_mm	Координата центра отвору по Y
status	Результат: “придатна” або “непридатна”
failed_parameters	Параметри, які вийшли за межі допуску

Журнал результатів може відображатися у таблиці інтерфейсу та експортуватися у CSV-файл. Це дозволяє зберігати історію перевірок і за потреби аналізувати результати контролю [33].

3.6. Реалізація демонстраційного програмного прототипу

Для практичного підтвердження запропонованого підходу доцільно передбачити демонстраційний програмний прототип системи контролю геометричних параметрів деталей. Його основне призначення полягає не в заміні промислового вимірювального обладнання, а в наочному показі логіки вбудованого контролю: отримання параметрів деталі, порівняння їх із заданими допусками, формування статусу придатності та збереження результатів перевірки.

Демонстраційний прототип доцільно реалізувати мовою Python. Такий вибір пояснюється тим, що Python має зручні засоби для роботи з даними, зображеннями, графічним інтерфейсом і файлами. Для обробки зображень може використовуватися бібліотека OpenCV, для числових операцій - NumPy, для

створення графічного інтерфейсу - Tkinter, для відображення зображень - Pillow, а для збереження результатів - CSV-експорт [26], [30].

Основним режимом роботи прототипу є режим тестових даних. У цьому режимі програма використовує заздалегідь підготовлені приклади деталей із різними значеннями параметрів. Частина деталей відповідає встановленим допускам, а частина має відхилення. Такий підхід дозволяє стабільно продемонструвати роботу алгоритму незалежно від якості камери, освітлення або складності обробки зображення.

Додатково в прототипі може бути передбачений режим генерації випадкової деталі. У цьому випадку програма створює параметри, близькі до номінальних значень, але з певними випадковими відхиленнями. Це дає змогу швидко отримувати різні приклади контролю й перевіряти, як система реагує на придатні та непридатні деталі.

Ще одним додатковим режимом є робота із зображенням або камерою. У цьому режимі програма може завантажувати зображення деталі з файлу або отримувати кадр із вебкамери. Далі зображення обробляється засобами OpenCV: перетворюється в градації сірого, фільтрується, проходить порогову обробку, після чого система намагається визначити контур деталі та отвір. Отримані розміри спочатку визначаються в пікселях, а потім можуть бути перераховані в міліметри за допомогою коефіцієнта калібрування [27, 29].

Важливо зазначити, що режим обробки зображення має демонстраційний характер. Його точність залежить від якості зображення, фону, освітлення, положення деталі та камери. Тому основним і найбільш стабільним режимом прототипу залишається робота з тестовими даними, а камера або зображення використовуються як додатковий елемент, який показує можливість подальшого розвитку системи.

Інтерфейс демонстраційної програми доцільно побудувати у вигляді одного основного вікна. У лівій частині можна розмістити кнопки керування: завантаження тестової деталі, генерація випадкової деталі, завантаження

зображення, запуск камери, проведення контролю, експорт результатів і очищення історії. У центральній частині варто передбачити область для відображення схеми або зображення деталі. У правій частині доцільно показувати номінальні значення, фактичні параметри, допуски, статус і список відхилень. У нижній частині може розміщуватися таблиця історії перевірок.

Програмну структуру прототипу бажано поділити на кілька файлів. Файл `main.py` відповідає за запуск програми. У `models.py` можна описати структури даних для параметрів деталі, допусків і результатів перевірки. Файл `inspection.py` містить алгоритм перевірки параметрів за допусками. У `image_processing.py` розміщуються функції обробки зображень і роботи з камерою. Файл `ui.py` відповідає за графічний інтерфейс, а `data_export.py` - за збереження результатів у CSV-файл.

Такий поділ робить програму зрозумілішою та спрощує її подальше вдосконалення. Наприклад, якщо потрібно змінити алгоритм перевірки, достатньо працювати з модулем `inspection.py`. Якщо потрібно покращити інтерфейс, зміни вносяться до `ui.py`. Якщо в майбутньому буде додано точнішу обробку зображень, її можна розширювати в `image_processing.py`.

Основна логіка роботи програми полягає в тому, що користувач обирає джерело даних, після чого система отримує фактичні параметри деталі. Далі програма порівнює ці параметри з номінальними значеннями та допусками. Якщо всі параметри перебувають у допустимих межах, деталь отримує статус “придатна”. Якщо хоча б один параметр виходить за межі, система формує статус “непридатна” і показує перелік проблемних параметрів.

Після кожної перевірки результат додається до журналу. Запис у журналі містить номер перевірки, дату й час, фактичні параметри деталі, статус і список відхилень. За потреби користувач може експортувати журнал у CSV-файл. Це дозволяє зберігати історію контролю та використовувати її для подальшого аналізу [33].

Отже, демонстраційний програмний прототип дозволяє показати основні принципи роботи вбудованої системи контролю геометричних параметрів. Він поєднує тестові дані, алгоритм перевірки за допусками, простий графічний інтерфейс, журнал результатів і можливість додаткової роботи із зображеннями. Такий прототип є достатнім для навчальної роботи й може бути розширений у майбутньому до більш наближеної до виробництва системи.

3.7. Тестування демонстраційної системи та аналіз результатів

Після опису демонстраційного програмного прототипу необхідно перевірити, як система працює з різними варіантами параметрів деталі. Метою тестування є підтвердження того, що алгоритм правильно визначає придатні та непридатні деталі, вказує причини браку та зберігає результати перевірок у журналі.

Основне тестування доцільно виконувати на підготовлених тестових даних. Це дозволяє перевірити роботу алгоритму без залежності від камери, освітлення або якості зображення. Для тестування використовується модель прямокутної пластини з круглим отвором. Контролюються п'ять параметрів: довжина, ширина, діаметр отвору, координата центра отвору по осі X та координата центра отвору по осі Y.

Для тестового прикладу задаються такі номінальні значення: довжина деталі - 100 мм, ширина - 60 мм, діаметр отвору - 20 мм, координата Xс - 50 мм, координата Yс - 30 мм. Допуски встановлюються так: для довжини та ширини - $\pm 0,5$ мм, для діаметра отвору - $\pm 0,3$ мм, для координат центра отвору - $\pm 0,5$ мм. Якщо фактичне значення параметра перебуває в межах відповідного інтервалу, параметр вважається придатним. Якщо значення виходить за межі, система фіксує відхилення [10].

Таблиця 3.3 – Результати тестової перевірки деталей

					КВРКІ 022001.22.03.43 ПЗ	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Окремо важливим є восьмий приклад, у якому одночасно присутні кілька відхилень. Такий тест потрібний для перевірки того, чи система здатна виводити повний список проблемних параметрів, а не лише першу знайдену помилку. Це підвищує практичну цінність програми, оскільки користувач одразу бачить повну картину невідповідності.

Під час тестування також потрібно перевірити роботу журналу результатів. Після кожної перевірки в таблиці історії має з'являтися новий запис із номером перевірки, датою, фактичними параметрами, статусом і причиною браку. За потреби журнал може бути експортований у CSV-файл. Це дозволяє зберігати результати контролю та надалі аналізувати їх у табличному редакторі [33].

Додатково можна протестувати режим роботи із зображенням або камерою. Для цього доцільно використовувати прості контрастні зображення, де деталь чітко відділена від фону. У такому випадку OpenCV-алгоритм може визначити зовнішній контур деталі та приблизні розміри. Якщо освітлення нерівномірне або фон складний, результат може бути неточним, тому цей режим слід розглядати як демонстраційний [26], [29].

Загалом результати тестування показують, що запропонований прототип правильно демонструє логіку вбудованого контролю геометричних параметрів. Система отримує параметри деталі, порівнює їх із допусками, формує статус, показує причини браку та зберігає результати перевірок. Водночас потрібно враховувати, що прототип не є промисловим вимірювальним засобом і потребує додаткового калібрування та перевірки точності для реального виробничого застосування.

3.8 Висновки до третього розділу

У третьому розділі було розглянуто програмну реалізацію та тестування інформаційної системи управління малим бізнесом з урахуванням динаміки замовлень та ресурсів. На початку розділу було обґрунтовано вибір програмних засобів реалізації. Для створення клієнтської частини обрано React, для серверної

частини - Node.js та Express.js, для зберігання даних - реляційну базу даних PostgreSQL. Такий набір технологій дозволяє реалізувати web-додаток із поділом на клієнтську частину, серверну логіку та рівень зберігання даних.

Було описано реалізацію серверної частини інформаційної системи. Серверна частина забезпечує оброблення запитів користувачів, авторизацію, роботу з клієнтами, замовленнями, ресурсами, платежами та звітами. Окрему увагу приділено логіці підтвердження, завершення та скасування замовлень, оскільки саме ці операції пов'язані з перевіркою доступності ресурсів, резервуванням, списанням і поверненням ресурсів у доступний залишок.

Також було розглянуто реалізацію бази даних. У системі передбачено таблиці користувачів, клієнтів, замовлень, позицій замовлень, ресурсів, оплат і руху ресурсів. Така структура дозволяє зберігати основні дані малого підприємства, підтримувати зв'язки між об'єктами та забезпечувати цілісність інформації. Особливе значення має таблиця руху ресурсів, оскільки вона фіксує операції резервування, списання та скасування резерву.

У межах розділу було описано клієнтську частину системи. Вона забезпечує користувачу доступ до основних функцій: авторизації, перегляду клієнтів, створення замовлень, контролю ресурсів, додавання оплат і формування звітів. Інтерфейс системи побудовано так, щоб користувач міг швидко виконувати типові операції малого бізнесу без зайвих дій.

Окремо було розглянуто реалізацію модулів управління замовленнями та ресурсами. Модуль замовлень дозволяє створювати, підтверджувати, завершувати та скасовувати замовлення. Модуль ресурсів забезпечує облік загальної, зарезервованої та доступної кількості ресурсів. Їхня взаємодія дає змогу враховувати фактичний стан ресурсів під час прийняття нового замовлення.

У підрозділі демонстрації роботи та тестування було перевірено основні сценарії використання системи. Зокрема, протестовано авторизацію користувача, додавання клієнта, створення замовлення, перевірку ресурсів,

					КВРКІ 022001.22.03.43 ПЗ	Арк. 65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підтвердження замовлення, завершення, скасування, додавання оплати та формування звітів. Результати тестування показали, що система коректно виконує основні функції та реагує на ситуації, коли ресурсів недостатньо для підтвердження замовлення.

					КВРКІ 022001.22.03.43 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

ВИСНОВКИ

У роботі було розглянуто тему вбудованої системи контролю геометричних параметрів деталей у виробничому процесі. Встановлено, що контроль розмірів, форми та розташування елементів деталі є важливою умовою забезпечення якості продукції, оскільки навіть невеликі відхилення можуть впливати на складання, надійність і подальшу експлуатацію виробу.

У першому розділі розглянуто основні поняття геометричного контролю, види контролю, допуски, похибки та метрологічне забезпечення. Було показано, що традиційні методи контролю залишаються важливими, але мають обмеження, пов'язані з людським фактором, тривалістю вимірювань і затримкою виявлення браку.

У другому розділі проаналізовано контактні та безконтактні методи вимірювання. Визначено, що для вбудованих систем найбільш перспективним є використання безконтактного контролю, зокрема машинного зору. Такий підхід дозволяє швидко отримувати інформацію про геометрію деталі без фізичного контакту з нею.

У третьому розділі виконано проектування системи контролю. Було обрано модель деталі у вигляді прямокутної пластини з круглим отвором, визначено контрольовані параметри, сформовано вимоги до системи, розроблено структурну схему, алгоритм перевірки та інформаційну модель даних.

У четвертому розділі описано демонстраційний програмний прототип. Для його реалізації запропоновано використати Python, OpenCV, NumPy, Tkinter, Pillow і CSV-експорт. Прототип передбачає роботу з тестовими даними, перевірку параметрів за допусками, формування статусу “придатна” або “непридатна”, відображення причин браку та збереження результатів у журналі.

Практична частина показує, що запропонований підхід дозволяє наочно продемонструвати принцип роботи вбудованої системи контролю геометричних параметрів. Розроблена концепція не є промисловою метрологічною системою,

					КВРКІ 022001.22.03.43 ПЗ	Арк. 67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

однак вона підходить як навчальна модель і може бути розширена в майбутньому шляхом підключення реальної камери, покращення алгоритмів обробки зображень та додавання бази даних.

Отже, мету роботи досягнуто. Було досліджено принципи побудови вбудованої системи контролю, проаналізовано методи вимірювання, розроблено структуру й алгоритм системи та запропоновано демонстраційний програмний прототип для контролю геометричних параметрів деталей у виробничому процесі.

					КВРКІ 022001.22.03.43 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. ISO 21204:2020. Geometrical product specifications (GPS) – Transition specification. Geneva : International Organization for Standardization, 2020. URL: <https://www.iso.org/standard/70084.html> (дата звернення: 27.05.2026).
2. ISO 22081:2021. Geometrical product specifications (GPS) – Geometrical tolerancing – General geometrical specifications and general size specifications. Geneva : International Organization for Standardization, 2021. URL: <https://www.iso.org/standard/72514.html> (дата звернення: 27.05.2026).
3. ISO 10360-13:2021. Geometrical product specifications (GPS) – Acceptance and reverification tests for coordinate measuring systems (CMS) – Part 13: Optical 3D CMS. Geneva : International Organization for Standardization, 2021. URL: <https://www.iso.org/standard/74957.html> (дата звернення: 27.05.2026).
4. ISO 23247-1:2021. Automation systems and integration – Digital twin framework for manufacturing – Part 1: Overview and general principles. Geneva : International Organization for Standardization, 2021. URL: <https://www.iso.org/standard/75066.html> (дата звернення: 27.05.2026).
5. ISO 23247-2:2021. Automation systems and integration – Digital twin framework for manufacturing – Part 2: Reference architecture. Geneva : International Organization for Standardization, 2021. URL: <https://www.iso.org/standard/78743.html> (дата звернення: 27.05.2026).
6. ISO 23247-3:2021. Automation systems and integration – Digital twin framework for manufacturing – Part 3: Digital representation of manufacturing elements. Geneva : International Organization for Standardization, 2021. URL: <https://www.iso.org/standard/78744.html> (дата звернення: 27.05.2026).
7. ISO 23247-4:2021. Automation systems and integration – Digital twin framework for manufacturing – Part 4: Information exchange. Geneva : International Organization for Standardization, 2021. URL: <https://www.iso.org/standard/78745.html> (дата звернення: 27.05.2026).

					КВРКІ 022001.22.03.43 ПЗ	Арк. 69
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8. ISO/IEC 25010:2023. Systems and software engineering – Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) – Product quality model. Geneva : International Organization for Standardization, 2023. URL: <https://www.iso.org/standard/78176.html> (дата звернення: 27.05.2026).

9. JCGM GUM-1:2023. Guide to the expression of uncertainty in measurement – Part 1: Introduction. Joint Committee for Guides in Metrology, 2023. DOI: <https://doi.org/10.59161/JCGMGUM-1-2023> (дата звернення: 27.05.2026).

10. Szeliski R. Computer Vision: Algorithms and Applications. 2nd ed. Cham : Springer, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-34372-9> (дата звернення: 27.05.2026).

11. Catalucci S., Thompson A., Piano S., Branson D. T., Leach R. Optical metrology for digital manufacturing: a review. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-022-09084-5> (дата звернення: 27.05.2026).

12. Barbosa C. R. H., et al. Smart Manufacturing and Digitalization of Metrology. Sensors. 2022. Vol. 22, No. 16. Article 6114. DOI: <https://doi.org/10.3390/s22166114> (дата звернення: 27.05.2026).

13. Mourtzis D., Angelopoulos J., Panopoulos N. A Literature Review of the Challenges and Opportunities of the Transition from Industry 4.0 to Society 5.0. Energies. 2022. Vol. 15, No. 17. Article 6276. DOI: <https://doi.org/10.3390/en15176276> (дата звернення: 27.05.2026).

14. Javaid M., Haleem A., Singh R. P., Suman R. Substantial capabilities of robotics in enhancing Industry 4.0 implementation. Cognitive Robotics. 2021. Vol. 1. P. 58–75. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cogr.2021.06.001> (дата звернення: 27.05.2026).

15. Silva C. A. S., Paladini E. P. Smart Machine Vision System to Improve Decision-Making on the Assembly Line. Machines. 2025. Vol. 13, No. 2. Article 98. DOI: <https://doi.org/10.3390/machines13020098> (дата звернення: 27.05.2026).

					КВРКІ 022001.22.03.43 ПЗ	Арк. 70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

16. Park M., Kim S., Lee J. Design and Implementation of Machine Vision-Based Quality Inspection System in Mask Manufacturing Process. Sustainability. 2022. Vol. 14, No. 10. Article 6009. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14106009> (дата звернення: 27.05.2026).

17. Zeng L., et al. Automated Visual Inspection for Precise Defect Detection and Classification Using Machine Vision. Sensors. 2024. Vol. 24, No. 23. Article 7824. DOI: <https://doi.org/10.3390/s24237824> (дата звернення: 27.05.2026).

18. Li S., Zhang B., Zheng J., Wang D., Liu Z. Development of Automated 3D LiDAR System for Dimensional Quality Inspection of Prefabricated Concrete Elements. Sensors. 2024. Vol. 24, No. 23. Article 7486. DOI: <https://doi.org/10.3390/s24237486> (дата звернення: 27.05.2026).

19. Ren H., Fu Z., Zhang Z., Ji B. Geometric quality inspection of precast concrete components assisted by point cloud data. Journal of Building Engineering. 2025. Vol. 108. Article 112927. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2025.112927> (дата звернення: 27.05.2026).

20. Ma Z., Liu Y., Li J. Review on automated quality inspection of precast concrete components. Automation in Construction. 2023. Vol. 150. Article 104828. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104828> (дата звернення: 27.05.2026).

21. Yuan X., Liu W., Ma Y., Wang Y., Liu B. An integrated method for railway fastener defect detection and geometric parameter measurement using 3D line laser sensor. PLOS ONE. 2026. Vol. 21, No. 5. Article e0341210. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0341210> (дата звернення: 27.05.2026).

22. Qiu X., et al. Automated quality inspection system based on machine vision. Proceedings of SPIE. 2025. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.3068802> (дата звернення: 27.05.2026).

23. Yang Z., Tang D., Li D., Chen T., Liu J., Qi H., Wu Z., Zhou J. Automatic dimensional quality inspection system for regular precast concrete elements based on 3D structure lighting scan technology. Expert Systems with Applications. 2026. Vol.

26. Article 129149. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2025.129149> (дата звернення: 27.05.2026).

24. Samadi H., Ahsan M. M., Raman S. Hybrid Machine Learning Framework for Predicting Geometric Deviations from 3D Surface Metrology. arXiv. 2025. URL: <https://arxiv.org/abs/2508.06845> (дата звернення: 27.05.2026).

25. Harris C. R., Millman K. J., van der Walt S. J., et al. Array programming with NumPy. Nature. 2020. Vol. 585. P. 357–362. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2649-2> (дата звернення: 27.05.2026).

26. Sommerville I. Engineering Software Products: An Introduction to Modern Software Engineering. Boston : Pearson, 2020. 342 p. ISBN 978-0-13-521064-2. URL: <https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/Sommerville-Engineering-Software-Products-An-Introduction-to-Modern-Software-Engineering/P200000003243> (дата звернення: 27.05.2026).

27. OpenCV. OpenCV Documentation 4.x. URL: <https://docs.opencv.org/4.x/> (дата звернення: 27.05.2026).

28. OpenCV. Image Processing in OpenCV. OpenCV Documentation 4.x. URL: https://docs.opencv.org/4.x/d2/d96/tutorial_py_table_of_contents_imgproc.html (дата звернення: 27.05.2026).

29. OpenCV. Structural Analysis and Shape Descriptors. OpenCV Documentation 4.x. URL: https://docs.opencv.org/4.x/d3/dc0/group_imgproc_shape.html (дата звернення: 27.05.2026).

30. OpenCV. Camera Calibration and 3D Reconstruction. OpenCV Documentation 4.x. URL: https://docs.opencv.org/4.x/d9/db7/tutorial_py_table_of_contents_calib3d.html (дата звернення: 27.05.2026).

31. Python Software Foundation. Python 3.12 Documentation. URL: <https://docs.python.org/3.12/> (дата звернення: 27.05.2026).

					КВРКІ 022001.22.03.43 ПЗ	Арк. 72
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

32. Python Software Foundation. dataclasses – Data Classes. Python 3.12 Documentation. URL: <https://docs.python.org/3.12/library/dataclasses.html> (дата звернення: 27.05.2026).

33. Python Software Foundation. csv – CSV File Reading and Writing. Python 3.12 Documentation. URL: <https://docs.python.org/3.12/library/csv.html> (дата звернення: 27.05.2026).

34. Python Software Foundation. tkinter – Python interface to Tcl/Tk. Python 3.12 Documentation. URL: <https://docs.python.org/3.12/library/tkinter.html> (дата звернення: 27.05.2026).

35. Python Software Foundation. unittest – Unit testing framework. Python 3.12 Documentation. URL: <https://docs.python.org/3.12/library/unittest.html> (дата звернення: 27.05.2026).

36. Pillow Project. Pillow Documentation. URL: <https://pillow.readthedocs.io/en/stable/> (дата звернення: 27.05.2026).

37. NVIDIA. Jetson Software Documentation. URL: <https://docs.nvidia.com/jetson/index.html> (дата звернення: 27.05.2026).

38. Basler AG. Your Machine Vision Camera Selection Guide. URL: <https://www.baslerweb.com/en/learning/camera-selection/> (дата звернення: 27.05.2026).

39. Cognex Corporation. Machine Vision Basics: Definitions, Uses, and Benefits. URL: <https://www.cognex.com/en/tools-and-resources/resource-center/machine-vision> (дата звернення: 27.05.2026).

40. Cognex Corporation. Lighting for Machine Vision Applications. URL: <https://www.cognex.com/en/tools-and-resources/resource-center/machine-vision/the-importance-of-lighting> (дата звернення: 27.05.2026).

41. Ntoulmperis M., Catti P., Discepolo S., van de Kamp W., Castellini P., Nikolakis N., Alexopoulos K. 3D point cloud analysis for surface quality inspection: A steel parts use case. Procedia CIRP. 2024. Vol. 122. P. 509–514. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2024.01.074> (дата звернення: 28.05.2026).

					КВРКІ 022001.22.03.43 ПЗ	Арк. 73
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

42. Rožanec J. M., Bizjak L., Trajkova E., Zajec P., Keizer J., Fortuna B., Mladenić D. Active learning and novel model calibration measurements for automated visual inspection in manufacturing. *Journal of Intelligent Manufacturing*. 2024. Vol. 35. P. 1963–1984. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10845-023-02098-0> (дата звернення: 28.05.2026).

43. Wu K., Prieto S. A., Mengiste E., García de Soto B. Automated Quality Inspection of Formwork Systems Using 3D Point Cloud Data. *Buildings*. 2024. Vol. 14, No. 4. Article 1177. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings14041177> (дата звернення: 28.05.2026).

44. Su C., Tang X., Jiang Q., Han Y., Wang T., Jiang D. Digital twin system for manufacturing processes based on a multi-layer knowledge graph model. *Scientific Reports*. 2025. Vol. 15. Article 12835. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-85053-0> (дата звернення: 28.05.2026).

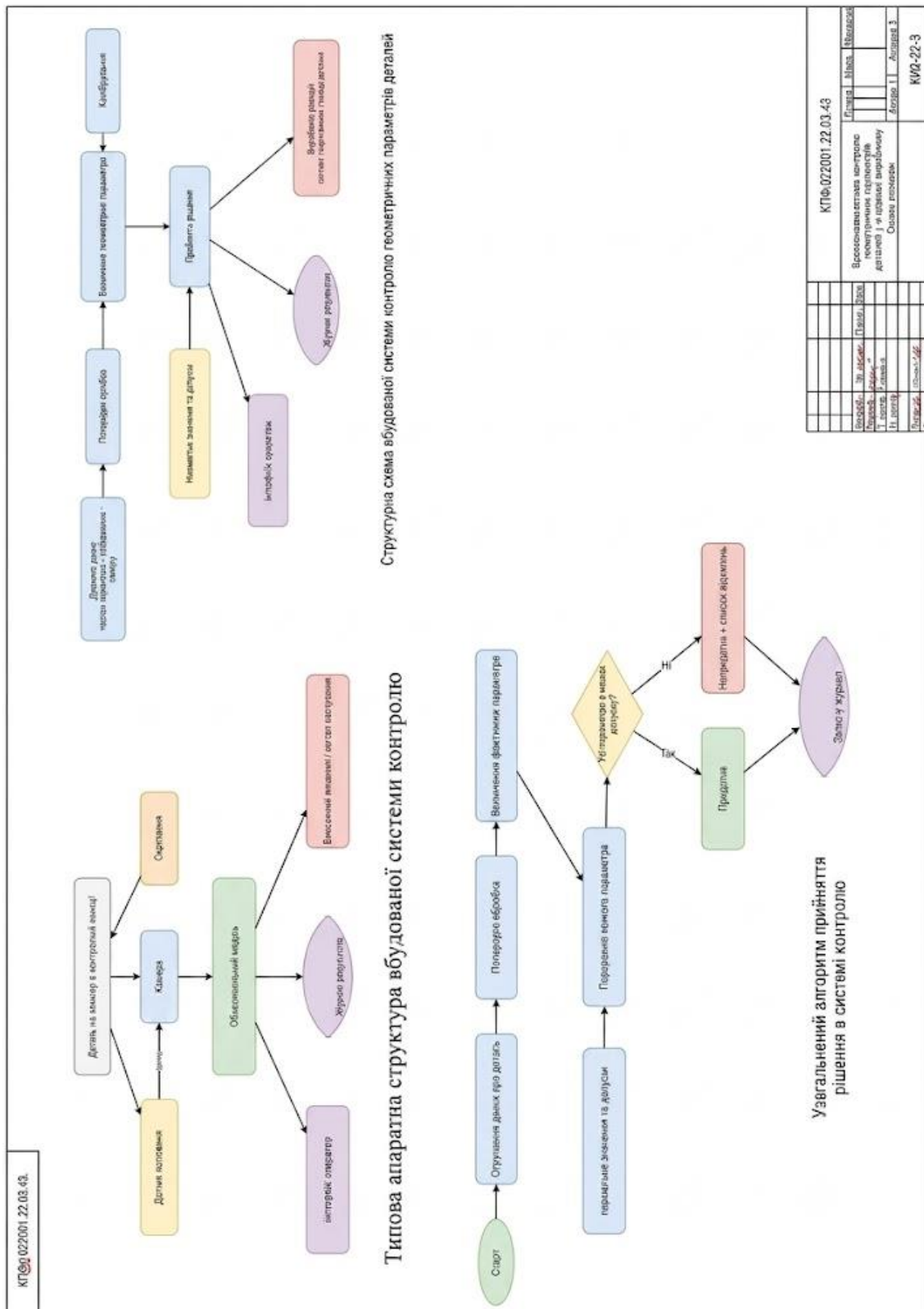
45. Neumann K. A., Tausch R., Kutlu H., et al. Point cloud quality metrics for incremental image-based 3D reconstruction. *Multimedia Tools and Applications*. 2025. Vol. 84. P. 39123–39141. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11042-025-20596-6> (дата звернення: 28.05.2026).

					КВРКІ 022001.22.03.43 ПЗ	Арк. 74
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А

(обов'язковий)

«Основні алгоритми»

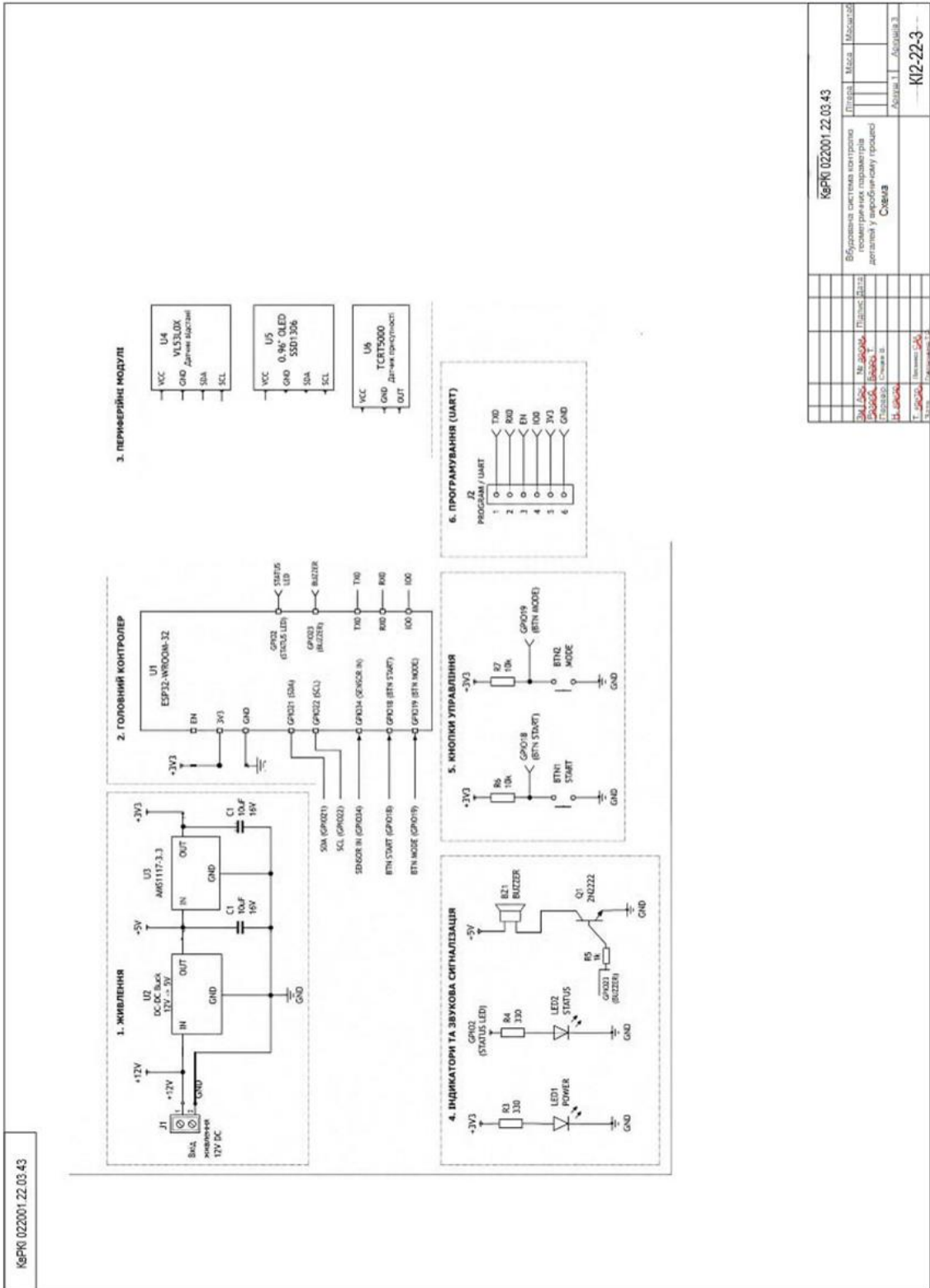


КПФ.022001.22.01.43		Група	Клас	Числова
Модель	№ документа	Підпис	Дата	
Титул	Ім'я	Підпис	Дата	
Листів	Значення	Підпис	Дата	
Всього	Значення	Підпис	Дата	
Висновки: Висновки контролю геометричних параметрів деталей у процесі виробничого процесу				Листів 3
Додаток: Додаток до протоколу				Листів 3
Код документа				КВФ-22-3

ДОДАТОК Б

(обов'язковий)

Копія креслення «Схема вбудованої системи»



Протокол аналізу звіту подібності експертом

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Тарас БАДОН

Співавтор:

Назва: Вбудована система контролю геометричних параметрів деталей у виробничому процесі з використанням лазерних вимірювальних сенсорів

Експерт: Василь СТЕЦІОК

Підрозділ: Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

Коефіцієнт подібності 1:2.62%

Коефіцієнт подібності 2:0.42%

Мікропробіли: 3

Заміна букв: 0

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2026-06-01 20:28:09.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедур. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Тарас Бадон Юрійович

Тема: «Вбудована система контролю геометричних параметрів деталей у виробничому процесі з використанням лазерних вимірювальних сенсорів»

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 3 Кількість сторінок записки 65

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою кваліфікаційної роботи є розроблення вбудованої системи контролю геометричних параметрів деталей у виробничому процесі з використанням лазерних вимірювальних сенсорів.

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає виданому завданню та поставленій меті.

3. Характеристика виконання кожного розділу:

У першому розділі проведено аналіз предметної області контролю геометричних параметрів деталей, розглянуто види контролю, допуски, похибки та проблеми традиційних методів контролю.

У другому розділі досліджено методи та засоби побудови вбудованих систем контролю, обґрунтовано вибір апаратних компонентів, лазерних сенсорів, програмних засобів та алгоритмів оброблення даних.

У третьому розділі виконано проектування системи контролю, розроблено структурну схему, алгоритм роботи та інформаційну модель даних. Реалізовано демонстраційний програмний прототип на Python із використанням OpenCV, Tkinter та NumPy, проведено тестування системи та аналіз отриманих результатів.

4. Позитивні сторони роботи: висока практична цінність роботи.

4. Позитивні сторони роботи:

Актуальність теми, логічна структура роботи, належний рівень теоретичного опрацювання матеріалу, практична спрямованість розробленого програмного

прототипу та використання сучасних засобів програмування.

5. Негативні Недостатньо висвітлено питання практичного впровадження системи в умовах реального виробництва та оцінювання впливу зовнішніх факторів на точність вимірювань.

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації.

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.


8. Інші зауваження: _____

9. Оцінка дипломної роботи: задовільно

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) _____

Омичко С.Т., доцент кафедр. ІІІЗ, УМУ

“ ___ ” _____ 2026 р.

 (підпис)

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ

КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Назва кваліфікаційної роботи Вбудована система контролю геометричних параметрів деталей виробничому процесі з використанням лазерних вимірювальних сенсорів

Автор Тарас БАДОН

Освітня програма Комп'ютерна інженерія та програмування

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія

Науковий керівник: старший викладач Василь СТЕЦЮК

На основі аналізу кваліфікаційної роботи на дотримання вимог академічної доброчесності (у т.ч. відсутності ознак академічного плагіату) з урахуванням результатів перевірки роботи спеціалізованим програмним засобом(ами) комісія зробила такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Ознаки академічного плагіату	
1.1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є академічним плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних, якщо потрібно). Робота приймається до захисту.	відповідає
1.2	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданій поставленою метою роботи (далі – зазначаються детальні та аргументовані підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована.	
1.3	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданій поставленою метою роботи. Робота може бути допущена до захисту після того як буде відкоригована та доопрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
1.4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття текстових запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
2	Інші види порушень академічної доброчесності	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

- 1) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
- 2) окремі виявлені збіги є загальноживаними фразами або виразами, про що свідчить посилання системи на збіг з джерелами на один фрагмент речення;
- 3) всі зафіксовані системою ознаки модифікації тексту відносяться до комбінування латинських символів зі україномовними скороченнями індексів в формулах, що не є модифікацією тексту.
- 4) значна частина знайденого плагіату відноситься до списку використаних джерел

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ ідентичності/схожості StrikePlagiarism, складає 3,66%; та системою Anti-Plagiarism складає 0.44%, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

01.06.2026

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи


Підпис


Підпис


Підпис

Ольга ПАВЛОВА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Андрій НІЧЕПОРУК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Василь СТЕЦЮК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Зав. кафедри КПС
д-р. філософії Ользі ПАВЛОВІЙ
Тарас БАДОН

ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 4 курсу, групи КІ2-22-3

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті, згідно з яким виявлення академічного плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту і застосування заходів академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання спеціалізованих програмних засобів (СПЗ) StrikePlagiarism та Anti-Plagiarism для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність академічного плагіату оповіщений (а). Надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних СПЗ і використання роботи для виявлення академічного плагіату в інших роботах, які перевіряються СПЗ.

Також надаю свою згоду на обробку й збереження університетом моєї роботи в Інституційному репозитарії Хмельницького національного університету.

Робота надається для перевірки в електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

1 травня 2026 року



Anti-Plagiarism (<http://ap.km.ua>) v-15.701

Максимальне співпадіння з одним документом 1.0%

Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA. Помилки в документах: 5%

ID: 272984 Назва: БКР Вбудована система контролю геометричних параметрів деталей у виробничому процесі з використанням лазерних вимірювальних сенсорів Додано в БД: 2026-06-01 Автора: Тарас БАДОН Керівники: Василь СТЕЦЮК Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	114754	1004	1874 (2%)	22 (2%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми