

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(назва факультету)

Автоматизації технологічних процесів та виробництв

(повна назва кафедри)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до дипломної роботи (проєкту)

магістра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: *Розроблення автоматизованих методів управління металургійним
виробництвом на основі використання MES-систем*
(комплексна тема)

Виконали: студенти

6 курсу групи КАм-61

спеціальності

174 “Автоматизація, комп’ютерно-інтегровані
технології та робототехніка”

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Гриневич Ярослав Романович

(підпис)

Шкіра Ярослав Романович

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

проф. Марущак П.О.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

ст. викл. Козбур І.Р.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

проф.. Стухляк П.Д.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Затверджую.

доц. Савків В.Б.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

м. Тернопіль – 2025

РЕФЕРАТ

Гриневич Ярослав Романович, Шкіра Ярослав Романович – «Розроблення автоматизованих методів управління металургійним виробництвом на основі використання MES-систем» (комплексна тема). - Тернопіль, ТНТУ, 2025. - 105 с.

Ця кваліфікаційна робота магістра містить відомості про MES – системи та принципи управління виробничими процесами, програмне забезпечення, яке пов'язує бізнес-системи з виробничим рівнем (обладнання, SCADA), щоб у реальному часі відстежувати, контролювати та оптимізувати виробництво від замовлення до готової продукції, підвищуючи ефективність, якість та прозорість. Вона допомагає синхронізувати ресурси, планувати операції, збирати дані та аналізувати показники, забезпечуючи виконання планів та зниження браку.

Система автоматизації підприємства дозволяє

- швидко та ефективно моделювати виробничі бізнес-процеси;
- реєструвати хід виконання.

Можливість інтеграції з іншими зовнішніми системами (ERP, SCADA, спеціалізовані системи для логістики) дозволяє простежувати продукцію, компоненти та сировину на кожному окремому етапі їхнього перебування на виробництві.

Зібрана інформація про процеси дозволяє підтримувати управління за принципом "Lean Manufacturing" (ощадливе виробництво).

Система управління виробництвом також підтримує міжнародні стандарти якості: HACCP, IFS, SIX SIGMA тощо. Використання попередньо передбачених звітів у системі дозволяє відображати повну картину виробничого процесу на всіх рівнях - починаючи з майстра зміни і закінчуючи директором заводу.

Розглянуто підхід, який дозволяє створювати проблемно-орієнтовані та спеціалізовані експертні системи, налаштовані на певну аналізовану ділянку контрольованого об'єкту. Попередньо оцінено економічну ефективність проекту та запропоновано заходи з охорони праці, безпеки життєдіяльності.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	
1.1. MES в металургії, основні переваги застосування	9
1.2. Взаємо доповнюваність підходів MES та ZDM	12
1.3. Дефекти металопрокату та технологічні та організаційні шляхи зниження дефектності	18
1.4. Системи підтримки прийняття MES-рішень	27
2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	
2.1. Виявлення дефектів металопрокату	35
2.2. Розрахунок параметрів системи відео діагностики дефектів металопрокату	41
2.3. Використання MES та їх функціональні можливості	45
3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	
3.1. Вибір елементів системи технічного зору	50
3.2. Аналіз вимог та доступності даних	52
3.3. Рентабельність інвестицій (ROI) від впровадження MES	62
4. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	67
5. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА	73
6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	
6.1. Вплив ЕОМ на стан здоров'я людини	79
6.2. Класифікація вибухо- та пожежонебезпечних приміщень (зон).	81
6.3. Вимоги до режимів праці і відпочинку при роботі з ВДТ	85
6.4. Проведення інструктажів з охорони праці на підприємстві	87
7. БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	
7.1. План дій у надзвичайних ситуаціях	90

7.2. Цикл управління стихійними лихами	91
Висновки	97
Перелік посилань	98

ВСТУП

Система управління виробництвом (MES) допомагає виробникам отримувати видимість у режимі реального часу, підвищувати ефективність та знижувати виробничі витрати. Збираючи та аналізуючи дані з виробничого цеху, програмне забезпечення MES об'єднує машини, людей та процеси, перетворюючи виробництво на прозору операцію, що базується на даних.

1. Прозорість у режимі реального часу в усьому виробництві

- безперервне відстеження машин, замовлень та даних про якість;
- чітке бачення простоїв, браку та коефіцієнтів використання;
- точна аналітика для аналізу ефективності та постійного вдосконалення.

2. Вища ефективність та продуктивність

- оптимізоване використання обладнання, робочої сили та матеріалів;
- коротший час налаштування, очікування та виконання замовлення;
- підвищена загальна ефективність обладнання (оee) завдяки кращому плануванню та контролю.

3. Краща якість та повна відстежуваність

- моніторинг процесу та якості в режимі реального часу;
- миттєве виявлення відхилень або невідповідностей;
- цифрова відстежуваність для аудитів, дотримання вимог та документації клієнтів.

4. Зниження виробничих витрат та рівня запасів

- точний зворотний зв'язок щодо витрати матеріалів та браку;
- зниження незавершеного виробництва та оптимізація рівнів запасів;
- менше переробок, відходів та незапланованих простоїв.

5. Підходи «ощадливе виробництво» та «розумна фабрика»

Поєднує ERP та MSE у виробничому цеху

- забезпечує безпаперові робочі процеси та цифрове управління;
- підтримує прогнозне обслуговування та оптимізацію на основі IoT;

Типи архітектур MES

Є три основні архітектури MES:

Локальна MES – яка є локально в центрі обробки даних компанії з повним контролем над даними. Її перевагами є висока ступінь налаштування, повне володіння даними та можливість роботи в автономному режимі.

Недоліки: Тривалий час впровадження, високі капітальні витрати (CAPEX) та складне обслуговування або оновлення.

Хмарна MES – це традиційне програмне забезпечення MES, розташоване на хмарній інфраструктурі. Її перевагами є зменшення внутрішнього ІТ-навантаження та швидша масштабованість.

Недоліки: Не справжня хмарна архітектура, обмежена гнучкість, досить дороге ліцензування.

Хмарно-орієнтована MES – це програмний продукт спеціально розроблений для хмари, на основі модульних мікросервісів. Її перевагами є швидке впровадження, підписка, замість значних інвестицій, проста інтеграція та масштабованість на кількох сайтах.

Недоліки: Залежність від постачальника та підключення до Інтернету.

Отже, слід зазначити, що ринок потребує різноманітних MES-систем, оскільки вони підтримують цифрову трансформацію, скорочують час отримання прибутку та забезпечують довгострокову масштабованість для сучасного виробництва.

1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1. MES управління виробництвом та запобіганні дефектності металопрокату

1.1. MES в металургії, основні переваги застосування

Система управління виробництвом (MES) – це програмна система, яка контролює та перетворює сировину на готову продукцію у виробничому цеху. Він діє як місток між системами планування високого рівня, такими як ERP, та фактичним виробничим процесом, забезпечуючи видимість у режимі реального часу, збір даних та контроль для оптимізації ефективності, якості та розподілу ресурсів. Відстежуючи виробництво в режимі реального часу та надаючи детальні записи «виконаного виробництва», MES допомагає підприємствам оптимізувати операції, зменшувати відходи, покращувати якість та відповідати нормативним вимогам, рис. 1.1.



Рис. 1.1. Місце MES у системі управління виробничим процесом

Метою MES є підвищення ефективності виробництва шляхом зниження витрат, оптимізації використання ресурсів, скорочення часу виконання замовлень та покращення управління інформаційними потоками.

MES - це комплексна інтегрована система, яка поєднує всі ключові елементи управління виробництвом у єдиному цифровому середовищі. Вона охоплює повний цикл планування - від довгострокового прогнозування потреб підприємства до оперативного розподілу завдань між обладнанням і персоналом.

На практиці це дозволяє оптимально формувати виробничі графіки, швидко реагувати на зміни попиту та ефективно коригувати план у режимі реального часу.

Однією з важливих складових є диспетчеризація виробничих процесів. Система координує всі операції, забезпечує синхронну роботу різних цехів і ділянок, автоматично повідомляє про зміни або затримки та допомагає уникати вузьких місць. У режимі реального часу здійснюється контроль і моніторинг виконання кожної операції: MES відстежує стан обладнання, тривалість технологічних етапів, рух матеріалів та відповідність виробничих параметрів заданим стандартам.

Також система забезпечує комплексне управління всіма видами ресурсів. Вона аналізує доступність персоналу та їх компетенції, контролює залишки матеріалів, оптимізує використання обладнання і планує технічне обслуговування, що дозволяє уникати дефіциту ресурсів та простоїв. Значна увага приділяється якості та безпеці: MES фіксує критичні точки контролю, автоматично перевіряє відповідність продукції нормам і допомагає підтримувати стабільні технологічні параметри. Важливою перевагою є потужний аналітичний та прогностичний інструментарій. Основна ідея MES полягає в тому, що виробництво має бути прозорим, керованим і адаптивним. Система повинна виявляти проблеми ще на етапі їх виникнення й автоматично пропонувати рішення, рис. 1.2.



Рис. 1.2. Інтелектуалізована система контролю дефектності продукції на осунові MES

Система збирає великий обсяг даних з обладнання, датчиків та виробничих модулів, аналізує їх, виявляє закономірності й дозволяє прогнозувати попит, навантаження, можливі збої або потребу в обслуговуванні. Завдяки цьому керівництво отримує точну й своєчасну інформацію для прийняття рішень, а виробництво стає більш гнучким, стабільним і ефективним. Основні цілі MES-систем спрямовані на всебічне вдосконалення виробничого процесу. Насамперед вони забезпечують підвищення продуктивності: автоматизовані модулі точно розподіляють навантаження між обладнанням, оптимізують послідовність операцій і мінімізують людський фактор. Завдяки цьому обладнання працює максимально ефективно, а час виконання виробничих циклів скорочується. Разом із цим зменшуються і виробничі витрати — система раціональніше використовує матеріали, енергію та робочу силу, знижує кількість переналаштувань, помилок і браку, рис. 1.3.



Рис. 1.3. Дослідницька база для розвитку виробництва з нульовим рівнем дефектів, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166361521002037>

Важливою метою є мінімізація простоїв: MES постійно відстежує технічний стан обладнання, прогнозує можливі поломки, координує черговість робіт та забезпечує своєчасне виконання регламентних операцій. Завдяки цьому підприємство уникає незапланованих зупинок і втрат часу. Паралельно

покращується якість продукції — система контролює ключові параметри виробництва в режимі реального часу, порівнює їх із нормативами та оперативно сигналізує про відхилення, що дозволяє виправляти помилки ще до появи браку.

Ще одна важлива ціль - оптимізація матеріальних потоків: від точного планування потреб у сировині до автоматизованого обліку руху матеріалів між складами й цехами. Це не лише скорочує надлишкові запаси, а й забезпечує постійну доступність необхідних ресурсів. Саме завдяки узгодженості всіх ланок забезпечується безперервність виробництва, коли кожен етап відбувається вчасно, а всі дії синхронізовані між собою. У результаті підприємство здатне своєчасно виконувати замовлення будь-якої складності, дотримуватися строків постачання та підвищувати рівень задоволеності клієнтів, що зміцнює його конкурентні позиції на ринку.

Ці цілі досягаються через цифровізацію процесів, застосування сучасних підходів до планування та використання автоматизованих систем контролю.

Принципи MES управління включають:

1. **Стандартизація операцій** — однаковість процесів і мінімальні відхилення.
2. **Безперервність процесів** — виробництво без простоїв і затримок.
3. **Гнучкість управління** — адаптація до змін у попиті та ресурсах.
4. **Оптимізація логістики** — матеріали та компоненти повинні надходити точно вчасно.
5. **Прозорість і відстежуваність** — повний контроль у реальному часі.
6. **Автоматизація** — максимальне використання технологій для зменшення ручних операцій.
7. **Аналіз і прогнозування** — використання статистики й аналітики для прийняття рішень.

1.2. Взаємодоповнюваність підходів MES та ZDM

Нуль дефектів є спосіб мислення та дії, який підсилює ідею про те, що недоліки є неприйнятними, і що кожен повинен прагнути «вийти правильно з

першого разу». Коли ви прагнете до нульової кількості дефектів, це може покращити якість вашого продукту чи послуги та зменшити витрати, пов'язані з відходами.

Стратегія нульового дефекту підхід до управління якістю, спрямований на запобігання та усунення дефектів протягом усього виробничого процесу. Основний принцип простий, але потужний: мета полягає в тому, щоб продукти або послуги вироблялися правильно з першого разу, без будь-яких дефектів або помилок, рис.1.4.



Рис. 1.4. Типові дефекти металопрокату, виявлені оптико-цифровими системами

Нуль дефектів (або ZDM) був керована програмою усунення дефектів промислового виробництва який користувався короткою популярністю в американській промисловості з 1964 року до початку 1970-х років.

У цьому документі розглядається концепція нульових дефектів, яка має на меті запобігання дефектам через мотивацію працівників виконувати свою роботу правильно з першого разу. У ньому підкреслюється, що нульові дефекти мають на меті зробити працівників відповідальними за контроль якості та мотивувати їх досягти нульових дефектів.

Під час аналізу літератури про ZDM ми виявлено кілька додаткових стратегій для ZDM, які будуть обговорені у контексті MES. Стратегію ZDM можна визначити як набір інструментів, ресурсів та правил контролю з метою уникнення дефектів у складних виробничих системах. У традиційних стратегіях якості контури зворотного зв'язку зазвичай впроваджуються на рівні окремих процесів для виявлення та усунення дефектів, навіть коли виробничий процес є складним, або містить кілька етапів, як показано на рис. 1.5а.

Традиційні стратегії якості розділяють аналіз даних про продукт, які надходять з процесів інспекції, та даних про процес, які надходять з рішень моніторингу на місці. Таким чином, контури контролю якості запускаються лише на етапах інспекції, які можуть виникати значно пізніше, ніж процес, у якому міг виникнути дефект. Отже, стратегії якості зазвичай реалізують як петлі зворотного зв'язку, що зумовляє такі проблеми, як:

- затримка у виявленні дефектів;
- складний аналіз першопричин проблем із якістю, виявлення дефектів;
- надмірні ремонти/налагодження обладнання як основна стратегія корекції;
- відсутність одночасного аналізу даних про продукт та процес.

З іншого боку, стратегії ZDM спрямовані на проактивне виявлення дефектів або потенційних дефектів та намагаються знайти методи, які (1) запобігають дефектам у першу чергу та (2) уникають переробки шляхом компенсації дефектів та відхилень нижче за течією в ланцюжку процесу за допомогою контурів прямого керування, рис. 1.5б. Схематичне зображення таких стратегій ZDM зображено на рис. 1.5. Як показано, парадигма ZDM базується на інтеграції даних про продукт та процес, що надходять з багатоджерельних ланцюжків процесів. У наступних розділах ми детальніше опишемо ці два типи стратегій ZDM, рис. 1.5.

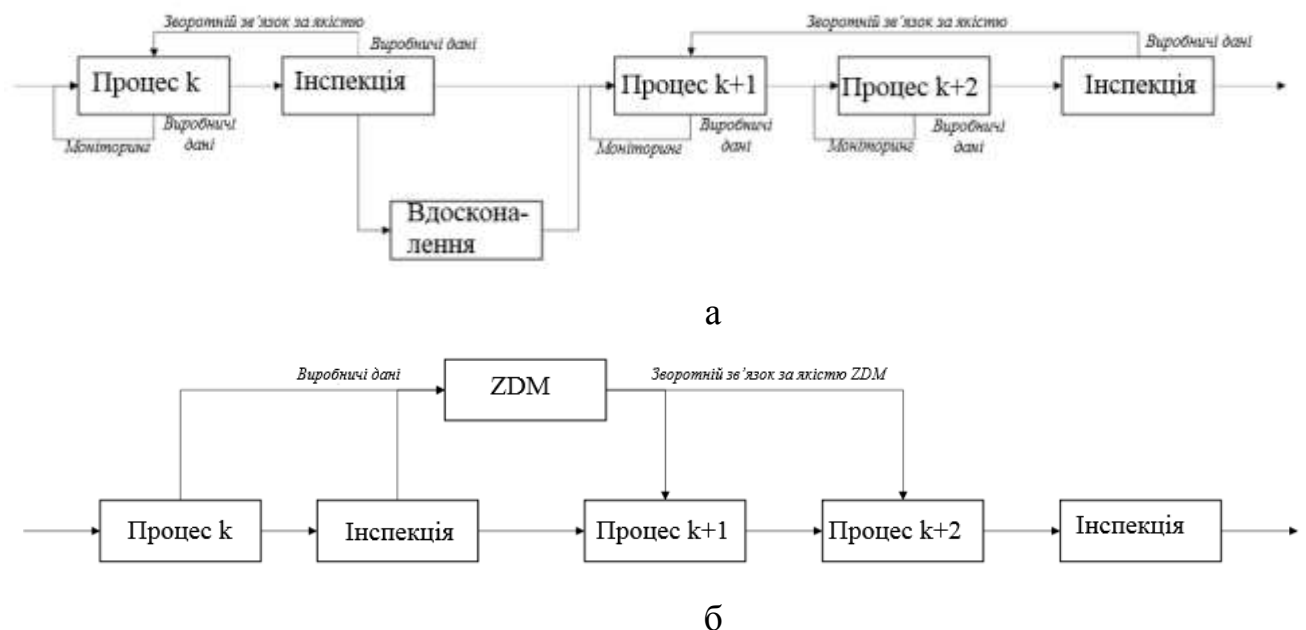


Рис. 1.5. Схематичне зображення традиційних стратегій якості -а та ZDM - б.

Принципи MES управління виробництвом ґрунтуються на забезпеченні максимальної ефективності, передбачуваності та якості всіх процесів. Стандартизація операцій передбачає впровадження єдиних процедур і технологічних регламентів, що дозволяє знизити ризик помилок, мінімізувати відхилення та забезпечити стабільність продукції. Безперервність процесів є ключовим принципом: усі етапи виробництва організовані так, щоб уникати простоїв, затримок та збоїв, що дозволяє забезпечувати своєчасне виконання замовлень і стабільну продуктивність.

Гнучкість управління забезпечує здатність системи швидко реагувати на зміни попиту, коливання наявності ресурсів або непередбачені ситуації на виробництві. Це дозволяє коригувати плани та перенаправляти ресурси без втрати ефективності. Оптимізація логістики гарантує, що матеріали, комплектуючі та напівфабрикати надходять точно вчасно, що усуває затримки та надлишкові запаси, зменшує витрати та покращує організацію робочих потоків.

Прозорість і відстежуваність є невід'ємною складовою MES: кожна операція, рух матеріалів і стан обладнання контролюються в режимі реального часу, що дозволяє отримувати точну інформацію для прийняття рішень і швидко реагувати на будь-які відхилення. Автоматизація процесів максимально зменшує кількість ручної праці, знижує ймовірність людських помилок та пришвидшує виконання виробничих завдань.

Нарешті, аналіз і прогнозування забезпечують прийняття обґрунтованих рішень на основі статистичних даних, тенденцій попиту та параметрів виробництва. Використання сучасних аналітичних інструментів та алгоритмів машинного навчання дозволяє передбачати можливі проблеми, планувати ресурси та оптимізувати виробничі процеси, забезпечуючи високий рівень продуктивності, якості та конкурентоспроможності підприємства. MES являє собою багатокомпонентну інтегровану систему, що охоплює всі етапи організації виробництва — від планування до відвантаження продукції. В її основі лежить набір модулів, що працюють узгоджено, забезпечуючи повну прозорість процесів

та можливість оперативного управління на будь-якому рівні. Ключовим елементом є система планування виробництва, до якої входять модулі MPS, MRP та CRP. MPS формує головний виробничий графік, визначаючи, що, коли та в яких обсягах потрібно виготовити. MRP забезпечує розрахунок потреб у матеріалах, враховуючи структуру виробу, залишки на складах та заплановані замовлення. CRP оцінює завантаженість обладнання та відповідність наявних потужностей вимогам виробничого плану. Усі три модулі працюють у тісній зв'язці, дозволяючи підприємству уникати браку ресурсів, зайвих запасів і перевантаження цехів.

Центральним ядром MES є система, що займається оперативним управлінням виробничими процесами. Вона відстежує виконання кожної операції в реальному часі, контролює параметри на робочих центрах, організовує маршрути руху деталей і автоматично збирає дані з обладнання, сенсорів і виконавчих пристроїв. MES забезпечує дотримання технологічних нормативів, фіксує відхилення, дозволяє миттєво реагувати на зміни, а також формує детальну виробничу історію (traceability), що критично важливо для галузей з високими стандартами якості.

Доповнює систему модуль APS, який використовує складні алгоритми й обчислювальні методи для побудови оптимізованих графіків виробництва. APS враховує обмеження щодо ресурсів, тривалість переналагодження, пріоритети замовлень, доступність персоналу, стан обладнання та можливі ризики. Завдяки цьому підприємство може обирати найефективніші сценарії виробничого планування та швидко перебудовуватися під нові умови.

Управління матеріальними потоками охоплює контроль за рухом сировини, комплектуючих і готової продукції на всіх етапах. Сюди належать функції складу, логістики, транспорту, системи штрихкодування або RFID-ідентифікації, що дозволяють миттєво визначати місцезнаходження кожного матеріалу та скорочують час на внутрішні переміщення. Це також мінімізує втрати, надлишки та знижує ризик виробничих зупинок через нестачу компонентів.

Система контролю якості інтегрується на кожному етапі виробництва. Вона включає автоматизовані перевірки, контроль критичних параметрів, аналіз дефектів, реєстрацію відхилень та формування рекомендацій для усунення причин браку. Завдяки оперативному аналізу система дозволяє не тільки фіксувати недоліки, а й запобігати їх появі шляхом проактивних заходів.

Аналітичні модулі MES надають інструменти для глибокого аналізу та прогнозування. BI-системи формують звіти, дашборди KPI та візуалізують ключові показники, дозволяючи керівництву оцінювати ефективність виробництва. Компоненти ML/AI прогнозують попит, виявляють аномалії, моделюють ризики, визначають оптимальні параметри роботи обладнання та сприяють прийняттю стратегічно обґрунтованих рішень, рис. 1.6.

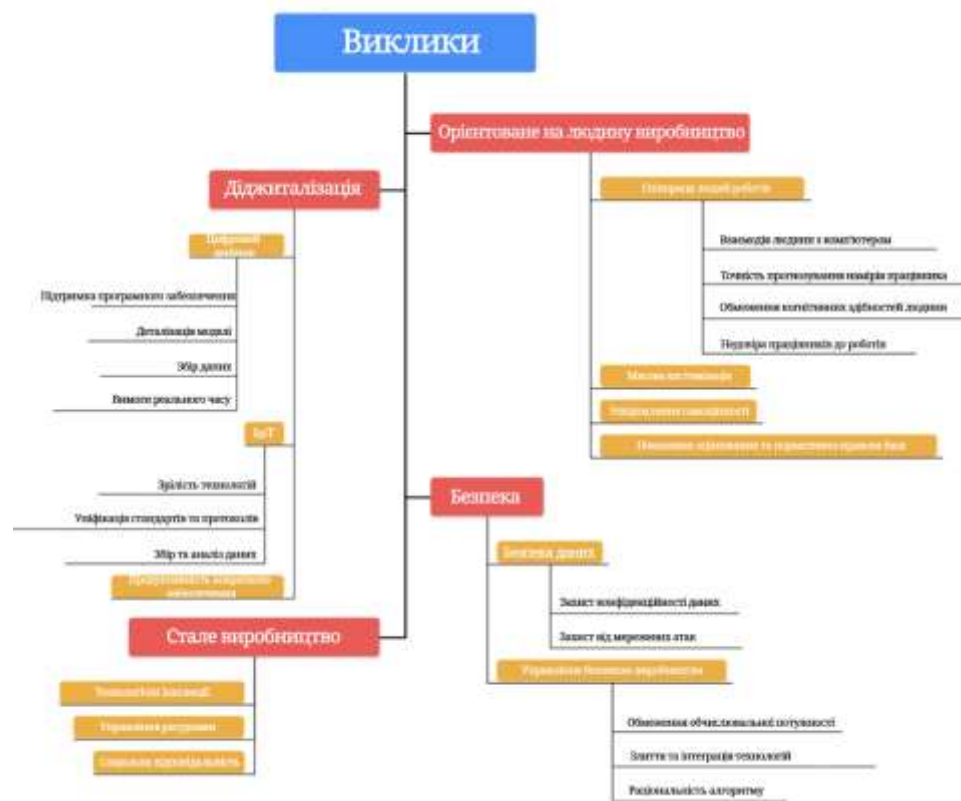


Рис. 1.6. Виклики виробничих систем, на які дає відповідь застосування MES – систем

Уся система MES функціонує через послідовні етапи управління виробництвом. Спершу відбувається планування, під час якого аналізуються замовлення, формуються виробничі програми та обчислюються потреби у

ресурсах. Далі - підготовка: закупівля необхідних матеріалів, складання маршрутних карт, підготовка інструментів і налаштування обладнання. На етапі виконання здійснюється контроль операцій у реальному часі, управління робочими процесами та коригування планів за потреби. Потім виробництво проходить контроль якості, де перевіряється відповідність продукції встановленим стандартам, аналізуються критичні точки та записуються всі результати. Фінальним етапом є завершення, яке охоплює упаковку, маркування, складування та відвантаження готової продукції клієнтам.

Таким чином, MES забезпечує повний цикл управління виробництвом, інтегруючи планування, контроль, логістику, якість і аналітику в одну узгоджену систему, що робить виробництво максимально ефективним, передбачуваним і конкурентоспроможним.

Впровадження MES управління виробництвом надає підприємству широкий спектр переваг, що охоплюють економічні, організаційні та технічні аспекти діяльності. З економічної точки зору система дозволяє суттєво знизити загальну собівартість продукції завдяки оптимізації використання ресурсів та усуненню зайвих витрат, пов'язаних з неефективними операціями. Водночас зменшується рівень браку, адже виробничий процес стає більш контрольованим, а всі відхилення оперативно виявляються та усуваються. Також значно покращується управління запасами: матеріали постачаються у потрібних кількостях і в оптимальний час, що дозволяє уникати як дефіциту, так і надлишкових складських залишків.

1.3. Дефекти металопрокату та технологічні та організаційні шляхи зниження дефектності

Організаційні переваги MES проявляються у підвищенні дисципліни та впорядкованості виробничого процесу. Система забезпечує чітку структурованість роботи, визначає відповідальних осіб, формує прозору систему контролю та звітності. Завдяки цьому кожен учасник виробничого процесу має

зрозумілі завдання й зони відповідальності, що сприяє ефективній взаємодії між підрозділами. Крім того, керівництво отримує можливість побудувати більш зрозумілу, логічну та прозору систему управління підприємством.

Суттєвими проблемами є також складність інтеграції MES із уже наявними інформаційними системами підприємства - ERP, MES, SCADA або системами контролю технологічних процесів. Для досягнення повної сумісності часто потрібні додаткові модулі, налаштування або зміна внутрішньої архітектури даних, що потребує додаткової роботи та фінансових витрат [52, 53, 54].

Ще одним важливим викликом є забезпечення кібербезпеки. Оскільки MES використовує мережеві технології та пов'язує між собою різні рівні виробництва, вона стає потенційною мішенню для кіберзагроз. Захист даних, безпечний доступ до системи та запобігання несанкціонованим втручанням стають ключовими завданнями під час впровадження.

MES управління виробництвом є ключовим інструментом для сучасних підприємств, що прагнуть досягти високої ефективності, конкурентоспроможності та гнучкості. Воно забезпечує оптимізацію процесів, підвищення якості й зменшення витрат. У поєднанні з цифровими технологіями MES стає базою для розвитку «розумного виробництва» та цифрової трансформації підприємств.

Порівняння гарячекатаного і холоднокатаного прокату

Основна відмінність - у первинному матеріалі і температурному режимі обробки. Гарячекатані сталеві листи отримують із заготовок, званих ще болванками або слябами. Попередньо їх розігрівають до дуже високої температури, трохи менше 1000°C. Холоднокатані листи або рулони отримують при обробці матеріалу, отриманого раніше в результаті гарячого прокату [55, 56, 57, 58].

Процес гарячої обробки сталевих сплавів на прокатних станах обходиться підприємствам дешевше, оскільки даний технологічний процес простіший в реалізації. Крім того, сталь прокочується в безперервному режимі, тому виявлення дефектів є дуже важливим, рис. 1.7.



Рис. 1.7. Приклад системи контролю дефектності металопродукту

Технологія виробництва гарячекатаної сталі

Сталеві листи гарячої прокатки отримують на прокатних станах різних конструкцій - неперервних, напівнеперервних, лінійних, планетарних та інших. Мінімальна товщина листів, прокатаних між валками, становить сьогодні 1 мм, максимальна - 16 мм. Діапазон ширини листової продукції - від 1250 до 2000 мм, ри.1.8.



Рис. 1.8. Прокатний цех

Допуски по товщині металу становлять від $\pm 0,025$ до $\pm 0,05$ мм. Сировиною для виробництва служать сляби вагою до 45 т. Довжина сучасних прокатних станів сягає 600 м. Метал рухається по ним з високою швидкістю, що досягає 30 м/сек. Весь процес отримання гарячого металопродукту ділиться на кілька етапів:

1. Підготовка первинної сировини до нагрівання.
2. Нагрівання слябів в печах або злитків – в колодязях. Температура нагріву висока – 60% і більше точки плавлення сталі.
3. Прокатування на станах за різними схемами і технологіями, в залежності від розмірів і якості одержуваної продукції. Утворену на поверхні окалину збивають водою під високим тиском або валками особливої форми.
4. Додаткова правка ще гарячого прокатоного матеріалу на спеціальному обладнанні.
5. Охолодження металу.
6. Огляд, зачистка, правка і порізка листів, або змотування в рулони.
7. Сорткування, маркування, зважування та пакування.

Специфікації і марки гарячекатаної сталі

Гарячекатаний і холоднокатаний прокат відрізняється вмістом вуглецю. У сталевих виробках, отриманих методом гарячого прокатування, вміст вуглецю перевищує 0,7%. Метал після гарячої прокатки набуває міцності і твердості [59, 60, 61, 62]. Якісний показник залежить від кількості домішок сірки і фосфору, присутніх у виробках. Високоякісними вважаються сплави, в яких є 0,03-0,035% даних домішок. У високоякісному металі їх ще менше - від 0,02 до 0,03%.

Таблиця 1.1. Розміри металопродукту

Товщина металу (мм)	Ширина рулонів (мм)	Розміри листів (мм)
Менше 3,9	1250	1250 x 2500
Від 4 до 12	1500	1500 x 6000
Від 14 до 160		1500 x 6000, 2000 x 6000

У разі індивідуальних замовлень можливий випуск листового продукту шириною 900-2500 мм і довжиною в діапазоні 1500-13500 мм.

Таблиця 1.2. Основні стандарти і специфікації

ГОСТ	Короткий опис
1435-99	Маркування сплавів, від У7 до У12А (буква А - ознака високої якості)
16523-89	Технічні умови (далі також - ТУ) для виробництва прокату тонколистової сталі стандартних і якісних марок
14637-89	ТУ для прокатування товстолистого сталевих сплаву звичайного якості
19281-89	ТУ для прокатки низьколегованих сплавів підвищеної міцності
19903-74	Сортамент гарячекатаного листового прокату

Переваги та області застосування гарячекатаної сталі

Головна перевага даного продукту - відносно невисока ціна за дуже хорошою міцністю [63, 64, 65, 66]. . Різні марки сплавів використовуються як вихідна сировина в металообробці . З них виготовляються різні деталі всіляких машин і механізмів, а також складові частини металевих конструкцій.

Вироби з гарячекатаних сплавів широко використовуються в будівництві. Їх властивості добре підходять для створення різного роду металоконструкцій, що потребують високої міцності та невимогливі до якості поверхні і розміру заготовок.

Технологія виробництва холоднокатаної сталі, рис. 1.8.

Сировиною для виробництва даної продукції є сталеві рулони або листова сталь гарячого прокатування – підкат [67, 68, 69, 70]. Технологічний процес за своїми етапами схожий на гарячий прокат:

1. Підготовка вихідного матеріалу - видалення окалини та інших дефектів, додаткова термообробка для пом'якшення підкату. Деякі з підготовчих робіт можуть бути виключені, в залежності від якості матеріалу.

2. Прокатка на станах без термічної обробки.

3. Оздоблювальні роботи - наприклад, витравлювання, правка, різка в поздовжньому або поперечному напрямку, декоративна обробка металевої поверхні.
4. Сортуння і упаковка отриманих виробів.



Рис. 1.8. Стан холодного прокатування

Окалина може видалятися одним з двох способів - механічним або хімічним (із застосуванням сірчаної або соляної кислоти). У багатьох випадках в техпроцес можуть включатися додаткові етапи, в залежності від вимог ТУ для отримання тієї чи іншої марки сталевих прокату.

Стандарти і специфікації для холоднокатаного металу

Холодні прокатні стани виробляють продукцію невеликої товщини - від 0,3 до 3 мм. У порівнянні з гарячекатаною, холоднокатана сталь має високоякісну поверхню і можливість більш точного калібрування розмірів. Метал більш пластичний – частково через те, що в якості вихідного матеріалу беруться м'які сорти сталевих підкату.



Рис. 1.9. Марковані сталеві рулони

До марок продукції з низьким вмістом вуглецю відносяться 08ПС і 08Ю. Більш міцні вуглецеві марки - Ст1, Ст2, Ст3, Ст4. Високоякісні сорти з низьким вмістом сірки і фосфору позначаються як 10, 15, 20, 30 і 40.

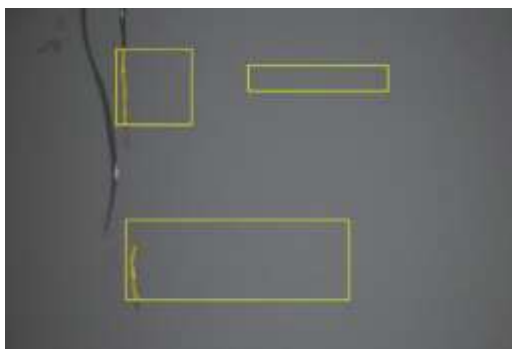
Рулонний продукт може мати ширину не менше 1250 мм. Стандартний розмір листового прокату - 1250 x 2500 мм. У разі індивідуальних замовлень допускається виготовлення виробів шириною від 800 до 1450 мм, при цьому довжина може коливатися в межах 1500-6000 мм.

Основні стандарти, специфікації та маркування

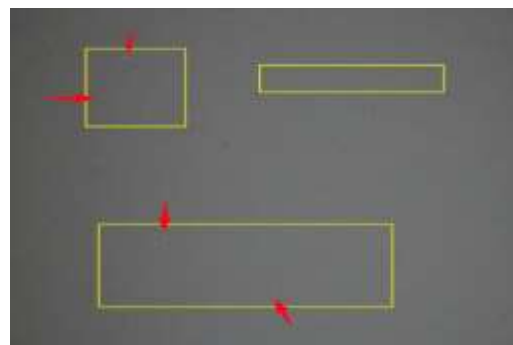
ГОСТ	Короткий опис
19904-90	Сортамент холоднокатаної продукції
16523-89	Технічні умови для тонколистової холодної прокатки зі сталевого підкату якісних і стандартних вуглецевих марок
9045-93	ТУ для тонколистового прокатування якісних марок підкату, оброблюваного згодом методом холодного штампування

Приклади сегментації дефектів

Для зменшення кількості дефектів виробничі компанії можуть впроваджувати прямі та непрямі дії. Останні являють собою набір дій та рішень, які безпосередньо не впливають на продуктивність виробничого процесу. Їхній вплив або відкладається, або вимірюється за допомогою допоміжних процесів, з метою запобігання виникненню дефектів, рис. 1.10.



а



б

Рис. 1.10. Приклади виявлених дефектів: а – рископодібні; б – округлої форми

Непрямі дії можуть бути превентивними або прогнозуючими. Вони включають технічне обслуговування обладнання [43] , навчання операторів [44] та перевірку сировини [9], рис. 1.11.

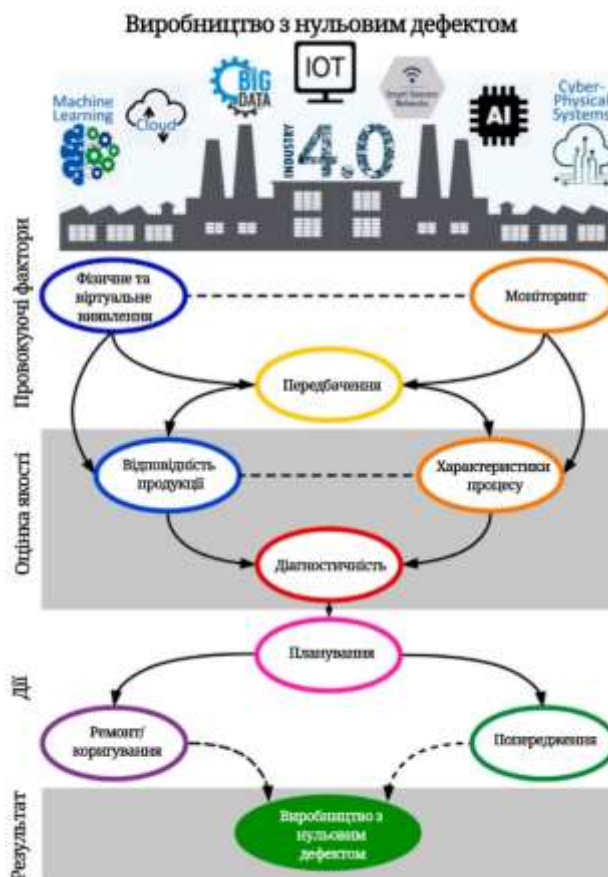


Рис. 1.11. Вплив непрямих дій на металопрокатну продукцію

На відміну від непрямих дій, прямі дії мають однозначний вплив на виробничі процеси та можуть розумітися як дії в процесі або після процесу. Дії в процесі включають моніторинг процесу та зносу за допомогою сенсорних систем [45] , поточний контроль та моніторинг додаткових пристроїв [46] . Дії після процесу включають аналіз відповідності після процесу та налаштування обладнання та виробничих параметрів після процесу.

Запропонована система, рис. 1.12 складається з двох основних моделей, а саме: детектора аномалій на основі поверхні (SBAD) та детектора дефектів на основі сегментації (SBDD); SBDD розглядає виявлення дефектів як задачу бінарної класифікації, завданням якої є виявлення дефектів у вхідному зображенні та відображення їхнього розташування. З іншого боку, SBAD можна розглядати

як попередній класифікатор для вхідних зображень перед SBDD, його основним завданням є розпізнавання невидимих аномалій, а вторинним завданням — класифікація видимих категорій.

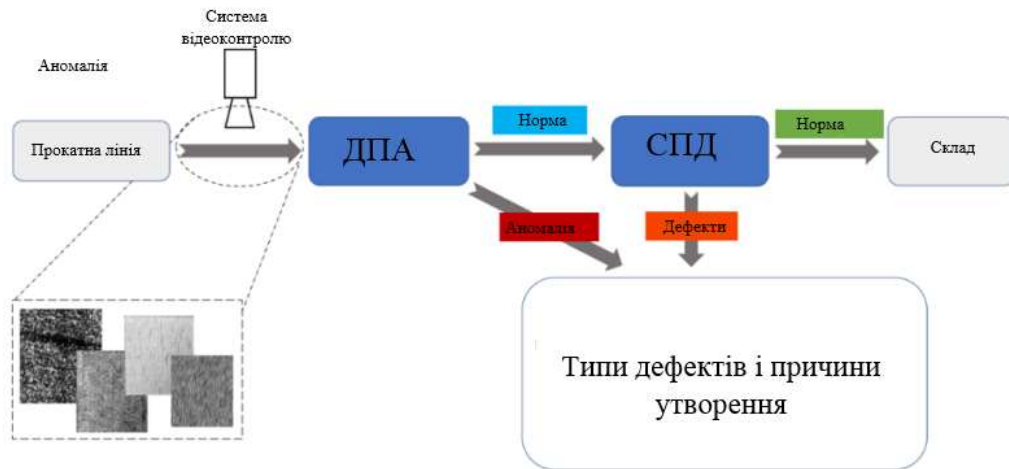


Рис. 1.12. Система виявлення та класифікації дефектів поверхні металу: ДПА – детектор поверхневих аномалій; СПД – сегментатор поверхневих дефектів.

У наступних розділах ми почнемо з огляду архітектури та дизайну системи, а також мети та переваг використання двоетапної моделі. Ми також розглянемо переваги та цілі проектування системи. Потім ми окремо розглянемо моделі SBAD та SBDD та їх архітектури. Нарешті, ми пояснимо запропонований набір даних DAGM_MIX та дизайн вбудовування класів спеціально для цього набору даних.

Системи штучного інтелекту наступного покоління розвиватимуться від виявлення дефектів до прогнозного контролю якості:

- **Прогнозування стану обладнання:** Виявлення незначних змін у характері дефектів, що передують виходу з ладу роликів, що дозволяє проводити проактивне технічне обслуговування.
- **Оптимізація процесу:** Штучний інтелект аналізує кореляцію між параметрами прокатки та рівнем дефектів, щоб рекомендувати оптимальні налаштування для кожного сорту матеріалу.

- **Прогнозування якості:** прогнозування показників якості наприкінці зміни на основі даних контролю в режимі реального часу для оптимізації планування виробництва
- **Інтеграція цифрових двійників:** поєднання даних машинного зору з моделями моделювання для прогнозування якості нових продуктів перед випробувальними запуском.

1.4. Системи підтримки прийняття MES-рішень

Інструмент СППР, розроблений у цьому дослідженні, призначений для автоматизації процесів прийняття рішень та планування, які виникають у виробничому процесі, коли під час виробництва виявляються проблеми з якістю. Запропонована СППР запускається подією дефекту та реагує в режимі реального часу на події, пов'язані з якістю. Вона розроблена таким чином, щоб її можна було впроваджувати в реальних виробничих середовищах. Два вибрані типи СППР, які є (1) ґрунтуються на даних та (2) ґрунтуються на знаннях, є керованими даними, але по-різному. СППР, керовані даними, використовують дані реального часу або корпоративні дані для прийняття рішень. СППР, засновані на знаннях, використовують минулі знання для прийняття рішень. Такі знання можна «витягти» з численних типів даних, які володіє компанія, за допомогою онтологічної карти, яка також може додавати контекст та структуру до даних.

На рис. 1.13 показано загальну структуру запропонованого інструменту DSS. Коли виявляється дефектна деталь, запропонована тут DSS виконує п'ять процесів: аналіз подій якості, класифікація подій якості, генерація сценаріїв пом'якшення наслідків, оцінка сценаріїв пом'якшення наслідків та створення плану процесу сценаріїв пом'якшення наслідків. Існує дві основні категорії класифікації. Їх використання визначається тим, чи можна відремонтувати дефектну деталь достатньо, щоб вона знову потрапила у нормальне виробництво. Якщо деталь неможливо відремонтувати, компоненти можна зберегти для використання в майбутніх продуктах, або їх можна утилізувати як непридатні для

використання компоненти. У випадку останнього, продукт необхідно виготовляти з самого початку. Коли найкращий варіант визначено, DSS генерує спеціальний набір завдань для реалізації відповідних заходів пом'якшення наслідків, рис. 1.13. Потім ці завдання включаються у виробничий процес за допомогою інструменту динамічного планування [47], який використовує алгоритм управління подіями для контролю, коли кожна дія події випускається на виробничий майданчик. Він також контролює, коли оновлений графік виготовляється та випускається на виробничий майданчик [48].

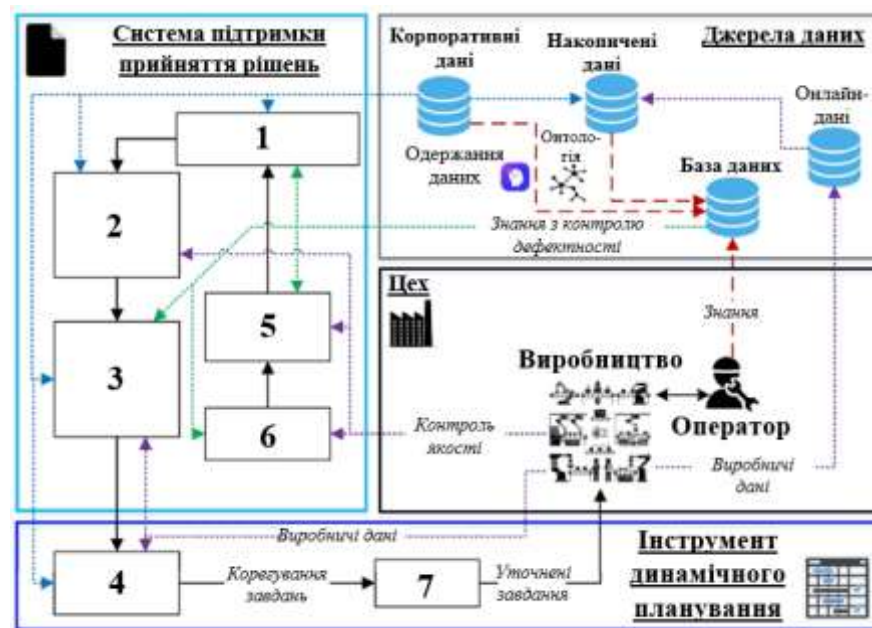


Рис. 1.13. Приклад системи прийняття рішень які дозволять зменшити дефектність металопрокату: 1 - визначення сценаріїв пом'якшення наслідків; 2 - альтернативні сценарії для дефектоскопії; 3 - модифікація завдань дефектокопії; 4 - класифікація дефектів; 5 - аналіз дефектності; 6 - алгоритм управління контролем; 7 - перегляд планів випуску продукції

Записані дані зберігаються в різних таблицях відповідно до протоколу зв'язку, а потім інтегруються в базу даних MES. Це дозволяє витягувати корисні дані для розрахунку вибраних ключових показників ефективності (KPI). На рис. 1.14. показано ілюстрацію цієї структури.

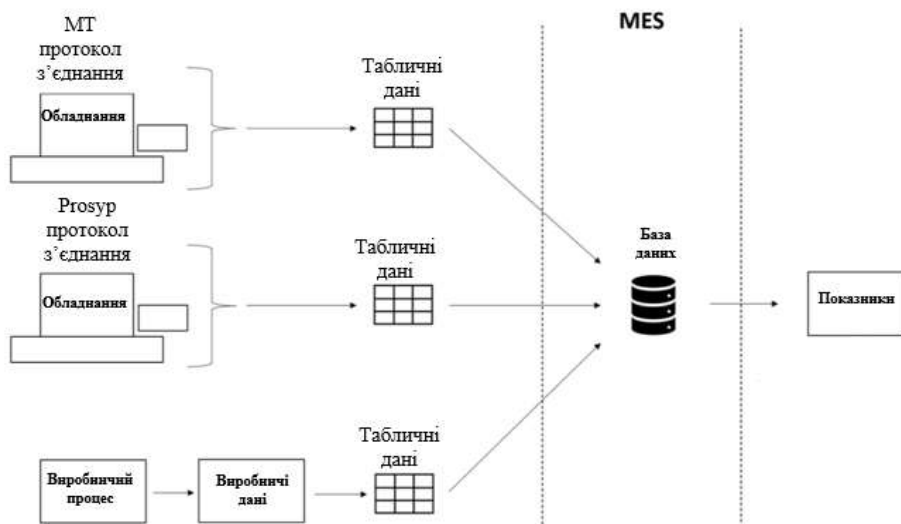


Рис. 1.14. Архітектура збору даних технологічного обладнання

Відоме Simatic IoT 2040 - доступне технічне рішення для збору, обробки та передачі даних відразу в локальне або хмарне сховище для подальшого використання в корпоративному середовищі. Simatic IoT 2040 є шлюзом між хмарою (ІТ-рівнем) компанії та виробництвом, рис. 1.15.



Рис. 1.15. Схема одержання, зберігання та накопичення даних про стан технологічного обладнання (Siemens).

Підтримка протоколів та високорівневих мов програмування дозволяє застосовувати Simatic IoT 2040 для збору даних та будувати різні системи аналітики, включаючи систему предикативного обслуговування обладнання, рис. 1.16.



Переадресація даних до систем високого рівня (наприклад, у хмару)

а



Обробка даних за заданими алгоритмами

б



Збір даних та параметрів обладнання

в

Рис. 1.16. Сфери застосування Simatic IoT 2040

Таблиця 1.3. Комунікаційні можливості та підтримувані протоколи:

Слот Arduino для підключення каналів введення-виводу та датчиків	• MQTT • Твіттер
Слот miniPCI Express для інтеграції бездротових програм	• Modbus • GPIO
2x Ethernet 100 Мбіт (IE/PN), RJ45 (роздільні) дозволяють працювати у різних окремих мережах	• OPC UA •
1x USB-контролер для підключення до будь-якого USB-пристрою	• C7
1x USB-пристрій (micro USB) для підключення до систем розробки	• Інтернет речей IBM Watson • Microsoft Azure
2 послідовні інтерфейси (перемикаються RS232/485) спеціально для підключення інтелектуальних датчиків	• Інтернет речей2000

Технічні переваги MES пов'язані з використанням сучасних цифрових технологій. Система дозволяє автоматизовано збирати дані з обладнання, датчиків та робочих місць у реальному часі, що забезпечує високу точність інформації та швидкість прийняття рішень. Підвищується точність виробничого планування, оскільки система враховує реальні потужності, наявність ресурсів і поточний стан процесів. Крім того, можливість віддаленого моніторингу дозволяє контролювати

ProcessIQ пропонує набір розширених інтегральних модулів, розроблених для оптимізації виробничих робочих процесів, підвищення якості та ефективності. Унікальний динамічний конструктор інструкцій з побудови та конструктор процесів якості ProcessIQ допомагає вам ефективно керувати відхиленнями, збирати дані про якість та відстежувати час, включаючи інтеграцію з ERP. Ми надаємо API для Microsoft PowerBI та інших провідних на ринку рішень для звітності та аналітики з перевагами «цифрового двійника процесу, рис. 1.17.



ProcessIQ пропонує набір розширених інтегральних модулів, розроблених для оптимізації виробничих робочих процесів, підвищення якості та ефективності.

Унікальний динамічний конструктор інструкцій з побудови та конструктор процесів якості ProcessIQ допомагає вам ефективно керувати відхиленнями, збирати дані про якість та відстежувати час, включаючи інтеграцію з ERP. Ми надаємо API для Microsoft PowerBI та інших провідних на ринку рішень для звітності та аналітики з перевагами «цифрового двійника процесу».

ProcessIQ спочатку був створений, щоб допомогти виробникам створювати електронні процеси контролю якості та робочі інструкції, а також усунути необхідність використовувати паперові або PDF-файли як вихідні дані з Word, Excel, PowerPoint та власного програмного забезпечення. Ми на власні очі спостерігали негативний вплив використання паперових або PDF-файлів на якість, операційну ефективність, продуктивність та кінцевий результат. Було дуже логічно, що, визначивши процеси виробництва та якості структурованим чином, можна було б реалізувати численні можливості та переваги на виробничому майданчику, які мали б далекосяжні позитивні наслідки.

Сучасні MES системи базуються на широкому спектрі цифрових технологій, які забезпечують можливість глибокої автоматизації, аналітики та оперативного управління виробництвом. Однією з ключових технологічних основ є IoT - інтернет речей, що дозволяє обладнанню, датчикам і виробничим лініям взаємодіяти між собою в режимі реального часу. Завдяки цьому збирається точна інформація про стан машин, параметри процесів та можливі відхилення, що дає змогу швидко реагувати на зміни й запобігати простоям.

Важливим елементом MES є технології Big Data, які забезпечують обробку великих масивів інформації, що генерується виробничими системами. Аналітичні інструменти дозволяють виявляти приховані закономірності, прогнозувати попит, оцінювати ефективність виробничих ліній та оптимізувати робочі процеси. У поєднанні з машинним навчанням такі технології роблять управління більш передбачуваним: система може аналізувати попередні дані та самостійно пропонувати оптимальні рішення, наприклад зміну графіка виробництва або переналаштування обладнання.

Хмарні технології відіграють особливу роль у розбудові сучасних MES, оскільки вони дозволяють централізовано зберігати й обробляти інформацію, забезпечують зручний доступ до даних з будь-якої точки та спрощують інтеграцію між різними модулями й віддаленими виробничими майданчиками. Завдяки цьому підприємства отримують можливість масштабувати систему без значних капітальних витрат.

Роботизація також стала невід’ємною частиною MES, забезпечуючи високу точність операцій, стабільність виробничих процесів і зниження людського фактора. Роботизовані лінії можуть працювати безперервно, виконуючи складні та небезпечні операції, що підвищує продуктивність і безпеку.

Технології 3D моделювання використовуються для створення віртуальних моделей виробничих процесів і деталей, що дозволяє тестувати різні конфігурації без фізичних витрат і прискорює впровадження інновацій. Важливим елементом сучасних MES також є концепція цифрових двійників — віртуальних копій обладнання чи цілих виробничих систем. Вони дають можливість моделювати роботу підприємства, прогнозувати поведінку обладнання, аналізувати наслідки змін та проводити оптимізацію ще до впровадження у реальне виробництво. Це дозволяє створити «розумне виробництво» (Smart Manufacturing).

MES управління виробництвом знаходить широке застосування у різних галузях промисловості, оскільки підходи масового виробництва та цифрової координації процесів є універсальними та ефективними для підприємств із високою інтенсивністю операцій. У сфері автомобілебудування MES використовується для точного планування складальних процесів, синхронізації роботи роботизованих ліній та контролю якості на всіх етапах створення автомобіля. В електронній промисловості система допомагає працювати з великою кількістю дрібних компонентів, забезпечуючи безперервність виробництва та мінімізацію дефектів.

У фармацевтичній галузі MES відіграє критичну роль завдяки жорстким вимогам щодо простежуваності, стерильності та контролю параметрів процесу, що робить виробництво більш безпечним та надійним. У харчовій промисловості

система дозволяє оптимізувати потоки сировини, контролювати якість продуктів і забезпечувати дотримання санітарних норм. Текстильні підприємства використовують MES для керування великими обсягами матеріалів, регулювання роботи ткацьких і швейних ліній, а також для підвищення продуктивності. У металургійній галузі система сприяє оптимізації технологічних процесів, які вимагають високої точності температурних режимів та синхронізації роботи обладнання.

Компанії, що активно застосовують MES: Toyota, Siemens, General Electric, Bosch. Впровадження MES управління виробництвом, попри значні переваги, супроводжується низкою проблем і викликів, які підприємство має врахувати на етапі планування та реалізації проєкту. Однією з основних труднощів є висока вартість установа системи: підприємству необхідно інвестувати не лише у програмне забезпечення та обладнання, але й у модернізацію інфраструктури, інтеграцію технічних рішень та адаптацію виробничих процесів. Такі вкладення можуть бути суттєвими, особливо для компаній із застарілими технологіями або складною структурою виробництва.

Ще одним важливим викликом є потреба у підготовці персоналу. Співробітники мають навчитися працювати з новими інструментами, інтерфейсами та методами контролю, що вимагає часу, ресурсів і часто залучення зовнішніх спеціалістів. Це нерозривно пов'язано з іншим поширеним бар'єром — опором змінам. Частина працівників може сприймати впровадження MES як загрозу своїй звичній роботі або як додаткове навантаження, що ускладнює перехід до нової моделі управління.

2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1. Виявлення дефектів металопрокату

У процесах прокатування листових заготовок металу поверхневі дефекти, зокрема сліди від валків та зморшки погіршують якість продукції, рис. 2.1. Один пошкоджений ролик може виробити тисячі метрів дефектного металопрокату, перш ніж проблему буде виявлено. На той час, як візуальний огляд виявить ці дефекти, значну частина матеріалу вже буде втрачено. Оптичний контроль на базі штучного інтелекту підвищує швидкодію та точність методів дефектоскопії та дефектометрії, виявляючи дефекти в режимі реального часу. Згідно з технологічними інструкціями, якість поверхні робочих та опорних прокатних валків після завершення всіх циклів шліфування оцінюється показником шорсткості R_a , виміряним відповідно до ISO 4288:1996:

- для робочих валків R_a не повинен перевищувати 0,63 мкм;
- для опорних валків R_a не повинен перевищувати 1,25 мкм.

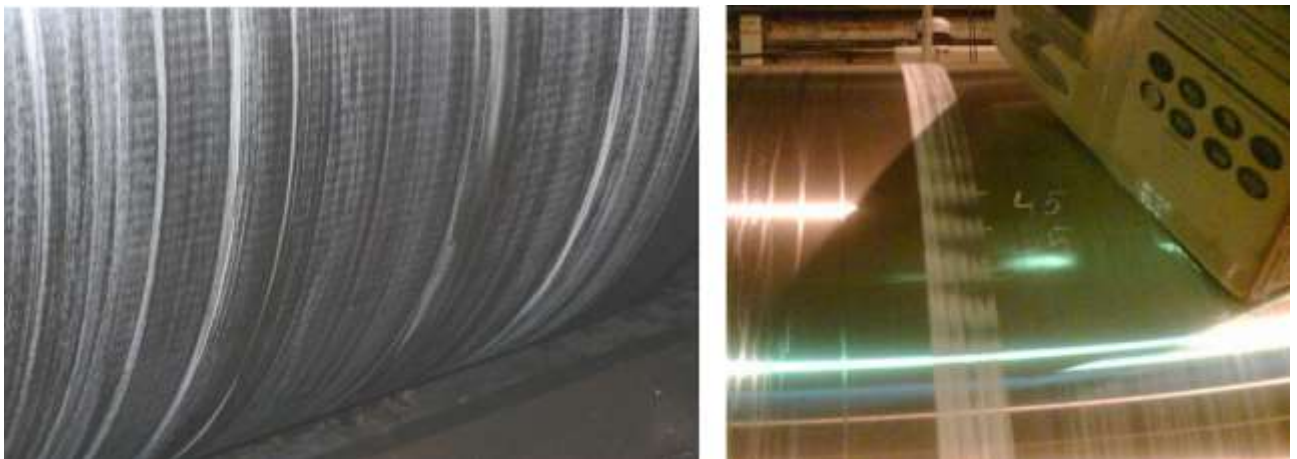


Рис. 2.1. Знімки поверхні прокатних валків під час діагностування періодичних дефектів робочої поверхні.

Під час прокатування виникають різні типи дефектів [67, 68, 69, 70]. Розуміння їх параметрів характеристик та причин виникнення є важливим для ефективного виявлення та запобігання:

Дефекти втискання

Періодичні вм'ятини на поверхні металу, спричинені нерівностями на робочій поверхні прокатного валка. Повторювані за геометрією заглиблення, що

відповідають дефектам ролика. Можуть бути поздовжніми (паралельними напрямку кочення) або поперечними (перпендикулярними).

Основні причини виникнення дефектів:

- пошкоджені або зношені поверхні роликів (сколи, вибоїни, візерунки зношування);

- сторонній матеріал, що налип на поверхню валка;

- теплове розширення створює нерівномірний діаметр валка;

- перекіс підшипників, що спричиняє вібрацію валків;

- недостатнє змащування, що призводить до переміщення металу.

Всі ці технологічні та експлуатаційні фактори знижують міцність матеріалу у важких випадках, призводить до бракування для застосування на поверхнях класу А та вказує на необхідність технічного обслуговування роликів.

Зморшки (дефекти вигину)

Хвилеподібні деформації або складки на поверхні металу, спричинені стискаючим напруженням, що перевищує опір матеріалу вигину. Ці дефекти властиві краям металопрокату (крайові зморшки), проте можливе їх виникнення й у центральній частині смуги (центральні зморшки).

Основні причини виникнення дефектів:

- нерівномірний розподіл товщини (проблеми з вигином/прогином);

- надмірне зменшення краю при контролі ширини;

- градієнти температури по ширині листа;

- проблеми з контролем натягу (недостатній натяг смуги);

- варіації властивостей матеріалу (різниця в межі текучості);

- надмірне зменшення товщини листа металопрокату за один прохід.

Цей дефект зумовлює непридатність металопрокату для більшості застосувань, спричиняє проблеми з подальшою обробкою (покриття, штампування). Наявність цього дефекту на поверхні листа свідчить про значні порушення технології прокатування, що потребують негайного виправлення, зокрема з використанням підходу ZDM, рис. 2.2.

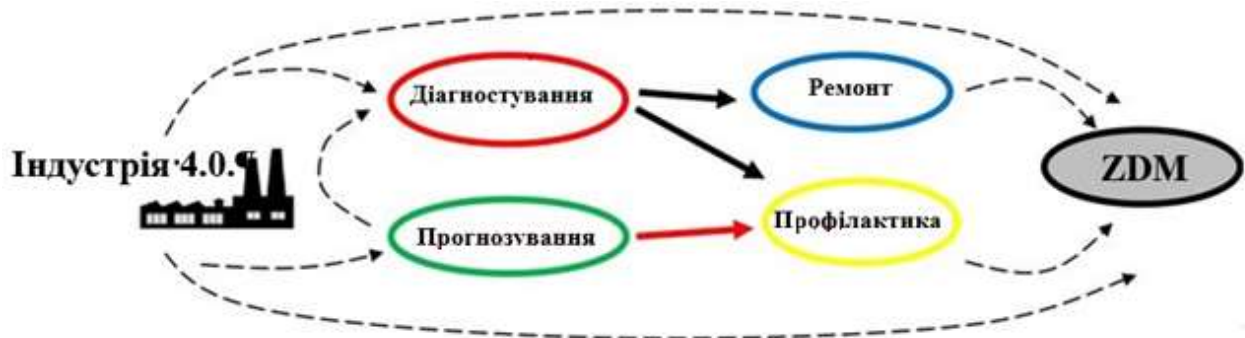


Рис. 2.2. Взаємозв'язок між підходами індустрії 4.0 та ZDM

Чому традиційні методи виявлення не працюють

Ручний та звичайний автоматизований контроль є ускладненими для швидкості сучасних прокатних станів та фізико-механічних особливостей дефектів, що виникають на ранніх стадіях зношення валків.

Ручний візуальний огляд

- невідповідність швидкості (важко провести перевірку на виробничих швидкостях понад 500 м/хв);
- періодичний відбір проб (відсутній контроль дефектів між контрольними вимірами);
- низька точність (сліди валків на ранніх стадіях зношення ледь помітні неозброєним оком);
- вплив втоми інспектора (монотонність перевірки зумовлює до пропущених дефектів);
- відсутність раннього попередження (дефекти виявляють лише після виробництва значної кількості матеріалу).

Системи технічного зору

- жорсткі пороги (важко адаптувати до звичайних коливань поверхні);
- хибнопозитивні результати (можуть відносити до дефектів нешкідливі варіації, що спричиняють непотрібні зупинки);
- складне програмування (вимагають ретельного налаштування для кожного класу матеріалу);
- обмеженість типів дефектів (не виявляють нові типи дефектів)

- чутливість до зовнішніх умов (зміни освітлення впливають на надійність виявлення дефектів);

Штучний зір: виявлення згортання та зморшок у режимі реального часу

Система машинного зору Overview.ai активно застосовує штучний інтелект на основі глибоких нейронних мереж безпосередньо на прокатній лінії, рис. 2.3.



Рис. 2.3. Компактні, універсальні розумні камери з інтегрованою обробкою на базі штучного інтелекту: OV10i Smart Camera (а), OV80i Vision System (High Performance / High Resolution) (б).

Ці камери, рис. 2.3 забезпечують безперервний 100% контроль на виробничих швидкостях. Основними перевагами таких систем є:

Адаптивне розпізнавання образів. На відміну від систем, побудованих за певними правилами, які визначають певні порогові значення, моделі штучного інтелекту вивчають різницю між допустимими варіаціями поверхні та справжніми дефектами:

Навчання, орієнтоване на аналізований матеріал. Моделі, навчають на певних марках сталі, алюмінієвих сплавах або інших металах, які є об'єктом діагностування.

Відстеження розвитку дефектів. Системи розпізнають дефекти на початкових стадіях зношення прокатного обладнання.

Аналіз структури. Виявлення дефектів, які є періодичними є вхідною інформацією для діагностування дефектності поверхні прокатного обладнання.

Багатомасштабність виявлення. Є можливість виявлення як малих так і великих дефектів поверхні.

Безперервний огляд по всій ширині смуги. OV80i можна налаштувати з кількома камерами для досягнення певної ширини смуги, зокрема й 100 %. Багатокамерні масиви перевіряють всю ширину смуги, включаючи краї, зі швидкістю знімання - 30 кадрів/с синхронно з швидкістю роботи прокатного стану, близько 500 метрів/хвилину. Сповіщення в режимі реального часу дозволяють негайно втручатися в процес прокатування.

2.1. Налаштування інспекції прокатного стану та програм MES

Впровадження візуального контролю за допомогою штучного інтелекту на прокатних станах відбувається за такою послідовністю:

1. Встановлення камер та дизайн освітлення

Критично важливий етап для ефективного виявлення дефектів. Об'єктиви камер розташовані над смугою з належною робочою відстанню, з метою забезпечення потрібної роздільної здатності. Освітлення розроблено для покращення видимості дефектів - спрямоване освітлення під низьким кутом для виявлення слідів від валків, розсіяне освітлення для виявлення зморшок.

2. Інтеграція системи управління

Підключіть OV80i до ПЛК верстатного обладнання через промислові протоколи (Ethernet/IP, Profinet, Modbus). Налаштуйте тригерні входи (сигнали енкодера для відстеження положення), виходи дефектів (тривоги, сигнали зупинки) та реєстрацію даних у системах SCADA/MES верстатного обладнання.

3. Навчання та калібрування моделі

Накопичені, під час виробничих циклів зображення, що охоплюють різні марки матеріалів та умов експлуатації використовують для навчання моделі. Позначають приклади якісної поверхні, слідів вальця, зморшок та інших типів дефектів. Точність перевіряють на основі тестового набору.

4. Перевірка та налаштування виробництва

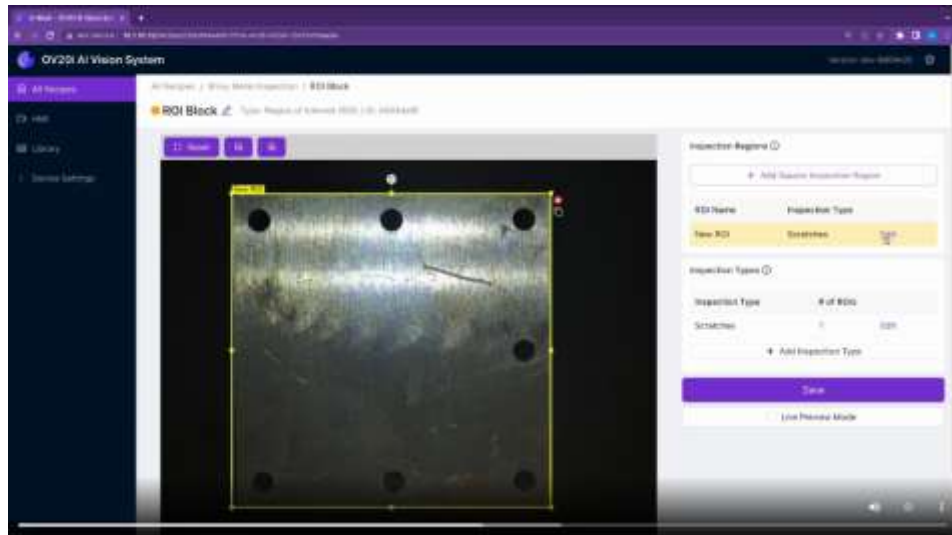
Проводять перевірку за допомогою штучного інтелекту паралельно з існуючими перевітками якості. Порівнюють результати виявлення за допомогою штучного інтелекту з результатами ручної перевірки та будь-якими відомими стандартами [71, 72, 73, 74]. Точно налаштовують чутливість виявлення, щоб збалансувати коефіцієнт виявлення та коефіцієнт хибно позитивних результатів. Навчають операторів прокатного стану користуватися системним інтерфейсом та реагувати на сповіщення.

5. Повністю автономна робота

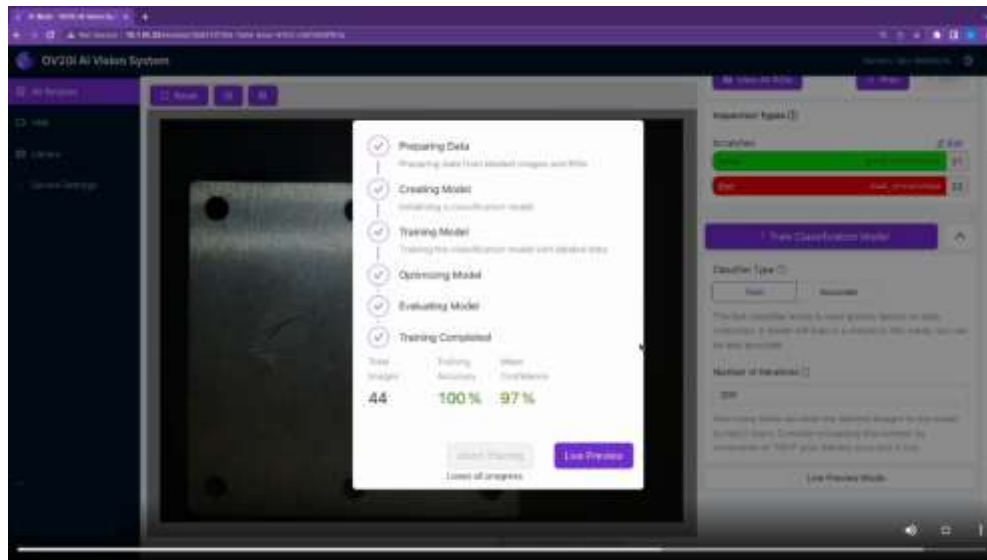
Найкращі практики для максимальної точності виявлення:

- *оптимізація освітлення*: використовують спрямоване освітлення під кутами 30-45 градусів для слідів від валків прокатних станів, більш розсіяне освітлення для зморшок та інших пошкоджень;
- *регулярне обслуговування камери*: умови експлуатації комбінатів є складними, тому, проводять щотижневе очищення камери та щомісячне калібрування для підтримки точності виявлення;
- *моделі, орієнтовані на певний матеріал*: навчають окремі моделі штучного інтелекту для різних марок матеріалів та обробок поверхні, щоб максимізувати точність у всьому асортименті продукції.
- *безперервне вдосконалення моделі*: проводять щотижневу перевірку хибнопозитивних результатів та пропущених дефектів, додавання даних до навчального набору даних та щоквартальне перенавчання моделі.
- *інтеграція з профілактичним обслуговуванням*: використовують дані про тенденції дефектів для планування перевірок та заміни роликів до виникнення катастрофічних поломок.

Перехід до автономного контролю в потоку з автоматичними діагностичними реакціями на процес [75, 76, 77]. Впровадження постійного вдосконалення моделі з використанням виробничих даних. Встановлення процедур технічного обслуговування для очищення камери та моніторингу стану системи забезпечує високу якість одержаних зображень, рис. 2.4.



а



б

Рис. 2.4. Приклади зображень та їх обробки з допомогою OV10i Smart Camera

2.2. Дефекти металопрокату та можливості налаштування технологічного обладнання з метою їх усунення/зменшення

Дефекти прокатного походження

Дефекти прокатного походження виникають безпосередньо в процесі деформації металу і тісно пов'язані з налаштуванням обладнання, станом валків та дотриманням технологічних параметрів.

Поверхневі дефекти

Дефект	Зовнішній вигляд	Глибина, мм	Причини	Способи усунення
Риски та подряпини	Поздовжні заглиблення з нерівними краями	0,1-0,5	Знос валків, дефекти арматури	Заміна валків, правка арматури
Закату-вання	Поздовжні складки на поверхні	0,5-2,0	Неправильне калібрування, переповнення калібру	Коригування калібрування, налаштування зазорів
Задири	Поглиблення з гострими краями	0,2-1,0	Надмірне тертя, недолік мастила	Поліпшення системи змащення
Відбитки валків	Нерівності, що повторюються	0,1-0,3	Дефекти поверхні валків	Переточування валків
Ряба поверхня	Скупчення дрібних заглиблень	0,05-0,2	Окалина на валках, забруднення	Очищення валків, поліпшення окарино-видалення

Геометричні відхилення форми прокату є порушення заданих розмірів та конфігурації профілю. Ці дефекти особливо критичні для точного прокату і можуть суттєво обмежити сферу застосування продукції.

Практичний приклад: При прокатуванні листа товщиною 10 мм різнотовщинність не повинна перевищувати $\pm 0,3$ мм згідно з ГОСТ 19903-2015. Перевищення цього допуску зумовлює перевитрату металу за подальшої механічній обробці і може спричинити проблеми при зварюванні.

Налаштування прокатних станів та її вплив на якість

Правильне налаштування прокатного стану є ключовим фактором отримання якісного прокату. Основні параметри налаштування включають зазори між валками, їх взаємне розташування, калібрування та регулювання приводу.

Основні параметри налаштування

Параметр	Допустимі відхилення	Вплив на якість	Метод контролю
Зазор між валками	$\pm 0,02-0,05$ мм	Точність розмірів, зусилля прокатування	Щупи, лазерні вимірники
Паралельність осей валків	$\pm 0,01$ мм/м	Рівномірність деформації	Оптичні системи
Співвісність валків	$\pm 0,03$ мм	Якість поверхні	Координатно-вимірювальні машини
Швидкість обертання	$\pm 1\%$	Стабільність процесу	Енкодери, тахометри

Розрахунок пружини кліті:

Пружина кліті M (мм) визначається за формулою: $M = P / C$

де P - зусилля прокатування (МН), C - жорсткість кліті (МН/мм)

Для кліті дуо-500: при $P = 10$ МН та $C = 500$ МН/мм $M = 10 / 5$

*Вплив неправильного налаштування на дефектність
смуги металопрокату*

Неточне налаштування прокатного стану призводить до різних видів дефектів. Кожен параметр налаштування має свій специфічний вплив на якість одержуваного прокату.

Перекіс валків на 0,1 мм може призвести до різної товщинності листа до 0,5 мм при прокатуванні смуги шириною 1500 мм. Це перевищує допустимі відхилення в 2-3 рази та робить продукцію непридатною для високоточних застосувань.

Температурні режими прокатування

Температурний режим є одним із критично важливих факторів, що визначають якість прокату. Правильний вибір температури нагріву та контроль температури в процесі прокатки дозволяють запобігти безлічі дефектів.

Оптимальні температурні режими

Марка стали	Температура нагрівання, °C	Температура кінця прокатки, °C	Можливі дефекти у разі порушення
Вуглецева (до 0,45% C)	1200-1250	850-900	Тріщини, нерівномірна структура
Низьколегована	1150-1200	900-950	Розшарування, підвищена твердість
Інструментальна (до 1,0%)	1100-1150	800-850	Знеуглецювання, загартовані

Марка стали	Температура нагрівання, °C	Температура кінця прокатки, °C	Можливі дефекти у разі порушення
			тріщини
Нержавіюча	1180-1220	950-1000	Міжкристалітна корозія

2.3. Використання MES та їх функціональні можливості

Відомо кілька програм MES які є широкоживаними для організації металургійного виробництва:

INVEX Metal ERP Software INVEX - це програмне забезпечення для планування ресурсів підприємства (ERP), розроблене спеціально для центрів обслуговування металургії, яке містить спеціалізовану платформу електронної комерції, адаптовану до вимог металургійної промисловості. Програмне забезпечення INVEX для металургії надає комплексний набір послуг властивих для металургії, рис. 2.5.



а



б



в



г

Рис. 2.5. INVEX-MRP, веб-додаток для планування потреб у матеріалах (MRP) для галузі металообробки

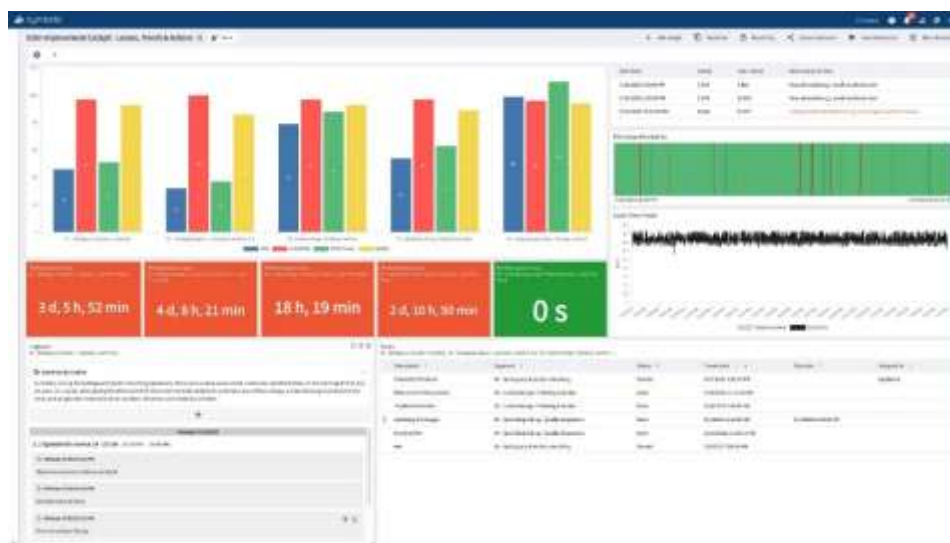
INVEX-MRP використовує алгоритми прогнозування, повністю інтегровані з даними в режимі реального часу з INVEX ERP, щоб забезпечити єдине джерело

достовірної інформації для планування та прийняття рішень щодо закупівель на основі даних.

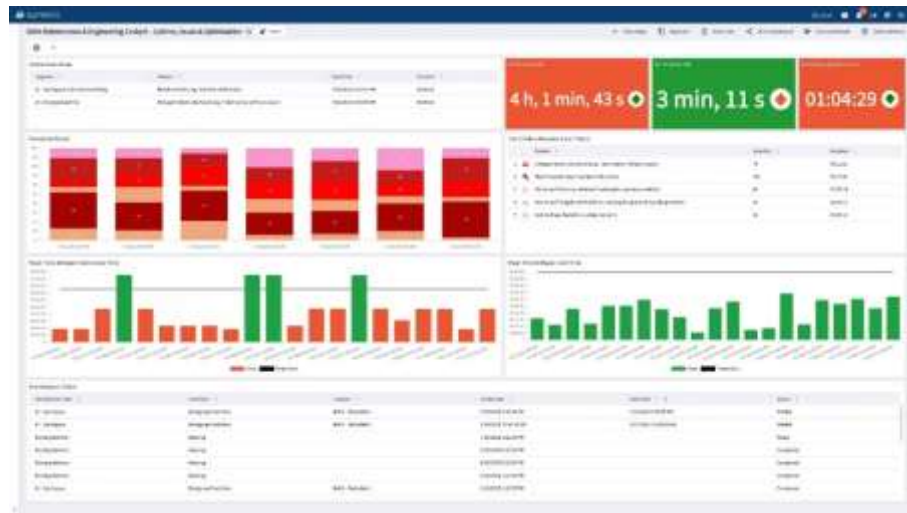
Сучасне програмне забезпечення MES забезпечує вимірну бізнес-цінність – покращуючи ОЕЕ, якість продукції та пропускну здатність, створюючи водночас пов'язане та гнучке виробниче середовище, рис. 2.6.



а



б



В

Рис. 2.6. Панелі програмного комплексу SYMESTIC

Панелі інструментів демонструють, як SYMESTIC перетворює виробничі дані на практичні висновки. Це робить систему управління виробництвом більше, ніж просто інструмент моніторингу - вона стає цифровим драйвером сучасного виробництва.

Відома хмарна CRM&ERP платформа LBS Cloud, яка має значну кількість бізнес-додатків, що допомагають реалізувати автоматизацію бізнес процесів в компанії.

LBS Cloud - сучасна CRM та ERP система, яка створена для бізнесів, що прагнуть зростання, прозорості та ефективності. Незалежно від розмірі підприємства, LBS Cloud надає гнучке рішення для керування продажами, виробництвом, фінансами, проєктами та взаємодією з клієнтами - все в одному інтерфейсі, рис. 2.7.

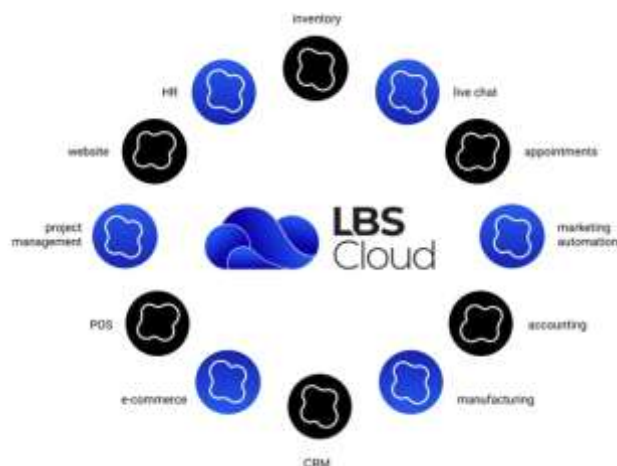


Рис. 2.7. Хмарна технологія Cloud - модульна екосистема MSE

На відміну від традиційних CRM чи ERP, LBS Cloud - це модульна екосистема, де модулі інтегровано між собою. Легко можна додати нові функції - від бухгалтерії до HR - без залучення розробників. Це забезпечує швидке масштабування, зменшення витрат і чіткий контроль над усіма бізнес-процесами.

3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1. Вибір елементів системи технічного зору

1. Вибір характеристик відеокамер, поля зору, технічних параметрів обладнання для відеозйомки

Поле зору

Визначте зону покриття камери на основі об'єктива та відстані

Модель камери
OV20i/OV10i

Линза
6-мм 5-кріплення

Робоча відстань (мм)
500

Розрахувати поле зору

Результати

Горизонтальне поле зору: 516,7 мм
Вертикальне поле зору: 387,5 мм

Технічні характеристики камери

OV20i/OV10i: 1408×1080 (1.6 MP), глобальний затвор, байонет 5, макс. 6 кадрів/с
OV80i: 3840×2160 (8.3 MP), Rolling Shutter, C-mount, макс. 6 кадрів/с

2. Вибір оптимального об'єктива

OVERVIEW Продукти ▾ Рішення ▾ Компанія ▾ Ресурси ▾

Вибір об'єктива

Знайдіть правильний об'єктив для вашого поля зору та робочої відстані

Модель камери
OV20i/OV10i

Монтажна відстань (мм)
500

Необхідне поле зору (мм)
300

Необхідне мінімальне горизонтальне поле зору

Знайдіть найкращий об'єктив

Варіанти об'єктивів

Варіанти об'єктивів		
Широке поле зору 6-мм S-кріплення Горизонтальне поле зору: 517 мм Кут огляду: 388 мм	✓ Найкращий збіг 8-мм S-кріплення Горизонтальне поле зору: 388 мм Кут огляду: 294 мм ✓ Потрібні відстані 300 мм	Вужче поле зору 12-мм S-кріплення Горизонтальне поле зору: 258 мм Кут огляду: 194 мм

3. Визначення точності відеозйомки та мінімального розміру дефекту, який можна визначити за прийнятих умов

 OVERVIEW

Продукти ▾
 Рішення ▾
 Компанія ▾
 Ресурси ▾

Мінімальний розмір дефекту

Розрахуйте найменший виявлений дефект за допомогою вашої установки

Модель камери

OV20/OV10 (1.6 МП) ▾

Поле зору (мм)

300

Розрахувати мінімальний розмір дефекту

Можливість виявлення

Розмір пікселя: 0,213 мм/піксель

Мінімальний виявлений дефект: **0,639 мм**

* Розраховано на основі мінімум 300 пікселів для надійного виявлення

4. Уточнення монтажних відстаней, з метою забезпечення необхідних умов відеозйомки

Монтажна відстань

Розрахуйте оптимальну відстань кріплення камери для вашого застосування

Модель камери

OV20/OV10 ▾

Поле зору (мм)

300

Розрахувати відстань

Рекомендовані параметри

6-мм S-кріплення
 Кріплення на: 290 мм

8-мм S-кріплення
 Кріплення на: 387 мм

12-мм S-кріплення
 Кріплення на: 581 мм

16-мм S-кріплення
 Кріплення на: 774 мм

25-мм S-кріплення
 Монтаж на висоті: 1210 мм

5. Визначення гранично допустимих швидкостей прокатування, за яких відеозйомка поверхні металопродукату буде забезпечувати задану точність дефектоскопії та дефектометрії

The screenshot shows the 'OVERVIEW' web application interface. At the top, there is a navigation bar with the 'OVERVIEW' logo and links for 'Продукти', 'Рішення', 'Компанія', and 'Ресурси'. Below the navigation bar, the main heading is 'Максимальна швидкість деталі' (Maximum detail speed), with a subtitle 'Знайдіть максимальну швидкість для контролю дискретних деталей' (Find the maximum speed for controlling discrete details). The form contains several input fields: 'Модель камери' (Camera model) with a dropdown menu showing 'OV20i/OV10i (глобальна затворна камера)'; 'Тип перевірки' (Check type) with a dropdown menu showing 'Безперервна перевірка'; 'Поле зору (мм)' (Field of view (mm)) with a text input field showing '300'; 'Перекриття кадрів (%)' (Frame overlap (%)) with a text input field showing '50'; 'Технічне удовільнення 23%' (Technical enlargement 23%); 'Допуск розмірної руху (мм)' (Dimensional movement tolerance (mm)) with a text input field showing '0.1'; and a footer note 'Технічне: Показання найменшого дефекту, який ви можете помітити'.

3.2. Аналіз вимог та доступності даних

Як згадувалося в розділах 1,2, для підвищення ефективності виробництва функція MES для аналізу ефективності виробництва заводу є основним фокусом області пакування в цьому випадку використання. Технічна ефективність (ES), визначена в DIN 8743, вважалася основним показником ефективності. Прокатний стан вважали основним механізмом на етапі збору даних. Дані щодо загальної тривалості збору даних (з тегом даних «Смуга металева»), якості продукції, придатної для продажу, всієї лінії прокатування (з тегом даних «Тривалість»), встановленої продуктивності машини лиття (з тегом даних «Тривалість») та тривалості її простою повинні бути задокументовані. Теги даних з префіксом «Смуга металева» – це теги, визначені в стандарті ГОСТ 19903-74. Оскільки в цьому випадку не визначено тег даних, який би фіксував тривалість події, для цього випадку використання було створено префікс тегу «Р», що означає ефективність виробництва. Дані збиралися протягом тижня, протягом 8 годин

щодня. В результаті отримані дані зберігалися в банку даних, який слугував основою для обробки MES.

Модельовання MES

Для аналізу ефективності виробництва, згідно з DIN 8743, не потрібно надавати інформацію про процес. Тому в цьому випадку використання модель процесу не створюється. Технічні системи, що беруть участь у лінії прокатування смуги, моделюються в моделі заводу. Відповідно до типу отриманих даних, точки даних, що вказують на доступність даних, призначаються рівню лінії прокатного стану (Смуга металева, Довжина) та машині для розливу та на рівні Шестеренної кліті (Смуга металева, довжина). На рис. 3.1. показано модель заводу.



Рис. 3.1. Модель заводу прокатування смуги металевої

Для аналізу ефективності виробництва необхідні основні функції для математичного віднімання, множення, ділення та обчислення часу роботи, а також часу нетехнічних втрат. На рисунку представлено модель функції MES.

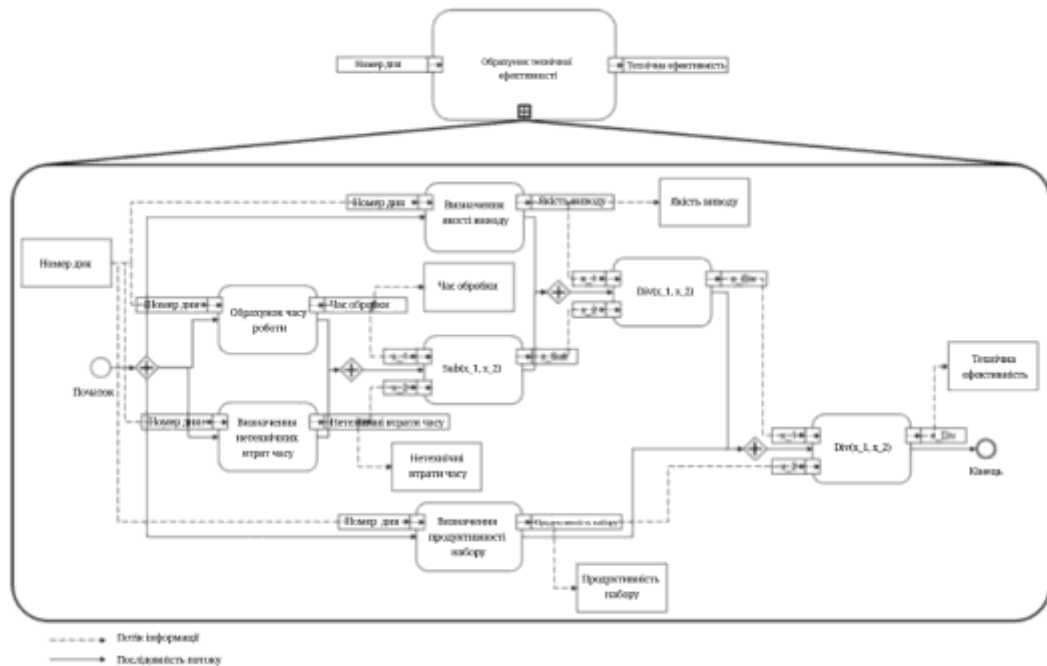


Рис. 3.2. Модель функций MES для анализа эффективности металлургического производства

Як визначено в мета моделі розширеного MES-ML, модель звіту містить один елемент звіту для представлення результату функції MES «Розрахунок технічної ефективності» у текстовому форматі. Модель звіту включає вхідні параметри, необхідні для виконання обробки даних цієї функції MES, та її результат як вихідний параметр, і показано на рис. 3.3.

Елемент Звіту

Назва:

Технічна ефективність

Тип елемента звіту:

Технічна ефективність

Посилання на елемент звіту:

☒ Завдання MES
 ☐ Постійне значення

Пов'язане MES завдання:

Обрахунок технічної ефективності

Зберегти X

Ввід

Номер дня:

<Номер>

Вивід

як Вивід

Час роботи

☒

Якість результату

☒

Не технічні втрати часу

☒

Продуктивність набору

☒

Технічна ефективність

☒

Рис. 3.3. Модель звіту для аналізу ефективності металлургического производства

Застосування MES

Щодо моделі функції MES, у області введення є один параметр, який призначається кінцевим користувачем, а саме номер дня збору даних. Відповідно до номера дня, час роботи, якість виводу, час нетехнічних втрат, встановлена продуктивність та результуюча технічна продуктивність відображаються у області виводу, рис. 3.4.

Звіт з параметрами	
Технічна ефективність	
Execute MES Function	
Область вводу Номер дня	
Область виводу	
Продуктивність набору	
Якість виводу	
Час обробки	
Нетехнічні втрати часу	
Технічна ефективність	

Звіт	
Технічна ефективність	
Область вводу Номер дня	2
Область виводу	
Продуктивність набору	14995
Якість виводу	95381
Час обробки	28962
Нетехнічні втрати часу	1152
Технічна ефективність	82.6

Рис. 3.4. Звіт MES щодо ефективності виробництва лінії прокатування смуги металеві

Оцінювання

Ефективність запровадження MES оцінювали за допомогою поданого нижче підходу. На основі двох варіантів використання було підтверджено доцільність цього модельно-орієнтованого підходу до проєктування настроюваної MES. Процедури для реалізації основних функцій та процедури для встановлення зв'язків основних функцій у генераторі MES повинні бути запрограмовані заздалегідь. З іншого боку, наступні кроки для перетворення інформації та генерації MES були виконані автоматично після створення моделі. Зусилля на програмування та налаштування для проєктування MES можуть бути зменшені завдяки впровадженню цього підходу.

Стандартна інформаційна модель, стандарт ДСТУ 9129:2021, забезпечує сумісність інформаційного потоку та обміну даними під час перетворення текстових вимог на графічну модель, а потім на програмно-читабельну специфікацію та операційну MES. Однак, оскільки частини точок даних не були стандартизовані, сумісність основних функцій, а отже, і функцій MES, може бути не задоволена. Поряд з подальшим розвитком стандарту ДСТУ 9129:2021, який повинен містити точки даних, що охоплюють вимоги до обміну даними в різних областях, можна покращити узгодженість даних та сумісність усього модельно-орієнтованого підходу.

У цьому підході також розглядали вдосконалення MES, за якого додаткові функції MES можуть бути інтегровані в уже існуючу MES для виконання нових вимог. Для оновлення MES слід модифікувати лише моделі на етапі моделювання, оскільки подальші фази можуть виконуватися автоматично. У першому випадку використання оригінальна MES використовувалася для розрахунку споживання енергії, пов'язаного з певним процесом. Модель функцій MES та модель звіту були розширені більш базовими функціями та параметрами у вхідній та вихідній областях, тоді як модель установки та модель процесу залишилися незмінними. Після вдосконалення MES змогла одночасно розраховувати споживання енергії двома вибраними процесами та повертати значення споживання кожного процесу, а також загальне споживання енергії. Як результат, представлений підхід забезпечує стійкість інженерного процесу.

Цей модельно-орієнтований підхід було застосовано до металопрокатного виробництва. Успішне застосування та варіації з реальними виробничими даними продемонстрували життєздатність представленого підходу до проєктування MES, який потребує налаштування. Однак, проєктування MES, яка може реалізувати функції MES у режимі реального часу за допомогою цього підходу, ще потребує перевірки, оскільки обидві MES базуються на обробці історичних виробничих даних. Функції реального часу, такі як планування операцій, відстеження продукції та управління якістю, також є основними напрямками MES. Таким чином, застосування представленого підходу слід розширити для реалізації

функцій MES у режимі реального часу. Крім того, слід визначити та впровадити більш базові функції, щоб застосувати цей модельно-орієнтований підхід у ширшому діапазоні, не лише в харчовій промисловості та напоях, але й в інших галузях, щоб оцінити сумісність представленого підходу.

У кваліфікаційній роботі розроблено модельно-орієнтований підхід до проектування настроюваних MES у металургійній промисловості.

Він містить складається VI етапів:

- первинний аналіз вимог до MES;
- моделювання MES за допомогою графічної мови моделювання з чотирьох компонентів моделі;
- специфікація графічної інформації в таблиці банку даних, що читаються програмним забезпеченням;
- автоматична генерація MES на основі специфікації;
- застосування MES для виконання конкретних сценаріїв;
- вдосконалення прийнятої MES з урахуванням нових вимог.

Завдяки цьому підходу MES може бути згенерована автоматично після моделювання MES. Цей підхід зменшив складність впровадження MES щодо програмування та налаштування. Оскільки виробники харчових продуктів та напоїв здебільшого є малими та середніми підприємствами з обмеженими ресурсами для інвестування у впровадження MES, цей підхід розглядається як рішення, яке обіцяє принести користь виробникам у цьому секторі.

Основна увага в цій статті була зосереджена на перевірці доцільності та практичності представленого підходу за допомогою його варіантів використання, один з яких стосується сфери переробки, а інший — сфери пакування, що є двома важливими сферами харчової промисловості та виробництва напоїв. У першому випадку використання MES була створена для аналізу споживання енергії, пов'язаного з технологічним процесом, в операційному залі молочного заводу. У другому випадку використання MES була зосереджена на аналізі технічної ефективності лінії розливу пива в цеху розливу пивоварні. Вимоги двох варіантів використання були виконані за допомогою створеної MES з використанням

представленого підходу. Крім того, рішення MES можна вдосконалити, щоб реагувати на нові вимоги. В результаті було показано, що представлений модельно-орієнтований підхід може бути використаний для проєктування MES, що відповідає різним вимогам, до яких слід налаштувати створену MES.

Також планується проаналізувати вимоги інших галузей та визначити більш базові функції для створення функцій MES, які відповідають їхнім вимогам, щоб представлений тут підхід також міг широко застосовуватися. Крім того, важливі функції MES реального часу будуть предметом подальшого розвитку, щоб забезпечити модельно-орієнтований підхід з вищою сумісністю для створення MES.

Класифікація та локалізація дефектів.

Система не просто виявляє дефекти, вона надає корисну інформацію:

- ідентифікує тип дефекту: розрізняє сліди від вальцювання, зморшки, подряпини, ямки та інші дефекти поверхні;
- картографує місцезнаходження: повідомляє про положення дефекту (поперечне і поздовжнє) для цілеспрямованого аналізу;
- класифікує ступінь тяжкості: дефекти класифікуються як незначні, помірні або тяжкі залежно від розміру та глибини;
- частота виникнення: відстежує періодичність слідів котка для виявлення конкретних пошкоджених роликів;
- аналіз тенденцій: аналізує, чи зростає частота дефектів, що свідчить на розвиток проблем з обладнанням.

Інтеграція з операціями прокатування

Максимальну цінність отримуємо від інтеграції візуального контролю зі штучним інтелектом із системами керування прокатним станом для автоматизованого реагування:

Негайне реагування на дефекти. При виявленні серйозних дефектів система запускає аварійну зупинку через інтеграцію з ПЛК, запобігаючи подальшому виробництву бракованого металопрокату. Налаштовуванні порогові значення дозволяють операторам збалансувати пропускну здатність з вимогами до якості.

Маркування та відстеження дефектів. Місця дефектів, позначені на карті катушок для подальшої обробки. Забезпечує автоматичне обрізання дефектних секцій або перенаправлення на потоки продукції нижчого ґатунку, мінімізуючи загальні відходи.

Моніторинг стану валків. Періодичні сліди від втискання вказують на те, який саме ролик пошкоджений. Система сповіщає команду технічного обслуговування, надаючи ідентифікатор ролика та рекомендовану перевірку/заміну, що дозволяє проводити прогнозне технічне обслуговування, а не заміну.

Оптимізація параметрів процесу. Для дефектів, спричинених параметрами процесу, а не пошкодженням обладнання, система надає рекомендації щодо коригування натягу, температури та обтиснення, щоб усунути джерело дефекту.

У подальшій роботі, відповідно до результатів цієї оцінки, планується співпраця з робочою групою стандарту ДСТУ 9129:2021 для визначення більшої кількості точок даних, що відповідають різним функціям MES, та досягнення кращої інтеграції стандарту ДСТУ 9129:2021 в модельно-орієнтований підхід.

3.3. Рентабельність інвестицій (ROI) від впровадження MES

Розглянемо аналіз рентабельності інвестицій (ROI) MES, які фактори враховувати та як покращення загальної ефективності обладнання (OEE) впливає не лише на економію, але й на зростання доходів.

1. Розуміння рентабельності інвестицій у MES-проекти

ROI (рентабельність інвестицій) – це фінансовий дохід, отриманий від інвестицій, виражений у відсотках від загальної вартості інвестицій.

Основна формула для визначення цього параметра:

$$ROI = \left(\frac{\text{Загальний прибуток} - \text{Інвестиційні витрати}}{\text{Інвестиційні витрати}} \right) \times 100\%$$

У проєктах MES «Загальний приріст» повинен включати:

- економію коштів завдяки підвищенню ефективності;

- збільшення доходів завдяки вищому обсягу виробництва.

Обидва елементи є важливими. Багато досліджень рентабельності інвестицій зосереджено лише на операційній економії, але MES також дозволяє розширювати потужності без додавання нового обладнання - основне джерело зростання прибутку.

2. Основні фінансові переваги від впровадження MES

A. Економія коштів

MES безпосередньо знижує експлуатаційні витрати шляхом:

- Мінімізація простоїв шляхом аналізу першопричин
- Зменшення браку та переробки завдяки ранньому виявленню дефектів
- Зменшення ручного введення даних та паперової роботи
- Забезпечення більш гнучких структур праці
- Уникнення перевиробництва та застарівання запасів

Ця економія є негайною та вимірною, особливо коли базові дані доступні до впровадження.

B. Зростання доходів завдяки збільшенню пропускнуї здатності

Одним із найбільш недооцінених, але потужних ефектів MES є збільшення обсягу продукції, придатної для продажу, з тих самих ресурсів.

OEE (загальна ефективність обладнання) - це фундаментальний показник для оцінки ефективності прокатного стану, виробничої лінії або навіть вашого виробничого цеху в цілому. Виражений у відсотках, він варіюється від 0 до 100%: оцінка 100% вказує на повністю працездатне обладнання, тоді як оцінка 0% означає, що не було виготовлено жодної якісної деталі.

За стандартом NF E60-182, коефіцієнт робочої сили (OEE) визначають як співвідношення між корисним часом та необхідним часом. Іншими словами, він вимірює відсоток часу, витраченого на виробництво якісних деталей з проектною швидкістю, порівняно з часом, коли обладнання було доступне для виробництва.

Спрощений калькулятор: онлайн-розрахунок OEE.

Відповідні продукти: 3

Всього товарів: 3

Фактичний час циклу (у хвиликах): 1440

Теоретичний час циклу (у хвиликах): 1300

Фактичний час виробництва (у годинах): 23

Час роботи (у годинах): 24

Розрахувати

Показник якості (QR): 100,00%

Показник продуктивності (PR): 90,28%

Операційна доступність (OAV): 95,83%

Загальна ефективність обладнання (OEE): 86,52%

Фактичний час циклу (у хвиликах): це середній час, який витрачається для виробництва продукту або завершення виробничого циклу. На цей час можуть впливати такі фактори, як зупинки (якщо машина зупиняється на певний період часу) або втрати продуктивності (якщо машина працює повільніше, ніж очікувалося, через мікрозупинки або збої).

Теоретичний час циклу (у хвиликах): це ідеальний або очікуваний час для виробництва продукту без будь-яких перерв або неефективності. Це був би час циклу, якби не відбулося заплановане зупинення, організований збій або зміна серії.

Фактичний час виробництва (у годинах): це загальний час, протягом якого фактично відбувалося виробництво, враховуючи поломки та організовані несправності. Наприклад, якщо ви розпочали 8-годинний робочий день, але мали 1 годину поломок та 1 годину навчання (організована дисфункція), фактичний час виробництва становитиме 6 годин.

Час роботи (у годинах): Це загальний час, запланований на виробництво, без урахування будь-яких зупинок або перерв. Це включає час роботи, заплановані зупинки та будь-який інший час, протягом якого теоретично може відбуватися виробництво.

3. Структурна модель рентабельності інвестицій MES

Щоб створити повну та достовірну модель рентабельності інвестицій (ROI) для MES, розділіть її на три компоненти:

Category	Metric Example	Financial Impact Type
Efficiency Gains	Reduced downtime, faster changeovers	Cost savings
Quality Improvements	Less scrap, early defect detection	Cost savings
Productivity Boost	Increased OEE → More sellable units	Revenue increase

Потім скористайтесь наступною формулою:

$$ROI = \left(\frac{\text{Річна екон. коштів} + \text{Щорічне зрост. доходів} - \text{Річні витрати на MES}}{\text{Загальний обсяг інвестицій у MES}} \right) \times 100\%$$

- Річна економія коштів → Експлуатаційна ефективність: менше простоїв, менше браку, менше робочих годин
- Щорічне зростання доходу → Більше обсягу продажу завдяки вищому показнику OEE / пропускну́ї здатності
- Річна вартість MES → Постійна ліцензія на програмне забезпечення або плата за хмарну підписку
- Загальні інвестиції в MES → Усі одноразові витрати: налаштування програмного забезпечення, обладнання, інтеграція, навчання тощо.

Це дозволяє вам показати обидва:

- Як швидко MES-система окупається (термін окупності)
- Яку фінансову цінність це створює з часом (5-річна рентабельність інвестицій)

4. Що включити до інвестиційних витрат на MES

Ваш аналіз рентабельності інвестицій повинен враховувати всі початкові та поточні витрати:

- Ліцензії MES (передплата або одноразові)
- Впровадження та налаштування

- Апаратне забезпечення (панелі, карти IoT, датчики)
- Інтеграція з ERP або ПЛК
- Навчання та підтримка
- Технічне обслуговування та оновлення

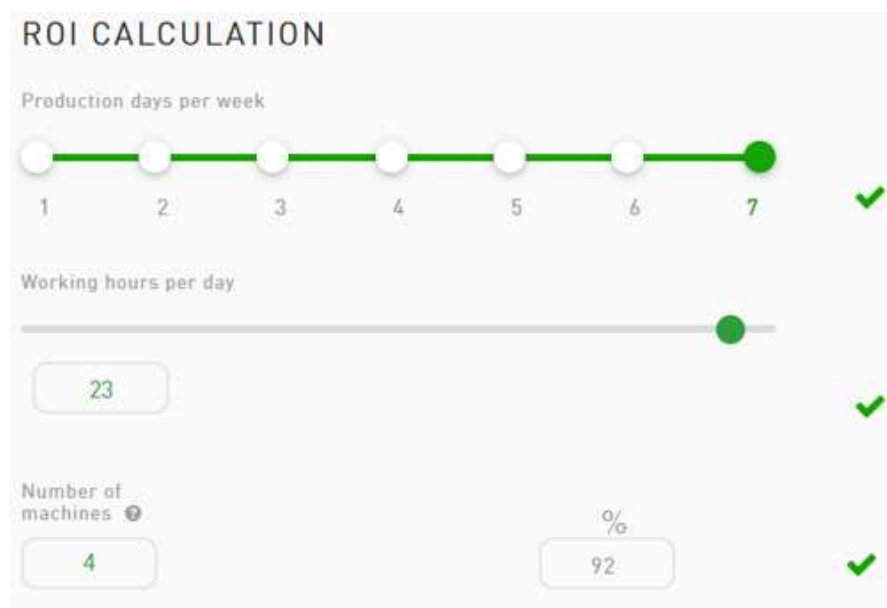
Поточні операційні витрати (наприклад, хмарний хостинг або щорічна плата за підтримку) слід враховувати, якщо аналізуватиметься багаторічна рентабельність інвестицій.

5. Типовий графік окупності інвестицій у MES-проекті:

S

Year	Key Events	ROI Contribution
Y1	MES installation, basic real-time monitoring	Early savings from downtime reduction
Y2	Operator tracking, quality alerts, job sequencing	Higher output, fewer defects
Y3	Full adoption, data-driven decisions	Optimized scheduling and OEE gains
Y4+	Expansion to more lines/plants	Compounding returns and revenue growth

Більшість виробників досягають точки беззбитковості протягом 6-18 місяців і досягають 3-10-кратного збільшення рентабельності інвестицій протягом п'яти років.



6. Поради щодо створення достовірного звіту про рентабельність інвестицій

- Використовуйте консервативні припущення (наприклад, продано лише 50% додаткової потужності)
- Еталонні показники OEE, браку, простоїв до та після MES
- Сегментна рентабельність інвестицій за категоріями (економія проти доходу)
- Включайте як матеріальні, так і нематеріальні переваги (наприклад, відповідність вимогам, відстежуваність)
- Підкресліть потенціал масштабованості, якщо плануєте розширити MES на кілька об'єктів

Розрахунок рентабельності інвестицій (ROI) для MES-рішення виходить за рамки вимірювання того, скільки ви заощаджуєте — це те, наскільки більше ви можете виробляти, продавати та масштабувати, не збільшуючи свою зайняту територію.

За умови правильної структури, аналіз рентабельності інвестицій у MES стає стратегічною дорожньою картою:

- Це показує, як MES покращує фінансові показники
- Це обґрунтовує інвестиційні рішення для зацікавлених сторін
- Він ставить реалістичні цілі для постійного вдосконалення

Укрупнений техніко-економічний розрахунок

Збереження витрат та покращення якості

Сталепрокатні підприємства, що впроваджують візуальний контроль за допомогою штучного інтелекту, зазвичай досягають рентабельності інвестицій протягом 3-6 місяців:

Зниження прямих витрат

- зменшення браку: зменшення браку, пов'язаного з дефектами, на 70-90%
- запобігання зниженню якості: виявлення дефектів до того, як матеріал буде понижено до продукції нижчої вартості
- усунення необхідності повторної роботи (виправлення браку): виявлення в режимі реального часу запобігає необхідності подальшої повторної роботи;

- зменшення рекламаций: зменшення повернень та рекламаций, пов'язаних з якістю, 95%.

Операційні покращення

- прогнозоване технічне обслуговування: раннє виявлення пошкоджень валків прокатних станів запобігає катастрофічним поломкам;
- зменшення часу простою: менше аварійних зупинок та швидша діагностика проблем;
- перерозподіл робочої сили: інспектори якості зосереджуються на вирішенні проблем, а не на плановому перевірці;
- оптимізація процесу: коригування параметрів на основі даних покращує загальну якість.

Тематичне дослідження: Великий виробник сталі

Провідний сталеливарний завод впровадив візуальний контроль за допомогою штучного інтелекту на своїй лінії гарячого прокату, що обробляє 100000 тонн щомісяця:

2,4 млн доларів США (станом на 15.12.2025) = $2,24 \times 42,26 = 94,66$ грн.

- щорічне скорочення браку;
- менше зупинок, пов'язаних з перегортанням: 85%;
- період досягнення рентабельності інвестицій 4,2 місяці.

Технічні характеристики

- роздільна здатність: 8 МП на камеру (до 80 МП для кількох камер)
- мінімальний розмір дефекту: 0,5 мм на робочій відстані 1 м;
- частота кадрів: 30 кадрів/с безперервна зйомка;
- поле зору: налаштовуване охоплення шириною 500–3000 мм;
- освітлення: інтегровані світлодіодні матриці, регульована інтенсивність;

Промислова інтеграція

- протоколи: Ethernet/IP, Profinet, Modbus TCP, MQTT
- введення/виведення: цифрові входи (енкодер, тригери), цифрові виходи (сигнали тривоги)

- навколишнє середовище: клас захисту IP40-IP67, експлуатація при температурі 0-45°C
- обробка: NVIDIA Orin NX edge AI, без залежності від хмари
- інтерфейс: налаштування та моніторинг на основі браузера.

4. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

Багато проблем, пов'язаних з якістю зображення, полягають у неправильному або неоптимальному налаштуванні камери для застосування в різних умовах спостереження. Наприклад, всепогодна вулична камера розрахована на роботу як при денному світлі, так і в сутінках. Відповідно, і функціями така камера має досить широкі, і при неправильному налаштуванні такої камери цілком можливий випадок, коли камера не буде оптимально налаштована ні для роботи вдень, ні вночі.

Взагалі кажучи, можливості камери багато в чому залежать від процесора. Своєрідним «посередником» між процесором і користувачем є екранне меню камери (OSD, розшифровується як “On Screen Display”). Всі камери з функцією OSD дозволяють налаштовувати типові параметри (яскравість, контрастність, баланс білого і т.д.), так і активувати додаткові функції, що розширюють загальноприйняті можливості телекамери, такі як: налаштування BLC (компенсація заднього засвічення), багатозонний детектор руху, маски, що настроюються, і т.д. Саме маніпуляцією налаштуваннями цього меню ми можемо керувати роботою процесора камери, і їх зміна багато в чому визначає якість зображення.

Аналіз зображення певного розміру потребує уточнення кількох параметрів:

- робочої відстані, добо відстані від камери то аналізованої смуги;
- поля зору : цей параметр залежить від того, наскільки широку площу потрібно оглянути;
- розміру смуги металопрокату: зона контролю має бути достатньою;

Для вибору поля зору (FOV) слід скористатися даними рис 4.1, який ілюструє значення ширини поля зору (FOV) на різних відстанях:

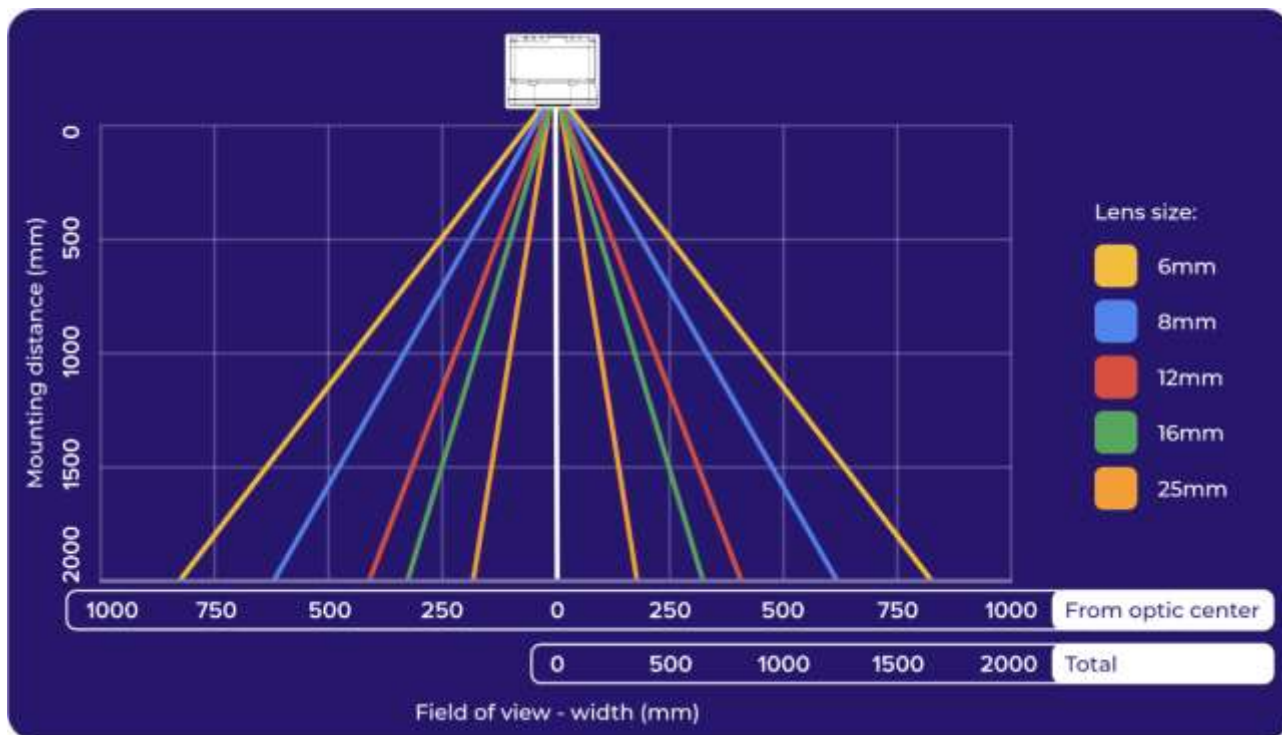


Рис. 4.1. Значення ширини поля зору (FOV) на різних відстанях від камери

Попередньо виберемо технічні характеристики камери:

- співвідношення сторін: 4:3
- висота поля зору: ширина $\times 0,75$
- стандартний об'єктив: 12 мм (постачається з камерою)

Для оперативного розрахунку можна скористатися онлайн-калькулятором для камери OV20i, який забезпечує точні розрахунки поля зору (FOV) на основі заданої у проєкті монтажної відстані та вимог до об'єктива.

Наступним кроком є налаштування параметрів зображення та освітлення на OV20i для досягнення оптимальної якості контролю. Він включає налаштування фокусування, експозиції, освітлення та режиму запуску.

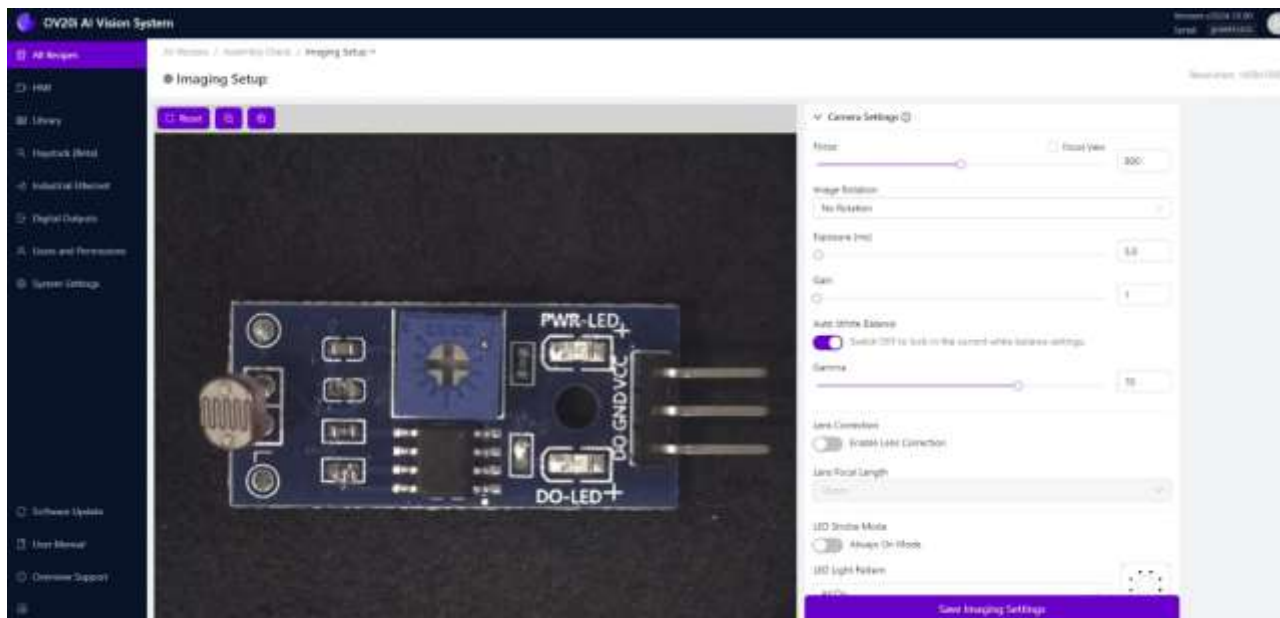


Рис. 4.1. Панель програми налаштування камери

Панель програми налаштування камери забезпечує попередній перегляд у реальному часі та масштабування:

- панель попереднього перегляду (ліворуч) відображає зображення з камери OV20i в реальному часі;
- має інструменти «Збільшити/зменшити» (угорі ліворуч) або коліщатко миші, щоб налаштувати збільшення попереднього перегляду;
- має функцію «Скинути або змінити сторінки», щоб повернути масштаб до налаштувань за замовчуванням. Слід відзначити, що масштаб впливає лише на екранне відображення, а не на фактичне поле зору камери.

Під час налаштування камери є можливість регулювати кілька параметрів, табл. 4.1.

Таблиця 4.1. Налаштування камери

Налаштування	Опис
Фокус	Налаштуйте за допомогою повзунка або числового введення. Рухайтесь ліворуч для ближчих об'єктів, праворуч для віддалених.
Фокусний вид	Увімкнути виділення країв та відображення показника

Налаштування	Опис
	фокусування (угорі праворуч). Вищий показник = чіткіший фокус.
Обертання зображення	Повернути вигляд (180°) відповідно до орієнтації користувача. Не впливає на дані моделі.
Експозиція (мс)	Встановлює час затвора. Вищий = яскравіше зображення, але більше розмиття від руху.
Посилення	Цифрове освітлення зображення. Використовуйте обережно, щоб уникнути шуму.
Автоматичний баланс білого	Увімкнено за замовчуванням. Автоматичне налаштування кольорів. Вимкніть перед збереженням налаштувань зображення.
Гамма	Налаштуйте контрастність зображення безпосередньо з сенсора камери.
Корекція об'єктива	Увімкніть та виберіть фокусну відстань для компенсації дисторсії об'єктива.

ISO контролює кількість світла, яке пропускає ваша камера, а отже, наскільки темними або світлими будуть ваші фотографії. Ось кілька основних порад, які допоможуть правильно розрахувати експозицію:

- низькі значення, наприклад ISO 100, найкраще підходять для зйомки на відкритому повітрі під сонячним світлом;
- для зйомки вночі або в приміщенні з тьмяним освітленням слід використовувати ISO 1600 або вище;
- слід зберігати значення ISO якомога нижчим, щоб мінімізувати зернистість і шум;
- за наявності рухомого об'єкта слід поєднати високе значення ISO із високою швидкістю затвора.

Окремі аспекти налаштування освітлення узагальнено у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2. Налаштування освітлення

Варіант освітлення	Опис
Режим світлодіодного стробоскопа	Якщо цей режим увімкнено, світлодіоди блимають лише під час зйомки зображення. Якщо вимкнено, світлодіоди горять постійно (рекомендовано під час налаштування).
Світлодіодний візерунок	Виберіть, які квадранти світлодіодів активні: лівий, правий, верхній, нижній або їх комбінації.
Інтенсивність світлодіодного світла	Налаштуйте яскравість вбудованого світлодіода за допомогою повзунка або поля введення.

Фотометричний контроль

Фотометрія – сукупність оптичних методів і засобів вимірювання фотометричних величин світлового потоку. Фотометричний контроль дозволяє покращити зображення на складних поверхнях, таких як рельєфні, текстуровані або відбиваючі деталі.

- OV20i знімає кілька зображень з різними кутами освітлення.
- композитний елемент створюється для зменшення тіней та покращення видимості об'єктів.

Таблиця 4.3. Налаштування фотометричного контролю

Варіант	Опис варіантів
Послідовність	Ліворуч+Праворуч, Вгорі+Внизу, З усіх боків.

Налаштування тригерів

На основі вибраного спосіб зйомки зображення можна вибрати низку налаштувань, табл. 4.4.

Таблиця 4.4. Налаштування тригерів

Тип тригера	Опис
Ручний тригер НМІ	Використайте кнопку «Захоплення» на сторінці НМІ. Рекомендовано під час налаштування.
Апаратний тригер	Запуск через фізичний вхід (кнопка, датчик тощо).
Тригер ПЛК	Запуск через цифровий сигнал від ПЛК. Потрібне налаштування Ethernet/IP або PROFINET.
Інтервальний тригер	Автоматично знімає через фіксований інтервал часу.
Тригер вирівнювача	Захоплення відбувається лише тоді, коли блок вирівнювання виявляє збіг.

У режимах запуску ПЛК та апаратного запуску попередній перегляд у реальному часі вимкнено. Використовують ручний тригер НМІ під час налаштування та тестування. При цьому, натискають кнопку «Зберегти налаштування зображення» (внизу праворуч) після налаштування фокуса, освітлення або конфігурації тригера.

Є кілька додаткових порад щодо початку відеозйомки поверхні металопрокату:

- слід розташувати камеру OV20i так, щоб деталь заповнювала якомога більшу частину кадру;
- мінімізують навколишнє освітлення - застосовують вбудовані світлодіоди OV20i для зменшення тіней;
- для рухомих частин зменшують експозицію, збільшують коефіцієнт підсилення, щоб уникнути розмиття.

5. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

Автоматизовані системи оптико-цифрового контролю як основний технічний засіб застосовуються цифрові відеокамери (камери). Ці системи аналізують зображення, одержувані за допомогою камер, встановлених над металопрокатною лінією. Вони здатні виявляти дефекти на високих швидкостях прокатування (до 20 м/с). Проте ефективність контролю залежить від товщини листа металопрокату. Мінімальний розмір дефекту, який можна виявити, обмежений роздільною здатністю матриці відеокамери.

Використання високошвидкісних відеокамер з великою роздільною здатністю та кольорових камер покращує деталізацію зображень. Кольорові камери дозволяють краще визначають зміни кольору та текстури поверхні металу, що є ключовим моментом виявлення таких дефектів, як корозія і поверхневі плями, які можуть бути не виявлені при використанні звичайних монохромних камер.

Відомо, що передові підприємства використовують різні автоматизовані системи оптико-цифрового контролю, з використанням високошвидкісних камер. Незважаючи на широкий спектр запропонованих рішень, кількість приладів, які фактично використовуються в промисловості, залишається відносно невеликою.

Установка для дослідження впливу освітленості

Одним із способів зниження рівня споживання електричної енергії у виробництві є застосування світлових приладів на основі напівпровідникових джерел світла, основним перевагами яких є висока світлова віддача, тривалий термін служби, екологічність [24]. Забезпечення нормованих значень якісних та кількісних світлотехнічних параметрів на рівні діагностованої поверхні металевої смуги можна забезпечити шляхом збільшення потужності, а отже світлового потоку світлових приладів, що призводить до зміни освітленості.

Завдання аналізу впливу освітленості на точність розпізнавання дефектів на поверхні металевої смуг полягали у:

- оцінці впливу освітленості аналізованої поверхні на результати роботи алгоритму розпізнавання дефектів;

- визначенні найсприятливіших умов освітлення для діагностування.

Схема та зображення експериментальної установки представлені відповідно на рис. 5.1. Дана установка складалась із камери (KAMERA), на дні якої розміщений досліджуваний зразок *ES*. З метою усунення попадання відбитої складової світлового потоку на поверхню зразка на внутрішню поверхню камери нанесене покриття із коефіцієнтом відбивання близьким до нуля, рис. 5.2.

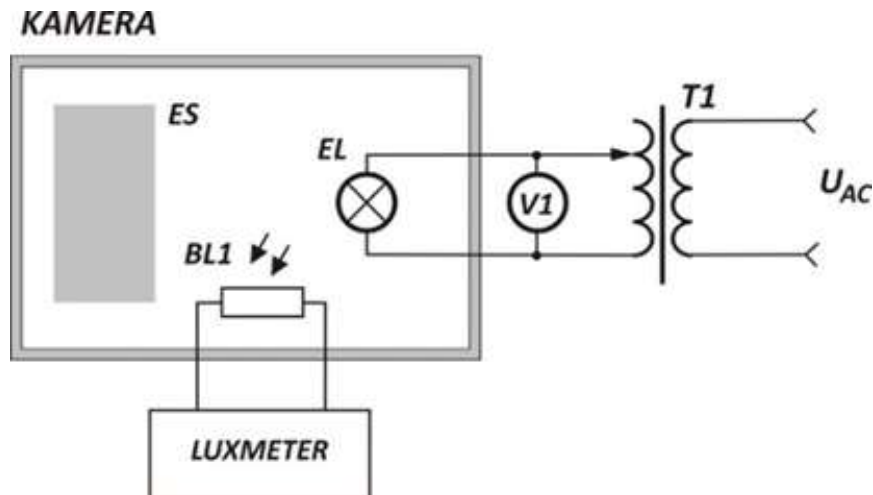


Рис. 5.1. Схема експериментальної установки



Рис. 5.2. Загальний вигляд експериментальної установки

В якості джерел світла використано змінні модулі з лампою розжарення *EL1* та світлодіодами *EL2*, котрі розташовувались у верхній частині камери. Живлення

цих джерел світла здійснювали відповідно від джерела змінної напруги – лабораторного автотрансформатора та джерела постійної напруги, живлення котрих в свою чергу виконувалось від електричної мережі. Зміну освітленості на поверхні зразка здійснювали шляхом зміни напруги живлення, а отже світлового потоку джерел світла. На модулі з лампою розжарення напруга живлення змінювалась в діапазоні від 80 до 230 В, а для світлодіодного модуля – зміною постійної напруги від 8 до 13 В. Напруга живлення джерел світла фіксувалась вольтметром V1, паралельно під'єднаним до джерел світла. Для підтвердження точності результати розрахунку освітленості співставляли із показами люксметра LUXMETER.

Зображення поверхні пластини (рис. 5.3) отримувались за допомогою фотокамери типу Canon EOS 1300D при числі діафрагми 5, часу витримки затвору 1/60 с та кімнатній температурі через 5 хвилин після подачі напруги на джерела світла, тобто після їх переходу на усталений режим роботи.

Нейронна мережі для розпізнавання дефектів

Для розпізнавання дефектів на поверхні металевої смуги використали нейронну мережу з архітектурою U-net [27, 28] (рис. 9) із енкодером на основі ResNet152 [29], яка дозволяє вирішувати завдання семантичної сегментації зображення, помічаючи масиви пікселів зображення як приналежні пошкодженням. Енкодер ResNet152 дозволяє сформувати детальну карту характерних для пошкоджень ознак, а блок декодера U-net – спроектувати розпізнані на зображенні ознаки назад на початкове зображення, виділяючи цим ділянки з пошкодженнями.



а



б



в



г

Рис. 5.4. Поверхня зразка металу з дефектами, за різних умов освітлення: 47, 260, 723, 980 люкс

В рамках аналізу кваліфікаційної роботи було встановлено, що відомі методи та алгоритми первинної обробки цифрових зображень, одержуваних засобами АСОК, не забезпечують необхідний рівень їх оптичної контрастності для розпізнавання та класифікації поверхневих дефектів металопрокату, особливо при швидкостях руху смуги від 6 м/с і вище.

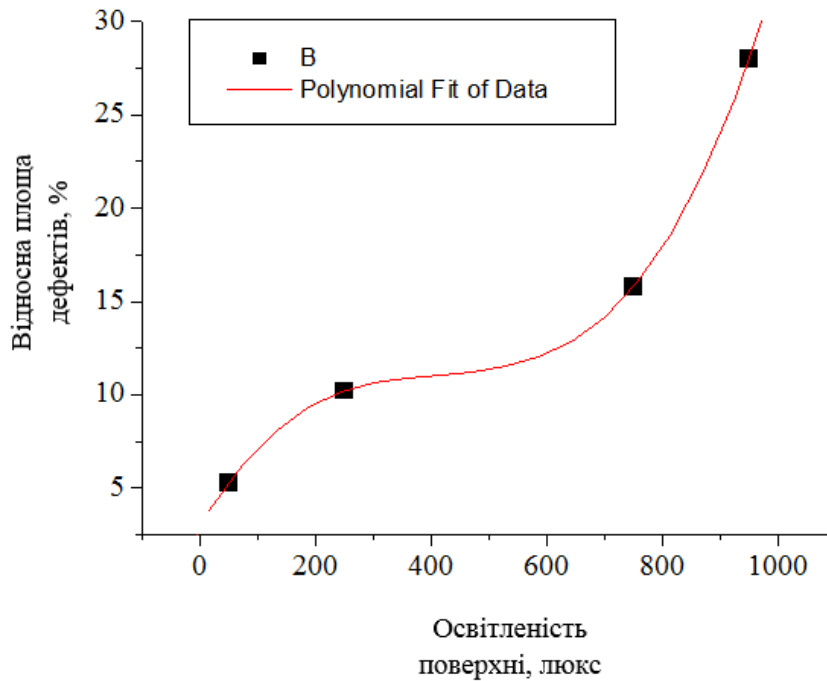


Рис. 5.5. Залежність визначеної площі дефектів від освітленості поверхні зразка

На основі проведених досліджень функціональності автоматизованих систем оптико-цифрового контролю поверхні металопрокату на основі машинного навчання та методів штучного інтелекту встановлено, що незважаючи на відомі інновації та удосконалення, більшість існуючих підходів не враховують особливості навчання на цифрових зображеннях, отриманих при різних типах освітлення об'єкта контролю поверхневих дефектів листового металопрокату. Це недолік обмежує здатність системи до виявлення всіх можливих дефектів, особливо тих, які найкраще видно виключно за певних умов освітлення. Отже, інтеграція підходів, що дозволяють ефективно працювати з даними, отриманими за різних умов освітлення, є критично важливим напрямом для подальшого розвитку автоматизованих систем оптико-цифрового контролю якості холоднокатаного металопрокату.

6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1. Вплив ЕОМ на стан здоров'я людини

Комп'ютерна техніка у наш час знайшла широке використання у діловодстві, промисловості, науці, навчальному процесі, але при недотриманні вимог безпеки, вона може завдавати значної шкоди працюючим.

Особливістю негативного впливу комп'ютерних технологій на працездатність і здоров'я людини є комплексна одночасна дія декількох шкідливих факторів, при значній інтенсивності яких відбувається накопичення і акумулювання їх впливу, що викликає суттєві зміни в організмі людини, розлад функцій окремих органів і систем.

До основних негативних факторів належать: випромінювання різних діапазонів електромагнітного спектру (рентгенівське та оптичне випромінювання, високочастотні та низькочастотні ЕМП, ЕМП з надто низькими частотами, електростатичні поля), шум у джерелі ВДТ, психосоціальні фактори виробничого середовища, нервово-емоційна напруга та інші.

Робота ЕВМ і ВДТ призводить до зміни фонові концентрації іонів повітря. Так, приблизно через 5 хвилин роботи монітору концентрація легких негативних іонів знижується в 5-10 разів (фонове значення цього показнику становить 350-620 іонів/см³), а через 3 години роботи їх концентрація наближається до нуля. Знижується також концентрація середніх і тяжких негативних іонів, натомість концентрація позитивного заряджених іонів різко зростає, що дуже негативно. Оптимальним рівнем аероіонізації на робочому місці рахується вміст легких іонів від 150 до 5000 в 1 см³, повітря (Санітарно-гігієнічні норми допустимих рівнів іонізації повітря виробничих і громадських приміщень №2152-80).

Нормалізувати іонний склад повітря виробничої зони можна різними способами: механічна вентиляція, застосування іонізаторів, заземлених захисних екранів тощо.

Доза рентгенівського випромінювання перед екраном монітора на відстані 50 см від його поверхні є безпечною, вона не досягає межі допустимого рівня (50

мкР/год), але не вивчена дія цих променів у поєднанні з іншими, які генеруються ЕОМ на людину, що не дозволяє говорити відносно безпечної їх дії.

Згідно даних ВООЗ, електромагнітні випромінювання викликають розвиток катаракти. Потенційно сприяють розвитку катаракти іонізуюче, ультрафіолетове - А, інфрачервоне і мікрохвильове випромінювання.

На працездатність та самопочуття людини негативно впливає шум від роботи електронно-обчислювальних машин. При цьому тривала дія шуму призводить до зниження розумової працездатності на 10-15%, швидкої зорової втоми, послаблення уваги, порушення психофізіологічних процесів. Вплив шуму ВДТ є однією із причин розвитку стресу, погіршення настрою, сенсорного перевантаження, змін кровопостачання тканин і органів у зв'язку зі спазмами капілярів.

Професійна діяльність працівника на ВДТ є причиною функціональних змін нервово-м'язового апарата і кровопостачання ока, які призводять до розвитку астенопічних скарг. Встановлено, що жінки частіше, ніж чоловіки, скаржаться на зоровий дискомфорт. При цьому відмічено, що в більшості випадків частота астенопії зростає зі збільшенням тривалості роботи за ВДТ.

Астенопічні скарги пов'язані також з освітленням робочого місця, відблиском екрану, тремтінням та мерехтінням зображення, сухістю повітря тощо. Встановлено, що у 72% користувачів ВДТ мають місце скарги на біль в очах. Результатом напруженої тривалої зорової роботи на ЕОМ може бути не лише специфічний зоровий дискомфорт, але і виникнення головного болю.

Стресові стани, які розвиваються при довготривалій напруженій роботі за ЕОМ, є однією із причин виникнення соматичних, фізіологічних, психологічних змін в організмі.

Фізіологічні порушення супроводжуються розладами функцій шлунково-кишкового тракту, серцево-судинної системи, скелетних м'язів, залоз внутрішньої секреції, шкіри, статевої системи. Встановлено, що ці розлади частіше мають місце у працівників з високою та середньою тривалістю роботи за ЕОМ.

До психологічних і поведінкових розладів відносяться: агресивність, фрустрація, нервозність, дратівливість, порушення сну, швидкий розвиток втоми тощо.

Зміни на соматичному, фізіологічному, психологічному і поведінковому рівнях працівників на електронно-обчислювальних машинах та відеодисплейних терміналах пов'язані з високим навантаженням при виконанні завдань, високою емоційно-психологічною напруженістю та дією негативних виробничих факторів.

6.2. Класифікація вибухо- та пожежонебезпечних приміщень (зон).

Основним заходом запобігання пожеж і вибухів від електрообладнання є правильний його вибір і експлуатація, особливо у вибухо- і пожежонебезпечних приміщеннях (зонах). Відповідно до ДНАОП 0.00-1.32-01 "Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок" вибухонебезпечні та пожежонебезпечні зони поділяються відповідно на шість (0, 1, 2, 20, 21, 22) та чотири (П-I, П-II, П-III, ПН) класи.

Вибухонебезпечна зона - це простір у приміщенні або навколо зовнішньої установки, в якому присутнє вибухонебезпечне середовище або воно може утворитися внаслідок природних чи виробничих чинників у такій кількості, яка вимагає спеціальних заходів у конструкції електрообладнання під час його монтажу та експлуатації.

Газо- та пароповітряні вибухонебезпечні середовища утворюють вибухонебезпечні зони класів 0, 1, 2, а пилоповітряні - вибухонебезпечні зони класів 20, 21, 22.

Вибухонебезпечна зона класу 0

Простір, у якому вибухонебезпечне середовище присутнє постійно або протягом тривалого часу. Зона такого класу може мати місце тільки в межах корпусів технологічного обладнання.

Вибухонебезпечна зона класу 1 - простір, у якому вибухонебезпечне середовище може утворитися під час нормальної роботи (тут і далі нормальна

робота - ситуація, коли установка працює відповідно до своїх розрахункових параметрів).

Вибухонебезпечна зона класу 2 - простір, у якому вибухонебезпечне середовище за нормальних умов експлуатації відсутнє, а якщо воно виникає, то рідко і триває недовго.

Вибухонебезпечна зона класу 20 - простір, у якому під час нормальної експлуатації вибухонебезпечний пил у вигляді хмари присутній постійно або часто в кількості, достатній для утворення небезпечної концентрації суміші з повітрям, та (або) простір, де можуть утворюватися пилові шари непередбаченої або надмірної товщини. Звичайно це має місце всередині обладнання, де пил може формувати вибухонебезпечні суміші часто і на тривалий термін.

Вибухонебезпечна зона класу 21 - простір, у якому під час нормальної експлуатації ймовірна поява пилу у вигляді хмари в кількості, достатній для утворення суміші з повітрям вибухонебезпечної концентрації.

Ця зона може включати простір поблизу місця порошкового заповнення або осідання і простір, де під час нормальної експлуатації ймовірна поява пилових шарів, які можуть утворювати небезпечну концентрацію вибухонебезпечної пилоповітряної суміші.

Вибухонебезпечна зона класу 22 - простір, у якому вибухонебезпечний пил у завислому стані може з'являтися не часто й існувати недовго або в якому шари вибухонебезпечного пилу можуть існувати й утворювати вибухонебезпечні суміші в разі аварії. Ця зона може включати простір поблизу обладнання, що утримує пил, який може вивільнятися шляхом витоку й формувати пилові утворення.

Пожежонебезпечна зона - це простір у приміщенні або за його межами, в якому постійно або періодично знаходяться (зберігаються, використовуються або виділяються під час технологічного процесу) горючі речовини як при нормальному технологічному процесі, так і при його порушенні в такій кількості, яка вимагає спеціалізованих заходів у конструкції електрообладнання під час його монтажу та експлуатації.

Пожежонебезпечна зона класу П-I - простір у приміщенні, в якому знаходиться горюча рідина, яка має температуру спалаху понад 61 °С.

Пожежонебезпечна зона класу П-II - простір у приміщенні, в якому можуть накопичуватися і виділятися горючий пил або волокна.

Пожежонебезпечна зона класу П-IIa - простір у приміщенні, в якому знаходяться тверді горючі речовини та матеріали.

Пожежонебезпечна зона класу П-III - простір поза приміщенням, у якому знаходяться горюча рідина, яка має температуру спалаху понад 61 °С або тверді горючі речовини.

У вибухонебезпечних зонах та в зовнішніх установках слід використовувати вибухозахищене обладнання, виготовлене згідно з ГОСТом 12.2.020-76. Проводи у вибухонебезпечних приміщеннях мають прокладатися у металевих трубах. Може використовуватися броньований кабель. Світильники у таких зонах повинні мати вибухозахищене виконання.

Чим вищий рівень вибухопожежонебезпеки приміщення (зони), тим більш жорстких вимог там необхідно дотримуватись. Тому працівників слід інформувати про категорію вибухопожежної та пожежної безпеки приміщення, а також про клас вибухонебезпечної або пожежонебезпечної зони. Для цього використовують відповідні позначення у вигляді табличок (рис. 4.18).

Відповідно до Правил пожежної безпеки в Україні для всіх будівель та приміщень виробничого, складського призначення і лабораторій повинна бути визначена категорія щодо вибухопожежної та пожежної безпеки за ОНТП 24-86, а також клас зони за ДНАОП 0.00-1.32-01, у тому числі для зовнішніх виробничих і складських ділянок, які слід позначати на вхідних дверях до приміщень, а також на межах зон усередині приміщень та ззовні.

6.3. Вимоги до режимів праці і відпочинку при роботі з ВДТ

При організації праці, пов'язаної з використанням ВДТ ЕОМ і ПЕОМ, для збереження здоров'я працюючих, запобігання професійним захворюванням і

підтримки працездатності передбачаються внутрішньозмінні регламентовані перерви для відпочинку.

Внутрішньозмінні режими праці і відпочинку містять додаткові нетривалі перерви в періоди, що передують появі об'єктивних і суб'єктивних ознак стомлення і зниження працездатності.

При виконанні робіт, що належать до різних видів трудової діяльності, за основну роботу з ВДТ слід вважати таку, що займає не менше 50% робочого часу. Впродовж робочої зміни мають передбачатися:

- перерви для відпочинку і вживання їжі (обідні перерви);
- перерви для відпочинку і особистих потреб (згідно з трудовими нормами);
- додаткові перерви, що вводяться для окремих професій з урахуванням особливостей трудової діяльності.

За характером трудової діяльності розрізняють три професійні групи, згідно з діючим класифікатором професій (ДК-003-95 і Зміна N1 до ДК-003-95):

1) розробники програм (інженери-програмісти) виконують роботу переважно з відеотерміналом та документацією при необхідності інтенсивного обміну інформацією з ЕОМ і високою частотою прийняття рішень. Робота характеризується інтенсивною розумовою творчою працею з підвищеним напруженням зору, концентрацією уваги на фоні нервово-емоційного напруження, вимушеною робочою позою, загальною гіподинамією, періодичним навантаженням на кисті верхніх кінцівок. Робота виконується в режимі діалогу з ЕОМ у вільному темпі з періодичним пошуком помилок в умовах дефіциту часу;

2) оператори електронно-обчислювальних машин виконують роботу, пов'язану з обліком інформації, одержаної з ВДТ за попереднім запитом, або тієї, що надходить з нього, супроводжується перервами різної тривалості, пов'язана з виконанням іншої роботи і характеризується напруженням зору, невеликими фізичними зусиллями, нервовим напруженням середнього ступеня та виконується у вільному темпі;

3) оператор комп'ютерного набору виконує одноманітні за характером роботи з документацією та клавіатурою і нечастими нетривалими

переключеннями погляду на екран дисплея, з введенням даних з високою швидкістю. Робота характеризується як фізична праця з підвищеним навантаженням на кисті верхніх кінцівок на фоні загальної гіподинамії з напруженням зору (фіксація зору переважно на документи), нервово-емоційним напруженням.

Правилами встановлюються такі внутрішньозмінні режими праці та відпочинку при роботі з ЕОМ при 8-годинній денній робочій зміні в залежності від характеру праці:

- для розробників програм із застосуванням ЕОМ слід призначати регламентовану перерву для відпочинку тривалістю 15 хвилин через кожну годину роботи за ВДТ;

- для операторів із застосуванням ЕОМ слід призначати регламентовані перерви для відпочинку тривалістю 15 хвилин через кожні дві години;

- для операторів комп'ютерного набору слід призначати регламентовані перерви для відпочинку тривалістю 10 хвилин після кожної години роботи за ВДТ.

У всіх випадках, коли виробничі обставини не дозволяють застосувати регламентовані перерви, тривалість безперервної роботи з ВДТ не повинна перевищувати 4 години.

При 12-годинній робочій зміні регламентовані перерви повинні встановлюватися в перші 8 годин роботи аналогічно перервам при 8-годинній робочій зміні, а протягом останніх 4-х годин роботи, незалежно від характеру трудової діяльності, через кожну годину тривалістю 15 хвилин.

Для зниження нервово-емоційного напруження, втомлення зорового аналізатора, поліпшення мозкового кровообігу, подолання несприятливих наслідків гіподинамії, запобігання втомі доцільно деякі перерви використовувати для виконання комплексу вправ, які наведені у Державних санітарних правилах і нормах роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин ДСанПіН 3.3.2.007-98.

6.4. Проведення інструктажів з охорони праці на підприємстві

Працівники, під час прийняття на роботу та періодично, повинні проходити на підприємстві інструктажі з питань охорони праці, надання першої медичної допомоги потерпілим від нещасних випадків, а також з правил поведінки та дій при виникненні аварійних ситуацій, пожеж і стихійних лих.

За характером і часом проведення інструктажі з питань охорони праці поділяються на вступний, первинний, повторний, позаплановий та цільовий.

Вступний інструктаж проводиться:

- з усіма працівниками, які приймаються на постійну або тимчасову роботу, незалежно від їх освіти, стажу роботи та посади;
- з працівниками інших організацій, які прибули на підприємство і беруть безпосередню участь у виробничому процесі або виконують інші роботи для підприємства;
- з учнями та студентами, які прибули на підприємство для проходження трудового або професійного навчання;
- з екскурсантами у разі екскурсії на підприємство.

Вступний інструктаж проводиться спеціалістом служби охорони праці або іншим фахівцем відповідно до наказу (розпорядження) по підприємству, який в установленому Типовим положенням порядку пройшов навчання і перевірку знань з питань охорони праці.

Вступний інструктаж проводиться в кабінеті охорони праці або в приміщенні, що спеціально для цього обладнано, з використанням сучасних технічних засобів навчання, навчальних та наочних посібників за програмою, розробленою службою охорони праці з урахуванням особливостей виробництва.

Програма та тривалість інструктажу затверджуються керівником підприємства.

Запис про проведення вступного інструктажу робиться в журналі реєстрації вступного інструктажу з питань охорони праці (додаток 5), який зберігається службою охорони праці або працівником, що відповідає за проведення вступного інструктажу, а також у наказі про прийняття працівника на роботу.

Первинний інструктаж проводиться до початку роботи безпосередньо на робочому місці з працівником:

- новоприйнятим (постійно чи тимчасово) на підприємство або до фізичної особи, яка використовує найману працю;
- який переводиться з одного структурного підрозділу підприємства до іншого;
- який виконуватиме нову для нього роботу;
- відрядженим працівником іншого підприємства, який бере безпосередню участь у виробничому процесі на підприємстві.

Первинний інструктаж проводиться з учнями, курсантами, слухачами та студентами навчальних закладів:

- до початку трудового або професійного навчання;
- перед виконанням кожного навчального завдання, пов'язаного з використанням різних механізмів, інструментів, матеріалів тощо.

Первинний інструктаж на робочому місці проводиться індивідуально або з групою осіб одного фаху за діючими на підприємстві інструкціями з охорони праці відповідно до виконуваних робіт.

Повторний інструктаж на робочому місці індивідуально з окремим працівником або групою працівників, які виконують однотипні роботи, за обсягом і змістом переліку питань первинного інструктажу.

Повторний інструктаж проводиться в терміни, визначені нормативно-правовими актами з охорони праці, які діють у галузі, або роботодавцем (фізичною особою, яка використовує найману працю) з урахуванням конкретних умов праці, але не рідше:

- на роботах з підвищеною небезпекою - 1 раз на 3 місяці;
- для решти робіт - 1 раз на 6 місяців.

Позаплановий інструктаж проводиться з працівниками на робочому місці або в кабінеті охорони праці:

- при введенні в дію нових або переглянутих нормативно-правових актів з охорони праці, а також при внесенні змін та доповнень до них;
- при зміні технологічного процесу, або модернізації устаткування, приладів та інструментів, вихідної сировини, матеріалів та інших факторів, що впливають на стан охорони праці;
- при порушеннях працівниками вимог нормативно-правових актів з охорони праці, що призвели до травм, аварій, пожеж тощо;
- при перерві в роботі виконавця робіт більш ніж на 30 календарних днів - для робіт з підвищеною небезпекою, а для решти робіт - понад 60 днів.

Позаплановий інструктаж з учнями, студентами, курсантами, слухачами проводиться під час проведення трудового і професійного навчання при порушеннях ними вимог нормативно - правових актів з охорони праці, що можуть призвести або призвели до травм, аварій, пожеж тощо.

Позаплановий інструктаж може проводитись індивідуально з окремим працівником або з групою працівників одного фаху. Обсяг і зміст позапланового інструктажу визначаються в кожному окремому випадку залежно від причин і обставин, що спричинили потребу його проведення.

Цільовий інструктаж проводиться з працівниками:

- при ліквідації аварії або стихійного лиха;
- при проведенні робіт, на які відповідно до законодавства оформлюються наряд-допуск, наказ або розпорядження.

Цільовий інструктаж проводиться індивідуально з окремим працівником або з групою працівників. Обсяг і зміст цільового інструктажу визначаються залежно від виду робіт, що виконуватимуться.

Первинний, повторний, позаплановий і цільовий інструктажі проводить безпосередній керівник робіт (начальник структурного підрозділу, майстер) або фізична особа, яка використовує найману працю.

Первинний, повторний, позаплановий і цільовий інструктажі завершуються перевіркою знань у вигляді усного опитування або за допомогою технічних засобів, а також перевіркою набутих навичок безпечних методів праці, особою, яка проводила інструктаж.

При незадовільних результатах перевірки знань, умінь і навичок щодо безпечного виконання робіт після первинного, повторного чи позапланового інструктажів протягом 10 днів додатково проводяться інструктаж і повторна перевірка знань.

При незадовільних результатах перевірки знань після цільового інструктажу допуск до виконання робіт не надається. Повторна перевірка знань при цьому не дозволяється.

Про проведення первинного, повторного, позапланового та цільового інструктажів та їх допуск до роботи, особа, яка проводила інструктаж, вносить запис до журналу реєстрації інструктажів з питань охорони праці на робочому місці. Сторінки журналу реєстрації інструктажів повинні бути пронумеровані, прошнуровані і скріплені печаткою.

7. БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

7.1. План дій у надзвичайних ситуаціях

Чіткий план дій у разі серйозних надзвичайних ситуацій є важливим елементом програм охорони праці та безпеки праці. Окрім основної переваги надання рекомендацій під час надзвичайної ситуації, розробка плану має й інші переваги. Ви можете виявити нерозпізнані небезпечні умови, які можуть посилити надзвичайну ситуацію, і працювати над їх усуненням. Процес планування може виявити недоліки, такі як брак ресурсів (обладнання, навченого персоналу, витратних матеріалів) або предметів, які можна виправити до виникнення надзвичайної ситуації. Крім того, план дій у надзвичайних ситуаціях сприяє підвищенню обізнаності з питань безпеки та демонструє відданість організації безпеці працівників.

Відсутність плану дій у надзвичайних ситуаціях може призвести до серйозних втрат, таких як численні жертви та можливий фінансовий крах організації.

Оскільки надзвичайні ситуації траплятимуться, попереднє планування є необхідним. Термінова потреба у швидких рішеннях, нестача часу, ресурсів та навченого персоналу можуть призвести до хаосу під час надзвичайної ситуації. Час та обставини в надзвичайній ситуації означають, що звичайні канали влади та комунікації не можуть функціонувати в звичайному режимі. Стрессова ситуація може призвести до неправильного судження, що призведе до серйозних втрат. Добре продуманий, добре організований план реагування на надзвичайні ситуації допоможе усунути ці проблеми.

Загальна мета плану дій у надзвичайних ситуаціях

План дій у надзвичайних ситуаціях визначає процедури дій у разі раптових або неочікуваних ситуацій. Мета полягає в тому, щоб бути готовим до:

- Запобігти смертельним випадкам та травмам.
- Зменшити пошкодження будівель, інвентарю та обладнання.
- Захистити довкілля та громаду.

- Прискорити відновлення нормальної роботи.

Розробка плану починається з оцінки вразливостей. Результати дослідження покажуть:

- Наскільки ймовірна ситуація.
- Які засоби доступні для зупинення або запобігання ситуації.
- Що необхідно для певної ситуації.

На основі цього аналізу можна встановити відповідні процедури дій у надзвичайних ситуаціях.

На етапі планування важливо запросити до участі відповідних осіб або групи. До складу команди можуть входити:

- працівники зі знанням роботи
- керівник ділянки або роботи
- співробітник служби безпеки
- комітет з охорони здоров'я та безпеки
- представник профспілки, якщо застосовується
- співробітники з досвідом проведення розслідувань
- «зовнішні» експерти
- представник місцевої влади, поліції, пожежної служби або швидкої допомоги

За потреби слід також проконсультуватися з іншими організаціями, особливо коли план вашої організації передбачає використання зовнішніх ресурсів, таких як пожежна служба, поліція або швидка допомога, як частини реагування. У деяких ситуаціях одна організація може створити спільні групи реагування із сусідніми організаціями.

7.2. Цикл управління стихійними лихами

Цикл управління стихійними лихами – це постійно діючий процес, який охоплює пом'якшення наслідків, підготовку, реагування та відновлення. Кожен із цих елементів відіграє життєво важливу роль як у підготовці до стійкості до

стихійних лих, так і в управлінні ними з метою захисту громади та інфраструктури.



Рис. 7.1. Цикл управління стихійними лихами

У будь-яких ситуаціях комунікація, навчання та періодичні тренування допоможуть забезпечити належне виконання плану.

План дій у надзвичайних ситуаціях включає:

- Усі можливі надзвичайні ситуації, наслідки, необхідні дії, письмові процедури та наявні ресурси.
- Детальні списки рятувальників, включаючи їхні номери мобільних телефонів, альтернативні контактні дані, а також їхні обов'язки та відповідальність.
- Плани поверхів.
- Великомасштабні карти із зображенням шляхів евакуації та комунікаційних трубопроводів (таких як газо- та водопровідні лінії).

Оскільки, ймовірно, буде складено досить великий документ, план повинен містити окремі письмові інструкції для співробітників щодо їхніх конкретних обов'язків у разі надзвичайної ситуації.

Нижче наведено приклади частин плану дій у надзвичайних ситуаціях. Ці елементи можуть не охоплювати кожную ситуацію на кожному робочому місці, але слугують загальним керівництвом під час написання плану для конкретного робочого місця:

Мета – це короткий виклад мети плану, тобто зменшення кількості травм, завданих людям, та пошкодження майна й навколишнього середовища в надзвичайній ситуації. Вона також визначає тих співробітників, які можуть втілити план у життя. Мета чітко визначає, хто є цими співробітниками, оскільки звичайний ланцюг командування не завжди може бути доступним у короткий термін. Принаймні один з них повинен бути на місці постійно, коли приміщення зайняте. Обсяг повноважень цього персоналу має бути чітко вказаний.

Організація

Одна особа повинна бути призначена та навчена виконувати обов'язки координатора з надзвичайних ситуацій, а також "запасного" координатора. Однак персонал на місці під час надзвичайної ситуації є ключовим для забезпечення оперативного та ефективного вжиття заходів для мінімізації втрат. У деяких випадках можливо викликати на допомогу співробітників, які не перебувають на службі, але критичні початкові рішення зазвичай необхідно приймати негайно.

Мають бути чітко визначені конкретні обов'язки, відповідальність, повноваження та ресурси. Серед обов'язків, які необхідно доручити, є:

- Повідомлення про надзвичайну ситуацію.
- Активація плану дій у надзвичайних ситуаціях.
- Взяття на себе загальне командування.
- Встановлення комунікації.
- Надання медичної або першої допомоги.
- Оповіщення персоналу.
- Наказ про реагування, включаючи евакуацію.
- Забезпечення закриття аварійних вимикачів.
- Повідомлення зовнішніх органів, за необхідності.
- Підтверджуємо завершення евакуації.
- Попередження зовнішнього населення про можливу небезпеку, за необхідності.
- Звернення за зовнішньою допомогою.
- Координація діяльності різних груп.

- Консультування родичів постраждалих.
- Оголошується, що все чисто.
- Консультування ЗМІ.

Цей перелік обов'язків слід складати з використанням попередньо розробленого резюме дій у кожній надзвичайній ситуації. Необхідно призначити достатню кількість заступників для кожної відповідальної посади, щоб забезпечити постійну присутність на місці уповноваженої особи.

Зовнішні організації, які можуть надати допомогу (з різним часом реагування), включають:

- Пожежні служби.
- Мобільні рятувальні загони.
- Послуги швидкої допомоги.
- Поліцейські відділи.
- Телефонні компанії.
- Лікарні.
- Комунальні підприємства.
- Промислові сусіди.
- Урядові установи.

З цими організаціями слід зв'язатися на етапі планування, щоб обговорити кожен з їхніх ролей під час надзвичайної ситуації. Слід розглянути питання взаємодопомоги з іншими промисловими об'єктами в цьому районі.

Заздалегідь спланована координація необхідна для уникнення конфлікту обов'язків. Наприклад, поліція, пожежна служба, служба швидкої допомоги, рятувальна команда, пожежна бригада компанії та бригада першої медичної допомоги можуть бути на місці події одночасно. У такій ситуації потрібен заздалегідь визначений ланцюг командування, щоб уникнути організаційних труднощів. За певних обставин командування може взяти на себе зовнішня організація.

Можливі проблеми зі зв'язком згадувалися в кількох контекстах. Слід докласти зусиль для пошуку альтернативних засобів зв'язку під час надзвичайної

ситуації, особливо між ключовим персоналом, таким як головний командир, командир на місці події, інженерно-технічні, пожежно-рятувальні, медичні, рятувальні та зовнішні служби. Залежно від розміру організації та фізичного розташування приміщень, може бути доцільним спланувати центр управління надзвичайними ситуаціями з альтернативними засобами зв'язку. Весь персонал, який відповідає за оповіщення або звітування, повинен мати актуальний список номерів мобільних телефонів та адрес тих людей, з якими їм, можливо, доведеться зв'язатися.

Процедури

Багато факторів визначають, які процедури необхідні в надзвичайній ситуації, такі як:

- Характер надзвичайної ситуації.
- Ступінь надзвичайної ситуації.
- Розмір організації.
- Можливості організації в надзвичайній ситуації.
- Негайність зовнішньої допомоги.
- Фізичне планування приміщення.

Спільні елементи, які слід враховувати в усіх надзвичайних ситуаціях, включають передаварійну підготовку та заходи щодо оповіщення та евакуації персоналу, ліквідації наслідків стихійних лих та стримування небезпек.

Стихійні лиха, такі як повені чи сильні шторми, часто можна передбачити, принаймні, завчасно. План повинен враховувати такі попередження, наприклад, інструкції щодо збирання піску в мішки, переміщення обладнання в необхідні місця, забезпечення альтернативних джерел живлення, світла чи води, додаткового обладнання та переміщення персоналу зі спеціальними навичками. Поетапне переведення в режим тривоги дозволяє вживати таких заходів упорядковано.

Наказ про евакуацію має найбільше значення для оповіщення персоналу. Щоб уникнути плутанини, для наказу про евакуацію слід використовувати лише один тип сигналу. Зазвичай для цієї мети використовуються сирени, пожежні

дзвінки, свистки, миготливі вогні, оголошення системи пейджингу або усне радіо в галасливому середовищі. Сигнал «все гаразд» менш важливий, оскільки час не є таким нагальним питанням.

Обов'язковими є такі пункти:

- Визначте шляхи евакуації, альтернативні шляхи втечі, повідомте про них усіх співробітників. Тримайте ці шляхи вільними.
- Визначте безпечні місця для збору персоналу для підрахунку, щоб переконатися, що всі залишили небезпечну зону. Призначте осіб, які допомагатимуть працівникам, яким може знадобитися допомога, швидко евакуюватися.
- Одночасно з вжиття заходів щодо локалізації надзвичайної ситуації проводити лікування поранених та пошук зниклих безвісти.
- Забезпечте альтернативні джерела медичної допомоги, коли звичайні медичні заклади можуть знаходитися в небезпечній зоні.
- Спочатку забезпечте безпеку всього персоналу (і громадськості), а потім займайтеся ліквідацією пожежі чи іншої ситуації.

Навчання та тренування

Розробка комплексного плану дій у надзвичайних ситуаціях є важливим кроком до запобігання катастрофам. Однак важко передбачити всі проблеми, які можуть виникнути, якщо план не буде перевірено. Для відпрацювання всіх або критичних частин плану (таких як евакуація) можуть проводитися навчання та тренування. Ретельний та негайний огляд після кожного навчання, тренування або після фактичної надзвичайної ситуації вкаже на області, які потребують покращення. Знання індивідуальних обов'язків можна оцінити за допомогою паперових тестів або співбесід.

План слід переглядати, коли стають відомі недоліки, і переглядати його принаймні щорічно. Зміни в інфраструктурі заводу, процесах, використовуваних матеріалах та ключовому персоналі є приводом для оновлення плану. Слід наголосити, що необхідно передбачити навчання як окремих осіб, так і команд, якщо очікується, що вони зможуть належним чином діяти в надзвичайних

ситуаціях. Щорічні повномасштабні навчання допоможуть підтримувати високий рівень майстерності.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. MES: the new class of IT applications. In: Kletti, J. (eds) Manufacturing Execution Systems — MES, 2007, Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-49744-8_4
2. Kletti, J., Deisenroth, R. (2018). Application Concept – Horizontal and Vertical Integration. In: MES Compendium . Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-54983-4>
3. Powell, D., Binder, A., Arica, E. (2013). MES Support for Lean Production. In: Emmanouilidis, C., Taisch, M., Kiritsis, D. (eds) Advances in Production Management Systems. Competitive Manufacturing for Innovative Products and Services. APMS 2012. IFIP Advances in Information and Communication Technology, vol 398. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-40361-3_17_1
4. Arya, V., Deshmukh, S.G. & Bhatnagar, N. Product quality in an inclusive manufacturing system: some considerations. J Intell Manuf 30, 2871–2884 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10845-018-1423-x>
5. Woo, J., Shin, S.J., Seo, W. et al. Developing a big data analytics platform for manufacturing systems: architecture, method, and implementation. Int J Adv Manuf Technol 99, 2193–2217 (2018). hScandura, T.A., Williams, E.A.: Research methodology in management: Current practices, trends, and implications for future research. Academy of Management Journal, 1248–1264 (2000) <https://doi.org/10.1007/s00170-018-2416-9>
6. Chen, X., Nophut, C. & Voigt, T. A model-driven approach for engineering customizable MES with the application to the food and beverage industry. Int J Adv Manuf Technol 115, 2607–2622 (2021). <https://doi.org/10.1007/s00170-021-07317-7>
7. Szántó, N.; Pedone, G.; Monek, G.; Háý, B.; Jósvai, J. Transformation of traditional assembly lines into interoperable CPPS for MES: An OPC UA enabled scenario. Procedia Manuf. 2021, 54, 118–123.
8. MESA International—White Paper #6. In MES Explained: A High Level Vision; TeMeyer, H., F. Fuchs, and K. Thiel (2009). Manufacturing execution systems: optimal design, planning, and deployment. McGraw-Hill Education.

9. Meyr, H., M. Wagner, and J. Rohde (2015). Structure of Advanced Planning Systems. In *Supply Chain Management and Advanced Planning Concepts, Models, Software, and Case Studies*, Chapter 5, pp. 99–106. Springer.
10. Mönch, L., J. W. Fowler, and S. J. Mason (2013). Semiconductor Manufacturing Process Description. In *Production Planning and Control for Semiconductor Wafer Fabrication Facilities*, pp.11–28. Springer.
11. Mula, J., R. Poler, G. S. García-Sabater, and F. C. Lario (2006). Models for production planning under uncertainty: A review. *International Journal of Production Economics* 103(1), 271–285.chnical Report; MESA: Pittsburgh, PA, USA, 1997.
12. Powell, D., Binder, A., Arica, E. (2013). MES Support for Lean Production. In: Emmanouilidis, C., Taisch, M., Kiritsis, D. (eds) *Advances in Production Management Systems. Competitive Manufacturing for Innovative Products and Services. APMS 2012. IFIP Advances in Information and Communication Technology*, vol 398. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-40361-3_17
13. Venkat Sai Avvaru, Giulia Bruno, Paolo Chiabert, Emiliano Traini. Integration of PLM, MES and ERP Systems to Optimize the Engineering, Production and Business. 17th IFIP International Conference on Product Lifecycle Management (PLM), Jul 2020, Rapperswil, Switzerland. pp.70-82, [ff10.1007/978-3-030-62807-9_7](https://doi.org/10.1007/978-3-030-62807-9_7)[ff. fahal-03753122](https://doi.org/10.1007/978-3-030-62807-9_7)
14. Novák, P., Vyskočil, J., Kadera, P. (2019). Plan Executor MES: Manufacturing Execution System Combined with a Planner for Industry 4.0 Production Systems. In: Mařík, V., et al. *Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems. HoloMAS 2019. Lecture Notes in Computer Science*, vol 11710. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-27878-6_6
15. Titu, A.M., Stan, N.M. (2025). Transformative Potential: How MES Is Shaping the Future of Manufacturing. In: Durakbasa, N.M., Cetinkaya, K., Demircioglu, P., Bogrekci, I. (eds) *Digitalization in Additive Manufacturing. ICPTDI 2024. Springer Tracts in Additive Manufacturing*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-84873-5_60
16. Menezes, S.; Creado, S.; Zhong, R.Y. Smart manufacturing execution systems for small and medium-sized enterprises. *Procedia CIRP* 2018, 72, 1009–1014.

17. Pfeifer, M.R. Development of a Smart Manufacturing Execution System architecture for SMEs: A Czech case study. *Sustainability* 2021, 13, 10181.
18. Dutta, G.; Kumar, R.; Sindhwani, R.; Singh, R. Overcoming the barriers of effective implementation of manufacturing execution system in pursuit of smart manufacturing in SMEs. *Procedia Comput. Sci.* 2022, 200, 820-832.
19. Welsch, B. Integrating production machines in a manufacturing execution system (MES). In *Proceedings of the Third European Seminar on Precision Optics Manufacturing*, Teisnach, Germany, 12–13 April 2016.
20. Luiz Durão, Hannah McMullin, Kevin Kelly, Eduardo Zancul. Manufacturing Execution System as an Integration Backbone for Industry 4.0. 18th IFIP International Conference on Product Lifecycle Management (PLM), Jul 2021, Curitiba, Brazil. pp.461-473, [ff10.1007/978-3-030-94335-6_33](https://doi.org/10.1007/978-3-030-94335-6_33)ff. [ffhal04186148f](https://doi.org/10.1007/978-3-030-94335-6_33)
21. da Costa Dias JE, de Castro Filho FG, de Andrade AA, Facó JFB (2021) The strategic role of mes systems in the context of industry 4.0. *Smart Innov Syst Technol* 198 SIST:52-61.
22. Hua J, Sun H, Liang T, Lei Z (2008) The design of manufacturing execution system based on RFID. *Proc - 2008 Work Power Electron Intell Transp Syst PEITS* 2008 8-11. <https://doi.org/10.1109/PEITS.2008.72>
23. Broner Metals Solutions Ltd. (2004, January). Integration of MES with Planning & Scheduling Solutions. http://www.bronermetals.com/documents/white_papers_articles/Integrated_MES_%20with_APS.pdf Chen, K. Y. (2006, January). Performance measurement of implementing manufacturing execution system. In *Materials science forum* (Vol. 505, pp. 1117-1122).
24. Cheng, F. T., Chang, C. F., & Wu, S. L. (2004). Development of holonic manufacturing execution systems. *Journal of intelligent manufacturing*, 15(2), 253-267.
25. Cheng, F. T., Shen, E., Deng, J. Y., & Nguyen, K. (1999). Development of a system framework for the computer-integrated manufacturing execution system: a distributed object-oriented approach. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 12(5), 384-402.

26. Choi, B. K., & Kim, B. H. (2002). MES (manufacturing execution system) architecture for FMS compatible to ERP (enterprise planning system), *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 15(3), 274-284.
27. Cottyn, J., Van Landeghem, H., Stockman, K., & Derammalaere S. (2011). The role of a manufacturing execution system during a lean improvement project. *Norwegian University of Science and Technology*, 1-10
28. Cottyn, J., Van Landeghem, H., Stockman, K., & Derammalaere, S. (2010) A Method to Align a Manufacturing Execution System with Lean Objectives. *Internal Journal of Production Research*, 1-31.
29. Крот П.В., Приходько И.Ю., Парсенюк Е.А., Сергеенко А.А. Діагностика періодичних дефектів поверхні прокатних валків під час шліфування // «Вібрація машин: вимір, зниження, захист». Науково-технічна та виробнича збірка статей. Вип. 3. - Донецьк.: ДонНТУ, 2009. - С. 61-66.
30. Михайло Сердюков Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр зі спеціальності 073 "Менеджмент", освітньо-професійної програми Менеджмент "Удосконалення управління підприємством на основі використання систем MES та ERP", СДУ, Суми, 2023. - 57 с.
31. Конспект лекцій з дисципліни "Електронні засоби автоматизації виробництва" освітньо-професійної програми другого (магістерського) рівня вищої освіти зі спеціальності 171 Електроніка / укл. Багрій В. В., Кам'янське; ДДТУ, 2023 - 164 с.
32. Електронні засоби автоматизації виробництва: навчальний посібник // С. К. Мещанінов, Б. П. Довгалюк, В. В. Багрій та ін. - Кам'янське: ДДТУ, 2020. - 341 с.
33. Бойко В.І. Автоматизовані системи управління агрегатами та технологічними процесами прокатного виробництва // В. І. Бойко, В. А. Смоляк. - К.: ІСМО, 1999. - 396 с.
34. Мельник О.Г. Системи діагностики діяльності машинобудівних підприємств: полікритеріальна концепція та інструментарій: монографія. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2010. 344 с.

35. Міронова Ю.В., Петров С.О., Франчук А.Ю., Лисак Н.В. Особливості процесу оптимального управління ефективністю праці на підприємствах. Вісник Хмельницького національного університету. Хмельницький, 2015. № 3. С. 67–71.
36. Мойса М.Я. Система організаційно-управлінських та економічних заходів забезпечення рентабельного виробництва в аграрних підприємствах: монографія / Мойса М. Я. [та ін.]; Одес. держ. аграр. ун-т, екон. ф-т., Імідж-Прес, 2010. 165 с.
37. Янчук Т.В. Алгоритм впровадження інформаційних технологій в сучасний бізнес. Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія «Економічні науки». 2014. Випуск 5. Частина 3. С. 128-130.
38. Швець І.Б., Буряк В.В. Оцінка ефективності інформаційних систем в управлінні інформаційними ресурсами Наукові праці ДОННТУ. Серія: Економічна. 2005. Випуск 97. С. 11-20.
39. Петруша К.В. Дипломний проєкт на здобуття ступеня бакалавра за освітньо-професійною програмою «Комп'ютеризовані системи управління» спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», на тему: «Система аналізу та планування роботи підприємства з виробництва плодоовочевої продукції», 2020, Київ, КПІ ім. І. Сікорського. - 83с.
40. ДСТУ EN 61140:2015 Захист проти ураження електричним струмом. Загальні аспекти щодо установок та обладнання (EN 61140:2002, IDT)
41. ДСТУ 7237:2011 Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту
42. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку 9. НПАОП 40.1-1.32-01 (ДНАОП 0.00-1.32-01) Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок (укр)
43. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою.
44. <https://www.linkedin.com/pulse/how-calculate-roi-mes-solutions-nuri-%C3%B6zalp-u0ele/>
45. <https://digitalfactory.store/en/blogs/articles-de-blog-a-la-une-decouvrez-les-tendances-de-lindustrie-4-0/oeo-overall-equipment-effectiveness#calculateur>

46. <https://www.machinemetrics.com/roi-calculator>
47. Пальчевський Б.О. Автоматизація технологічних процесів / Б.О. Пальчевський - Львів: Світ, 2007. - 392 с.
48. Кавецький В. В. Економічне обґрунтування інноваційних рішень: практикум / В. В. Кавецький, В. О. Козловський, І. В. Причепа - Вінниця: ВНТУ, 2016. – 113 с.
49. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад.: В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. - Вінниця: ВНТУ, 2021. - 42 с.
50. Ладанюк А.П., Заєць Н.А., Власенко Л.О. Сучасні технології конструювання систем автоматизації складних об'єктів.- К.: Ліра-К, 2016. -312 с.
51. Автоматизація виробничих процесів: підручник / В. П. Хорольський, Ю. М. Коренець. - Кривий Ріг: [ДонНУЕТ], 2022. - 400 с.
52. Основи наукових досліджень і теорія експерименту : Навчальний посібник для здобувачів освітнього ступеня «Магістр» спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» / укл. Ю. Б. Капаціла, П. О. Марущак, В. Б. Савків, О. П. Шовкун. Тернопіль : ФОП Паляниця В.А., 2023. 186 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/40843>
53. Коноваленко І. В. Платформа .NET та мова програмування C# 8.0 : навч. посіб. / І. В. Коноваленко, П. О. Марущак. – Тернопіль : В. А. Паляниця, 2020 – 320 с. <http://library.megu.edu.ua:8180/jspui/handle/123456789/4115>
54. Проектування мікропроцесорних систем керування: навчальний посібник / І.Р. Козбур, П.О. Марущак, В.Р. Медвідь, В.Б. Савків, В.П. Пісьціо. – Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2022. – 324 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39189>
55. Капаціла Ю.Б., Савків В.Б. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра спеціальності «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка». Тернопіль.: Видавництво ТНТУ. 2025. 60 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/48495>

56. Капаціла Ю.Б., Шовкун О.П. Дослідження релейного електронного регулятора температури. /Методичні вказівки до лабораторної роботи з курсу «Приводи та автоматика мехатронних систем» для здобувачів освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка». Тернопіль: ТНТУ. 2025. 15 с. <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/50560>.
57. Капаціла Ю.Б., Шовкун О.П. Конструкторсько-технологічна практика. Методичні вказівки для здобувачів освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка». Тернопіль.: Видавництво ТНТУ. 2025. 22 с. <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/50558>.
58. Козбур І.Р., «Дослідження часових характеристик неперервних лінійних систем», по курсу «Теорія автоматичного управління», для студентів 3 курсу спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Авт.: Козбур І.Р., Козбур Г.В. Марущак П.О., Савків В.Б. – Тернопіль: ТНТУ, ФПТ, каф. АВ, – 2022. – 19 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39206>
59. Методичні рекомендації для виконання практичних робіт № 7-12 та самостійної роботи з курсу «Засади провадження наукової діяльності» / укл.: Дмитрів Олена Романівна, Рогатинський Роман Михайлович. – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2023. – 80 с. <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/40737>
60. Автоматизація виробничих процесів. Навчальний посібник для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. / Я.І. Проць, В.Б. Савків, О.К. Шкодзінський, О.Л. Ляшук. Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011. 344 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789/1551>
61. Методичні вказівки по роботі з програмним симулятором "AVR simulator IDE" з курсу "Мікропроцесорні та програмні засоби автоматизації" / укл. : В.Р. Медвідь , В.П. Пісьціо. - Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2020. - 21 с.
62. Моделювання нелінійних систем керування у пакеті MATLAB SIMULINK, методичні вказівки до виконання лабораторної роботи по курсу «Комп'ютерні методи дослідження систем автоматичного управління», для студентів 4 курсу

спеціальності 6.050201 «Системна інженерія» / укл. : І.Р. Козбур , Г.В. Козбур , Р.І. Михайлишин. – Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2019. - 19 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/28057>

63. Моделювання систем керування в пакеті MATLAB SIMULINK, методичні вказівки до виконання лабораторної роботи по курсу «Комп'ютерні методи дослідження систем автоматичного управління», для студентів 4 курсу спеціальності 6.050201 «Системна інженерія» / укл. : І.Р. Козбур , Г.В. Козбур , Р.І. Михайлишин. – Тернопіль : ТНТУ, 2019. - 23 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/28056>

64. Проектування та аналіз електричних схем в програмному середовищі Multisim. Методичні вказівки до самостійної роботи студентів з курсу "Проектування мікропроцесорних систем керування технологічними процесами" / укл. : В.Р. Медвідь , В.П. Пісьціо . - Тернопіль : ТНТУ Імені Івана Пулюя, 2018. - 26 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/26404>

65. Проектування та аналіз електричних схем в програмному середовищі Proteus VSM. Методичні вказівки до самостійної роботи студентів з курсу "Проектування мікропроцесорних систем керування технологічними процесами" / укл. : В.Р. Медвідь , В.П. Пісьціо. - Тернопіль : ТНТУ, 2018. - 26 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/26397>

66. Методичні вказівки до курсового проектування з курсу "Проектування систем автоматизації" / Савків В.Б., Шкодзінський О.К., Пісьціо В.П. Тернопіль : ТНТУ, 2025. 128 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/48646>

67. Трембач Р.Б., Медвідь В.Р. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни “Електроніка і мікросхемотехніка”. – Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2024. – 53 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/44635>

68. Трембач Р.Б., Медвідь В.Р. Методичні вказівки до виконання до виконання лабораторних робіт з дисципліни “Електроніка і мікросхемотехніка” Модуль 3. «Імпульсна техніка, вторинні джерела живлення, основи цифрової електроніки» – Тернопіль: ТНТУ, 2024. -26 с.

69. Трембач Р.Б., Шовкун О.П. Методичні вказівки до виконання до виконання лабораторних робіт з дисципліни “Інформаційно – вимірювальні системи” Модуль І. «Вимірювальна техніка» – Тернопіль: ТНТУ., 2024. – 67 с.
70. Методичні вказівки для написання розділу «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» в кваліфікаційних роботах здобувачів освітнього рівня „бакалавр”. Для студентів всіх форм навчання рівень вищої освіти перший (бакалаврський)/ укл.: О. Я. Гурик , І. Б. Окіпний. – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. - 20 с.
71. Навчально-методичний посібник до практичних заняття з дисципліни «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» для студентів освітнього ступеня „бакалавр" усіх спеціальностей та форм навчання / Укладачі : О. Я. Гурик, І. Б. Окіпний, В. С. Сенчишин, С. Ю. Мариненко, О. І. Король. Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2025. 123 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/48496>
72. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д., Пасічник В. В. Комп’ютерні мережі. Книга 1 [навчальний посібник]. Львів : «Магнолія 2006», 2013. 256 с.
73. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д., Пасічник В. В. Комп’ютерні мережі. Книга 2. [навчальний посібник]. Львів : "Магнолія 2006", 2014. 312 с.
74. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д. Телекомунікаційні системи та мережі. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. 384 с.
75. Буров Є., Митник М. Комп’ютерні мережі. (у 2-х томах). Львів, Магнолія, 2018.
76. Комплексна безпека інформаційних мережевих систем. Навчальний посібник для студентів спеціальності 174 «Автоматизація, комп’ютерно-інтегровані технології та робототехніка» / А. Г. Микитиший, М. М. Митник, О. С. Голотенко, В. В. Карташов. – Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2023. – 324 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/42625>

77. Пилипець М. І. Правила заповнення основних форм технологічних документів : навч.-метод. посіб. / Уклад. Пилипець М. І., Ткаченко І. Г., Левкович М. Г., Васильків В. В., Радик Д. Л. Тернопіль : ТДТУ, 2009. 108 с.
<https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/42995>