

**В.М. Франчук, Л.М. Самчук**

*Луцький національний технічний університет*

## **УПРАВЛІННЯ ТА КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ НА ВИРОБНИЦТВІ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ КОРПУС**

*В роботі представлено аналіз наявних систем управління та контролю якості на виробництві при виготовленні деталі типу корпус. За зразок для аналізу взято корпус типу UCF 208, розглянуто його технологічний процес виготовлення, з можливими помилками на кожному етапі. Встановлено найкращі методи які можуть допомогти у вирішенні таких проблем, а саме методи SPC, LIMS, ZQS та методу використання комп'ютерного бачення та системи перевірки на основі штучного інтелекту. Запропоновані підходи дозволяють покращити технологічний процес зменшення дефектів на виробництві деталі типу корпус.*

*Ключові слова: якість, метод, технологічний процес, корпус.*

**V.M. Franchuk, L.M. Samchuk**

## **MANAGEMENT AND QUALITY CONTROL IN PRODUCTION IN THE MANUFACTURE OF HOUSING TYPE PARTS**

*The paper presents an analysis of existing quality management and control systems in the production of housing-type parts. The UCF 208 type housing was taken as a sample for analysis, and its manufacturing process was examined, including potential errors at each stage. The most effective techniques that can assist solve these issues were identified, specifically SPC, LIMS, ZQS methods, as well as the use of computer vision and AI-based inspection systems. The proposed approaches improve the manufacturing process by preventing defects in the production of housing-type parts.*

*Keywords: quality, method, technological process, housing.*

**Постановка проблем.** У сучасному машинобудуванні деталі типу корпус відіграють ключову роль у багатьох технічних системах, забезпечуючи захист і підтримку механічних компонентів. Корпуси повинні мати високу точність виготовлення, міцність і стійкість до зношування, що вимагає від виробничих процесів дотримання суворих стандартів якості. Водночас збільшення обсягів виробництва, автоматизація технологічних процесів і вимоги до зниження виробничих витрат ставлять перед підприємствами нові виклики щодо управління та контролю якості. Недотримання норм і стандартів якості на будь-якому етапі виробничого процесу може спричинити серйозні фінансові збитки, зниження продуктивності та погіршення репутації виробника. Таким чином, актуальність проблеми забезпечення високого рівня якості при виготовленні корпусних деталей обумовлюється потребою підвищення надійності і тривалості експлуатації готової продукції.

**Метою роботи** є аналіз наявних систем управління та контролю якості на виробництві при виготовленні деталей типу корпус, завдяки яким буде забезпечено дотримання заданих технічних характеристик, оптимізацію виробничих процесів та зниження кількості дефектів.

**Огляд літературних джерел.** У роботі [1] було проаналізовано технологічний процес виготовлення деталі «Корпус EY8.172.700». В результаті аналізу конструкції деталі та її технологічності виявлено недоліки в базовому технологічному процесі: використання застарілого обладнання та малоєфективних методів обробки. Також запропоновано вдосконалений варіант технологічного процесу механічного оброблення деталі для покращення його техніко-економічних показників, а саме використання верстату з ЧПК, завдяки якому ефективність і собівартість виготовлення деталі значно покращується. Також було розроблено контрольно-вимірювальний пристрій для вимірювання поверхневого та радіального биття критичних оброблених поверхонь.

В роботі [2], досліджено вплив факторів та параметрів виробничого процесу на якість виготовленої продукції. Розглянутий метод для визначення індивідуальних факторів, що впливають на якість виробу, з врахуванням змінних параметрів виробничого процесу, які відповідають за геометричні відхилення деталей. У даній роботі запропоновано новий підхід, який дозволяє визначити вплив параметрів виробничого процесу на характеристики якості для систем, що знаходяться в русі. Новий підхід також висвітлено на прикладі рентгенівської шторки.

У дослідженні [3] розглянуто питання якості продукції яка стала одним з найважливіших факторів, на які слід звертати увагу у виробничому середовищі через зростаючу конкуренцію на світовому ринку. У цій роботі було визначено і порівняно дві різні групи факторів які впливають на якість продукції на виробництві: "Жорсткі" та "м'які". Завдяки проведеному аналізу було доведено

що "м'які" фактори мають сильніший вплив на якість продукції, а отже, організації-виробники повинні приділяти більше уваги цим факторам, щоб підвищити якість продукції.

В роботі [4] досліджено ключові фактори, що мають вплив на якість процесу, а також прогнозування та оптимізацію характеристик якості процесу з метою точного прогнозування точності обробки на гнучких виробничих лініях та досягнення ефективної якості. В якості об'єкта дослідження використано гнучку виробничу лінію, що обробляє шпindelну коробку. Після перевірки точності прогнозування на 24 наборах даних про якість обробки отворів для шпінделя отримано модель прогнозування з відносною похибкою менш ніж 0,01, що надає зразок для аналізу потенційних проблем якості процесу на виробничій лінії.

У статті [5] розглянуто технологічний процес виготовлення деталі «Корпус», та запропоновано шляхи покращення процесу виготовлення. Завдяки аналізу було виявлено, що в наявній процедурі виготовлення матеріал з якого виробляється заготовка майбутньої деталі не піддається литтю, що значно обтяжує процес і робить його більш дорогавартісним. Також після додаткових дослідів виявлено проблеми із ріжучими інструментами, через які ефективність усього процесу падала в двічі, тому було запропоновано варіант більш ефективного та стійкого інструменту. Завдяки цим покращенням, ефективність та рентабельність усього виробництва може значно підвищитись, без значних капіталовкладень.

У статті [6] досліджено наявний стан факторів, що мають вплив на систему управління якістю на виробництві. Розкрито сутність факторів, які впливають на удосконалення системи контролю якості на підприємстві. Описано види факторів: зовнішні та внутрішні. Зазначено, що фактори формують макросередовище підприємства, проте вони не піддаються контролю з боку підприємства та можуть впливати на його діяльність. Розглянуто фактори мікросередовища, які впливають на систему управління якістю на підприємстві.

У статті [7] йдеться про важливість контролю якості в виробництві, щоб уникнути дефектів продукції та ризиків для споживачів. Наведено приклад з відкликанням подушок безпеки Takata, що стало найбільшим в історії автомобільним відкликанням. Описано інструменти для контролю якості, такі як Статистичний контроль процесів (SPC), методологія SixSigma та інші Lean-інструменти (TPM, Kaizen, 5S). Наголошується на перевагах контролю якості, таких як підвищення лояльності клієнтів, зниження ризиків і збільшення прибутків.

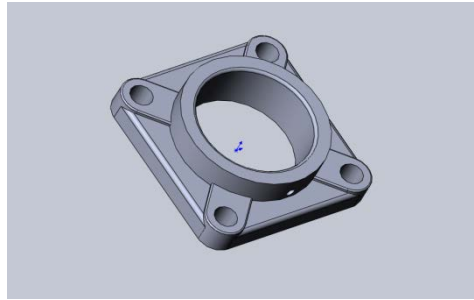
В роботі [8] розглядаються аспекти контролю якості у виробництві металевих деталей. Описуються найкращі практики інспекції вхідних матеріалів, контролю якості в процесі виробництва, підготовки поверхонь, остаточної інспекції та тестування. Важлива роль приділяється системам управління якістю (QMS), таким як ISO 9001, та принципам Total Quality Management (TQM). Також наголошується на важливості простежуваності та документації для ефективного контролю якості.

У статті [9] розглядається важливість контролю якості у виробництві, його методи, інструменти та виклики. Контроль якості (QC) гарантує відповідність продукції стандартам, що забезпечує задоволеність клієнтів, відповідність регуляціям, зниження витрат та покращення процесів. Описані методи, такі як статистичний контроль процесів, візуальний огляд, функціональні тести. Також висвітлено сучасні інструменти для контролю якості, як-от системи управління якістю (QMS) та II-інспекція. Окремо згадано різницю між забезпеченням якості (QA) та контролем якості (QC).

У статті [10] розглядається контроль якості під час виробництва зубчастих машинних елементів методом металевого формування. Описано проблеми, що виникають через зміщення заготовок у процесі виробництва, що призводить до втрат якості. Традиційно контроль якості базується на методах SPC, але стаття пропонує нові підходи до моніторингу якості під час самого процесу виробництва. Основна увага приділена спостереженню за геометричними характеристиками компонентів і використанню технологій для вимірювання та прогнозування якості в реальному часі.

У роботі [11] досліджується ефективний спосіб підвищення якості та продуктивності виробничої лінії в промисловості. Метою є виявлення дефектів компанії та розробка рішень для покращення роботи лінії. Основний акцент зроблено на використанні 7 інструментів контролю якості для аналізу даних виробничої лінії, виявлення найбільш поширених дефектів та їх причин. Пропонуються різні методи вирішення проблем, з яких обирається найкращий для рекомендації компанії, з подальшим порівнянням результатів до і після впровадження.

**Викладення основного матеріалу.** За зразок для аналізу взято корпус типу UCF 208. (рис. 1). Корпус UCF 208 обрано для дослідження через його універсальність, високу надійність, доступність на ринку та зручність у монтажі. Він є стандартом у промисловості завдяки здатності витримувати високі навантаження, легкої заміни, а також він підходить для різних умов експлуатації. UCF 208 — це стандартний фланцевий підшипниковий вузол, який складається з корпусу з чотирма отворами для кріплення і самовстановлюваного кулькового підшипника. UCF 208 широко використовується в різних сферах промисловості, включаючи сільське господарство, транспорт, будівництво і механічне обладнання. Цей підшипниковий вузол підходить для умов, де є помірні радіальні та осеві навантаження. Його головна перевага — простота монтажу і можливість самовирівнювання, що робить його універсальним рішенням для різних механічних систем.



**Рис. 1. Корпус фланцевого підшипникового вузла UCF 208**

Процес виготовлення корпусу фланцевого підшипникового вузла UCF 208 включає кілька важливих етапів, кожен з яких має свої специфічні операції, технологічні вимоги та контрольні заходи. Основним матеріалом для виготовлення корпусу є сірий чавун, який забезпечує необхідні характеристики міцності, стійкості до зношування та поглинання вібрацій.

Процес виготовлення займає 10 етапів:

1. Підготовка матеріалів
2. Проектування та створення литтєвої форми
3. Лиття чавуну
4. Охолодження та вибивання
5. Очищення відливки
6. Механічна обробка
7. Термічна обробка (якщо необхідно)
8. Фарбування та захист від корозії
9. Контроль якості
10. Остаточна обробка та упаковка.

Під час кожного з цих етапів виробничого процесу можливе виникнення різноманітних помилок, які можуть суттєво вплинути на якість кінцевого продукту, зокрема помилки можуть початись вже з першого етапу під час підготовки матеріалів, а саме головним фактором неякісної деталі є невідповідність матеріалів специфікаціям, тобто використання неякісної або некоректної сировини, що суттєво може вплинути на міцність та довговічність деталі.

Прикладом помилки під час проектування деталі корпусу UCF 208 може бути неправильний розрахунок розмірів або допусків отворів для підшипника. Наприклад, якщо в кресленні закладено занадто малий діаметр центрального отвору, куди вставляється підшипник, то підшипник або не вставиться взагалі, або його встановлення потребуватиме додаткових зусиль, що може призвести до деформації або пошкодження корпусу та самого підшипника. З іншого боку, якщо отвір зроблений занадто великим, це призведе до недостатньої фіксації підшипника, що спричинить його зміщення під час роботи та зниження стійкості всієї конструкції. Така проектна помилка виведе з ладу всю систему підшипникового вузла і може вимагати повного перероблення креслень і партії виробів.

Під час механічної обробки деталі корпусу UCF 208 можливою помилкою може бути неточність у свердлінні отворів для кріплення. Наприклад, якщо верстат неправильно налаштований або свердло змістилося під час роботи, отвори можуть бути зроблені з відхиленням від потрібного діаметра або неправильно розташовані відносно центру фланця. Це призведе до того, що підшипниковий вузол не зможе бути надійно закріплений на місці або з'єднання деталей буде неточним. В результаті така деталь не відповідатиме стандартам, її буде складно монтувати, і це

може вплинути на надійність усієї конструкції або спричинити передчасний знос підшипників під час експлуатації.

На етапі контролю якості перевіряють безпосередню відповідність деталі загально-заявленим стандартам, найбільшою помилкою на цьому етапі є пропуск дефектів під час перевірки, яка може призвести до збоїв у роботі обладнання яке використовує даний корпус зокрема через не якісну продукцію. Виникнути така проблема може через використання недостатньо кваліфікованого персоналу та застарілої вимірювальної техніки, яка може давати хибні показники.

Для забезпечення високої якості корпусів, зокрема таких як UCF 208, необхідно впроваджувати ефективні методи контролю на всіх етапах виробництва. Основними методами, що сприяють запобіганню потенційним проблемам із якістю та забезпеченню підвищеної надійності продукції, є комплексна система контролю на всіх етапах виробництва, застосування сучасних технологій і інструментів для перевірки якості, а також дотримання встановлених стандартів і методик удосконалення виробничих процесів. Такі підходи включають ретельний вхідний контроль якості матеріалів, статистичний контроль процесів для раннього виявлення відхилень, неруйнуючі методи тестування для виявлення дефектів без пошкодження виробів, контроль геометричних параметрів і точності, випробування міцності та інших характеристик матеріалів, тестування готової продукції в умовах, що імітують реальну експлуатацію, а також сертифікацію відповідно до міжнародних стандартів якості. Обрано було методи: ZQS ("нуль дефектів"), LIMS (Система управління лабораторною інформацією), SPC (Статистичний контроль процесу), комп'ютерного бачення та ШІ (використання штучного інтелекту), як найефективніші методи контролю якості, оскільки вони забезпечують повний цикл — від запобігання дефектам до автоматичного моніторингу та аналізу даних. ZQS допомагає уникати помилок на ранніх етапах, LIMS оптимізує зберігання інформації, SPC стабілізує процес через статистичний контроль, а комп'ютерне бачення дозволяє виявляти візуальні дефекти з високою точністю. ШІ використовується для прогнозування можливих проблем і автоматизації процесів, що разом мінімізує ризик браку та підвищує ефективність виробництва корпусів. Ці методи обрано не випадково, оскільки кожен із них максимально відповідає потребам контролю якості на виробництві корпусів.

1. ZQS - Підхід нуль дефектів. Концепція ZQS (Zero Quality Surveillance) або "нуль дефектів"— це стратегія, спрямована на досягнення ідеальної якості продукції шляхом повного усунення дефектів у виробничому процесі. Ця концепція впроваджується через серію кроків, які дозволяють попереджати помилки, знижувати кількість дефектів до нуля і вдосконалювати процеси на всіх етапах виробництва.

Мета системи нуль дефектів — не просто виявлення дефектів на виході, а їх попередження на кожному етапі процесу. Це включає аналіз можливих ризиків і потенційних проблем ще на етапі проектування та планування виробництва.

2. Метод використання комп'ютерного бачення та системи перевірки на основі штучного інтелекту. Така технологія дозволяє автоматизувати перевірку продукції та виявляти дефекти на різних етапах виробництва без втручання людини, зменшуючи ризики пропуску дефектів та підвищуючи загальну ефективність виробництва. Ці системи не статичні; вони вчать та вдосконалюються з часом. Аналізуючи більше даних, моделі штучного інтелекту стають кращими у виявленні та класифікації дефектів, зменшують помилкові спрацьовування та підвищують загальну точність перевірки.

Перевагами такого методу є висока точність і швидкість, яка не залежить від людини, а отже й кількість помилок через людський фактор меншає.

Проблеми та рішення: початкове налаштування та навчання моделям штучного інтелекту вимагають значних даних і досвіду. Співпраця з експертами зі штучного інтелекту та комп'ютерного зору для адаптації систем до конкретних умов виробництва може подолати ці перешкоди.

3. Метод LIMS. Система управління лабораторною інформацією. LIMS (Laboratory Information Management System) – це автоматизована система управління даними, що використовується в лабораторіях для збору, обробки, зберігання та аналізу інформації, пов'язаної з процесами досліджень і тестування. Система LIMS може суттєво покращити управління лабораторними даними, підвищити точність вимірювань і спростити робочі процеси. Переваги використання LIMS:

- Підвищення ефективності
- Зменшення помилок
- Краща доступність даних
- Відповідність стандартам

- Адаптивність та масштабованість

4. Метод SPC. Статистичний контроль процесу. SPC (Statistical Process Control) (рис. 2) — це метод управління якістю, який використовує статистичні методи для спостереження та контролю виробничих процесів. Основна мета SPC полягає у виявленні і усуненні варіацій у процесах, що можуть призвести до дефектів у продукції. Це допомагає забезпечити стабільно-високу якість продукції, зменшити витрати та покращити ефективність виробництва.

Основними компонентами SPC є:

- Контрольні карти
- Контроль стабільності процесу
- Аналіз причинно-наслідкових факторів (Root cause analysis)
- Визначення меж контролюваного процесу

Переваги SPC:

Виявлення проблем на ранніх стадіях:

- SPC дозволяє швидко виявити відхилення в процесах, що допомагає уникнути значних витрат на виправлення дефектів у кінцевій продукції.

Зниження витрат:

- Оптимізація процесів і зменшення кількості дефектів знижують витрати на виправлення, зберігання та повернення дефектної продукції.

Покращення якості:

- Завдяки систематичному контролю і корекції варіацій, якість продукції підвищується, що позитивно впливає на задоволеність клієнтів.

Систематизація управління:

- Впровадження SPC сприяє створенню системи управління якістю, що включає залучення всіх працівників до процесу покращення якості.



Рис. 2. Діаграма «SPC»

На діаграмі зображено залежність температури (в градусах Цельсія) від часу (в хвиликах) для кількох партій виробів, позначених номерами Batch 1657–1667. Кожна лінія на графіку відповідає конкретній партії та показує зміну температури протягом виробничого процесу.

- По осі Y відображено температуру в градусах Цельсія (від 5 до 17°C).
- По осі X відкладений час у хвиликах з початку партії (від 0 до 80 хвилин).
- Різнокольорові лінії представляють різні партії виробів.

Видно, що температура протягом виробничого циклу для кожної партії коливається за хвилеподібною траєкторією. Деякі партії, наприклад Batch 1657 (червона лінія), мають інший характер коливань у порівнянні з іншими партіями, такими як Batch 1667 (жовта лінія), яка має чітко виражену амплітуду температурних змін. Цей графік допомагає оцінити стабільність температурного процесу для різних партій і може вказувати на відхилення або аномалії в температурному режимі під час виробництва.

Характеристики, показані на графіку були обрані не випадково – завдяки такому графіку можна повністю контролювати температурний рівень у технологічному процесі, та порівнювати партії між собою, що в свою чергу дозволяє відстежувати контрольованість усього процесу.

Використовуючи ці методи управління якістю, ми маємо можливість вирішити помилки, які можуть завадити отриманню якісного кінцевого продукту. Задля вирішення проблем

невідповідності матеріалів специфікаціям, які виникають у виробничому процесі, ефективним інструментом є метод LIMS (Laboratory Information Management System).

За допомогою LIMS лабораторії можуть автоматизувати процес збору даних про матеріали, зокрема фізичні, хімічні та механічні властивості. Це дозволяє забезпечити точне тестування матеріалів, таких як метали, сплави або полімери, що використовуються у виробництві корпусу. LIMS дозволяє задати чіткі межі для ключових параметрів, таких як твердість, міцність на розрив, теплопровідність та інші технічні характеристики матеріалів, що використовуються у виробництві корпусу.

Якщо під час перевірки виявляються відхилення від встановлених стандартів, система автоматично сигналізує про невідповідність. Це допомагає швидко виявляти і вирішувати проблеми до початку повномасштабного виробництва, запобігаючи використанню неякісних матеріалів і знижуючи ризик браку або дефектів у готових продуктах.

Проблему неправильного розрахунку розмірів або допусків отворів для підшипників, зокрема в таких деталях, як корпуси UCF 208, можна значно знизити або навіть викоринити, використовуючи метод SPC (Statistical Process Control). Цей метод дозволяє розпізнавати і контролювати варіації у виробничих процесах, що впливають на точність і відповідність критичних параметрів продукції, таких як розміри та допуски отворів для підшипників.

Використовуючи метод SPC, кожен етап виробничого процесу контролюється в реальному часі. Контрольні карти дозволяють моніторити змінні параметри, такі як діаметри отворів, і негайно сигналізувати про будь-які відхилення від нормативів. Завдяки цьому можна своєчасно вносити коригування у процес виробництва і забезпечити дотримання заданих розмірів та допусків.

Для вирішення проблем неточностей у свердлінні отворів для кріплення, одним із найсучасніших та ефективних підходів є використання методу комп'ютерного бачення та системи перевірки на основі штучного інтелекту (ШІ). Цей підхід дозволяє виявляти відхилення у розмірах, положенні та якості обробки отворів, забезпечуючи високу точність і автоматизовану перевірку на етапі виробництва.

Комп'ютерне бачення дозволяє використовувати високоточні камери для сканування кожного виробу після свердління отворів. Система ШІ аналізує зображення та порівнює їх із 3D-моделями або кресленнями деталі, щоб оцінити відповідність розмірів та положення отворів специфікаціям.

Це забезпечує точний контроль над кожним виробом у реальному часі, і будь-які відхилення, навіть на мікрометровому рівні, можуть бути виявлені негайно. Такий підхід дозволяє значно знизити ймовірність помилок у свердлінні та забезпечити відповідність виробів стандартам.

Для вирішення проблеми пропуску дефектів під час перевірки у виробничих процесах одним із найефективніших підходів є ZQS (ZeroQualitySampling) — підхід "нуль дефектів". Цей метод спрямований на досягнення максимальної якості продукції через запобігання появі дефектів на всіх етапах виробництва, а не лише їх виявлення після завершення процесу. Традиційні методи перевірки якості передбачають виявлення дефектів вже на етапі готової продукції або під час вибіркової перевірки. Це може призводити до того, що частина дефектів залишається непоміченою і потрапляє на наступні етапи виробництва або до, кінцевого споживача. Підхід ZQS, навпаки, фокусується на запобіганні виникнення дефектів з самого початку. Це досягається завдяки впровадженню систем превентивного контролю якості на кожному кроці виробничого процесу. Підприємства, які впроваджують ZQS, створюють середовище, в якому контроль якості є невід'ємною частиною кожної операції.

Найбільш поширеним та широковживаним методом з перерахованих є SPC. Цей метод широко використовується на виробництвах по всьому світу, оскільки допомагає контролювати та поліпшувати якість продукції за допомогою статистичних методів. SPC використовують такі технологічні гіганти як Toyota, Ford, General Motors у сфері автомобілебудування, Intel, Samsung - у виготовленні мікропроцесорів та інших компонентів, Boeing та Airbus у авіаційній промисловості. Отже метод SPC є також багатостороннім і його можна інтегрувати у різні промислові комплекси, які можуть суттєво відрізнитись один від одного своєю специфікою виробництва та виробленою ним продукцією.

Проте метод використання комп'ютерного бачення та системи перевірки на основі ШІ стрімко розвивається та стає більш універсальним і впроваджується у багатьох сучасних виробництвах, через свою точність та якість роботи, яку не завжди може дати працівник через недостатню кваліфікацію чи людський фактор. Також методи комп'ютерного бачення та систем перевірки на основі ШІ не лише стрімко розвиваються, а й стають невід'ємною частиною індустрії 4.0, що

базується на автоматизації, цифровізації та інтеграції сучасних технологій у виробничі процеси. Окрім удосконалення якості продукції та зменшення залежності від людського фактора, ці системи відкривають більше нових можливостей для оптимізації всього циклу виробництва, що дуже важливо для технологічного процесу.

Отже контроль якості має величезне значення для успіху та конкурентоспроможності компаній-виробників металевих деталей. Виробники можуть постійно постачати високоякісні деталі, які відповідають або перевищують очікування клієнтів, запроваджуючи комплексні заходи контролю якості протягом усього виробничого процесу, запроваджуючи надійні системи управління якістю та активно шукаючи та враховуючи оцінки клієнтів. У сучасному виробничому середовищі, що швидко змінюється, надання пріоритету якості на кожному етапі виробничого процесу та інвестиції в передові технології, інструменти та талант є важливими для виробників, щоб вирізнитися з них, зменшити витрати, підтримувати міцні взаємовідносини з клієнтами та підштовхувати стійке зростання бізнесу. Відданість якості є фундаментальною запорукою довгострокової життєздатності та процвітання у сфері виробництва металевих деталей.

**Висновки.** Завдяки проведеному аналізу наявних систем управління та контролю якості на виробництві, було підібрано найкращі методи які вирішують наявні проблеми у виробництві корпусу UCF 208. Завдяки методам SPC, LIMS, ZQS та методу використання комп'ютерного бачення та системи перевірки на основі ШІ, можна покращити технологічний процес, підвищити якість готової продукції і зменшити витрати на виробництво через зменшення кількості дефектних виробів, без великих капіталовкладень. Дослідження в області управління та контролю якості повинні зосередитись на інтеграції інноваційних технологій, наприклад таких як комп'ютерне бачення, предиктивна аналітика та роботизація, з традиційними системами управління якістю. Важливими аспектами дослідження мають бути економічна ефективність впровадження цих рішень та їхній вплив на зниження дефектів, оптимізацію виробничих процесів і дотримання технічних характеристик продукції.

#### Список використаних джерел:

1. Д. С. Скалацький Технологія виготовлення деталі «Корпус EY8.172.700» з використанням верстатів з ЧПК: реферат. Хмельницький, 2024. 74 с.
2. V.Heling, B.Schleich, S. Wartzack An approach for determining the influence of manufacturing process parameters on product quality characteristics Erlangen, 2020. P. 212–217.
3. R.Lombard, C. C.Waveren, K.-Y. Chan Factor affecting quality in a manufacturing environment for a non-repairable product. Pretoria, 24 July 2018. P. 137–142.
4. Research on Process Quality Prediction and Control of Spindle Housings in Flexible Production Lines / BoHuangetal. Zigong, 19 July 2023. P. 1–29.
5. A.S.Vereshchagina, A.A.Kharitonov Ways of increase of efficiency of technological process in terms of the engineering enterprise. Novosibirsk, 20 March 2019. P. 76–81.
6. Д. Мазур Фактори, які впливають на систему управління якістю на підприємстві // Вісник Хмельницького національного університету. 2024. № 2. С. 360–364.
7. D. Staff Quality Control in Manufacturing | Duralabel. Resources. URL: <https://resources.duralabel.com/articles/quality-control-in-manufacturing> (дата звернення: 13.10.2024).
8. Quality Control in Metal Parts Manufacturing. BOSS Magazine. URL: <https://thebossmagazine.com/quality-control-in-metal-parts-manufacturing/> (дата звернення: 13.10.2024).
9. Mastering Quality Control in Manufacturing: A Comprehensive Guide. MontBlanc AI. URL: <https://montblanc.ai/quality-control-in-manufacturing/> (дата звернення: 13.10.2024).
10. IMEKO News&Events. URL: <https://www.imeko.info/publications/tc14-2013/IMEKO-TC14-2013-50.pdf> (дата звернення: 13.10.2024).
11. International Journal of Science Engineering and Technology. URL: [https://www.ijset.in/wp-content/uploads/IJSET\\_V9\\_issue5\\_468.pdf](https://www.ijset.in/wp-content/uploads/IJSET_V9_issue5_468.pdf) (дата звернення: 13.10.2024).

**Рецензент:** Мікуліч Олена Аркадіївна, доктор технічних наук, професор, Луцький НТУ