

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до дипломної роботи (проекту)

магістра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на *Розробка автоматизованого методу контролю якості*
тему: *листового прокату на основі аналізу поверхневих пошкоджень та*
зламу
(комплексна тема)

Виконали: студенти 6 курсу групи КАм-61

спеціальності

174 - «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані
технології та робототехніка»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

(підпис)

Макар Василь Ігорович

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Макар Андрій Ігорович

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

проф. П.О. Марущак

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

ст. викл. Козбур І.Р.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Макар Василь Ігорович, Макар Андрій Ігорович *Розробка автоматизованого методу контролю якості листового прокату на основі аналізу поверхневих пошкоджень та зламу (комплексна тема).* - Тернопіль, ТНТУ, 2023. – 93 с.

Ця кваліфікаційна робота магістра містить відомості про новий метод аналізу поверхневих дефектів сталевієї смуги та основі підходів штучного інтелекту. Незважаючи на те, що дефекти металопрокату мають різноманітні та складні характеристики, розроблено алгоритми виявлення поверхневих дефектів сталевієї смуги, що мають хорошу ефективність узагальнення. З метою виявлення поверхневих дефектів сталевієї смуги ми створили імітацію дефектів холоднокатаної сталевієї смуги та камеру для відтворення умов зйомки поверхні смуги під час її транспортування після прокатування.

Розроблений підхід моніторингу якості металопрокату використовує системи зору, які ґрунтуються на описі зображення та надійній класифікації. У цій кваліфікаційній роботі досліджено вплив освітленості поверхні на якість виявлення дефектів. Фільтри, попередньо отримані з природних зображень, застосовуються до зображень дефектів сталі як новий індикатор структури поверхні. Вони забезпечують досить розбірливий опис зображення. Релевантне скорочення даних використовується разом із класифікатором, щоб забезпечити ефективний рівень розпізнавання дефектних гарячекатаних виробів.

Ми представили новий підхід, заснований на глибокому навчанні, для виявлення та класифікації поверхневих дефектів, які виникають під час процесу виробництва сталі, на основі розробленої у ТНТУ лабораторної установки.

Оцінено економічну ефективність проекту та запропоновано заходи з охорони праці, безпеки життєдіяльності та охорони довкілля.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	
1.1. Холоднокатаний металопродукт та його технологічні дефекти.	8
1.2. Штучні нейронні мережі.....	16
1.3. Статистичний застосування методів машинного навчання для аналізу дефектності металопродукту.....	22
2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	
2.1. Автоматизоване керування випробувальною машиною СТМ-100 на базі платформи MTL32.....	30
2.2. Автоматизація механічних випробувань. Програмний комплекс TestBuilder.....	33
2.2.1. Генератор сигналів задання.....	35
2.2.2. Вибір типу і режимів навантажування.....	38
2.3. Чинники впливу на якість фотозображення.....	40
3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	
3.1. Вплив освітленості на зображення аналізованих поверхонь.....	50
3.2. Виявлення ямок відриву на поверхні руйнування металопродукту за допомогою нейромережі.....	66
4. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	66
5. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА.....	72
6. ОХОРОНА ПРАЦІ	
6.1 Загальні положення щодо неруйнівного контролю. Система сертифікації та атестації персоналу та лабораторій.....	78
6.2. Кваліфікаційні вимоги до персоналу випробувальних лабораторій.....	79
6.3. Світлодіодне освітлення та його вплив на персонал.....	80

7.	БЕЗПЕКА	В	НАДЗВИЧАЙНИХ
СИТУАЦІЯХ.....		85	
ВИСНОВКИ.....			90
Перелік посилань.....			91

ВСТУП

Незважаючи на те, що на багатьох металургійних заводах для виявлення дефектів все ще покладаються на людей-інспекторів, цей застарілий метод страждає від високого рівня помилкового виявлення, низької ефективності та непослідовності між інспекторами. Розвиток штучного інтелекту дає промінь надії, а його продуктивність у виявленні дефектів сигналізує про нову еру, головним компонентом якої є глибоке навчання [1, 2, 3, 4]. Однак вузьким місцем у традиційних підходах глибокого навчання є високий попит на мічені дані, дефіцит продукту, коли мова йде про дефекти сталевих поверхні, не кажучи вже про значні витрати, пов'язані з маркуванням. Усі ці аспекти прокладають шлях до раціональності методологій виявлення об'єктів за кілька пострілів у сфері виявлення дефектів на поверхні сталі [5, 6].

Для виявлення об'єктів за кілька кадрів переважаючі методи переважно залежали від тривалого навчання з великим набором даних позначених зображень. Однак у практичних сценаріях отримати достатню кількість мічених зображень часто неможливо, а сам процес мічення виявляється трудомістким і дорогим. Ефективність виявлення об'єктів невеликої вибірки полягає в його здатності ідентифікувати нові типи об'єктів за допомогою обмеженого набору позначених зображень, таким чином уникаючи потреби у великих наборах даних.

Завдання класифікації дефектів на сталевих поверхнях за допомогою методів комп'ютерного зору становить значну проблему через вплив освітлення та змін матеріалу на зображення дефектів. Крім того, поява дефектів різко відрізняється не тільки в межах категорії сталевих поверхонь, але й між

категоріями, що ще більше ускладнює процес класифікації. Тому розробка точного та надійного алгоритму класифікації дефектів для врахування цих складнощів є постійною темою досліджень у галузі комп'ютерного зору. Поточні методи класифікації зображень в основному бувають двох типів: традиційні алгоритми класифікації зображень машинного навчання та методи глибокого навчання на основі згорткових нейронних мереж. Традиційні алгоритми класифікації зображень в основному реалізуються за допомогою двох основних етапів виділення ознак і розробки класифікатора, таких як алгоритм K-Nearest Neighbor, опорна векторна машина і нейронні мережі, які широко використовуються в комп'ютерах. бачення. У практичних програмах класифікації дефектів стикаються з різними складними ситуаціями, і важко досягти вимог щодо точності, використовуючи традиційні методи обробки зображень.

Ідентифікація поверхневих дефектів у сталі проходить три процеси: ручне виявлення людиною, прогнозування за допомогою алгоритмів машинного навчання та автоматичне виявлення за допомогою глибокого навчання. В останні роки методи класифікації зображень на основі глибокого навчання досягли хороших результатів, такі як VGGNet (Visual Geometry Group Network) і ResNet (Residual Network). U-Net використовується для завдання виявлення та класифікації дефектів зварювання за допомогою рентгенівських зображень, штучних нейронних мереж і методів аналізу зображень.

1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1. Холоднокатаний металопрокат та його технологічні дефекти

Є різні методи виявлення та класифікації дефектів сталевих поверхні. Зокрема розглядають апаратні та програмні аспекти візуального виявлення, класифікуючи методи виявлення на статистику, моделі, фільтрацію та машинне навчання. Крім того методи класифікації поділяють на контрольоване та неконтрольоване навчання. Відомі комплексні дослідження методів виявлення та класифікації поверхневих дефектів, розділивши методології на статистичні, спектральні, модельні та підходи машинного навчання для плоских сталевих виробів. Типову систему візуального контролю сталевих поверхневих смуг можна розділити на три основні компоненти: блок отримання зображення, алгоритми візуальної обробки та блок керування. У цьому дослідженні представлені сучасні методи візуальної обробки спеціально для виявлення та класифікації дефектів сталевих смуг, спираючись на попередні огляди та надаючи оновлений огляд поточного стану галузі.

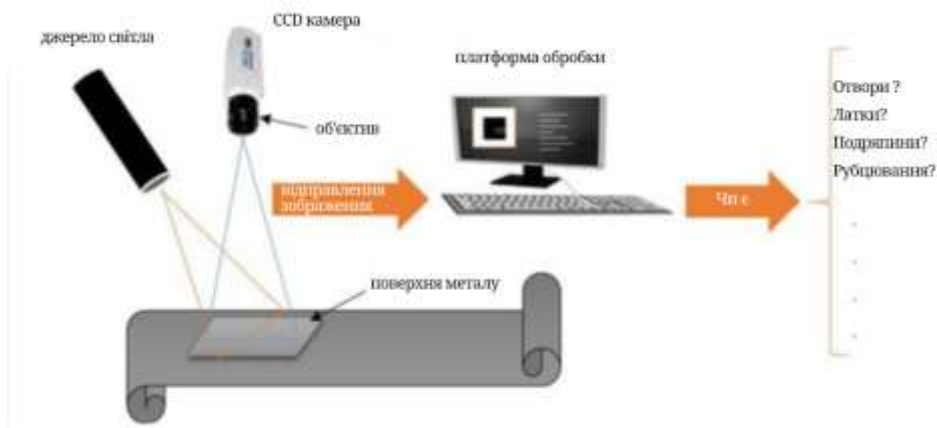


Рис. 1.1. Елементи блоку отримання зображення [7, 8]

Враховуючи складний характер виявлення та класифікації дефектів у промислових умовах виробництва сталевих смуг, дослідження щодо покращення контролю якості тривають. Потребують вдосконалення методології для досягнення точності та підвищеної ефективності дефектометрії. Отже подальшого розвитку вимагають:

-оцінки продуктивності різних найсучасніших алгоритмів для виявлення та класифікації дефектів на сталевих поверхнях;

- оціночні метрики, які зазвичай використовуються для виявлення дефектів сталевих поверхні, які загалом описані у чинному ГОСТ. Надаючи розуміння цих показників дефектності, документ допомагає оцінити ефективність методів виявлення дефектів.

-виявлення та класифікації дефектів сталевих поверхні.

Сталева поверхня неминуче накопичує дефекти протягом усього процесу виробництва. Ці дефекти включають подряпини, що виникають внаслідок відносного руху між твердим гострим предметом і сталеву поверхню або між двома сталевими поверхнями, такими як пластини та смуги та поверхня прокатного, або транспортуючого ролика. Розглянемо приклади типових дефектів поверхні сталевих прокату. Різноманітний набір виробів зі сталеву поверхню демонструє широкий спектр дефектів, які характеризуються як подібністю, так і відмінностями в цих групах. Ця різноманітність і подібність є причиною необхідності уточнення класифікації дефектів [8, 9, 10].



Рис. 1.2. Категорії сталевих виробів.

Одними з базових видів металопродукції є холоднокатаний сталевий лист (смуга) затверджених стандартом розмірів – один з різновидів металопрокату. За цієї технології, метал прокатують з певними обтисканнями до потрібної товщини, яка може сягати 0,4 мм і менше.



Рис. 1.3. Холоднокатана смуга.

Холодне прокатування виконують без підігріву смуги, і це головне, чим відрізняється гарячекатаний лист від холоднокатаного. Лист холоднокатаний певної довжини отримують шляхом поперечного різання холоднокатаних рулонів або прокатуванням листа гарячекатаних смуг на спеціальних станах. Використовують холоднокатані сталі: 08кп, DC01, 10кп, 08пс, 08Ю, 08, 10пс, 15кп, 20кп, 15пс, 20пс,; 25, 30, 35, DC04, DC04ЕК та інші. Після холодного прокатування, в поверхневих шарах смуги ормується ефект наклепу. Для усунення анізотропії властивостей перерізу прокату його піддають термічній обробці - відпалу. За результатами відпалу метал набуває остаточного комплексу механічних характеристик. Холоднокатана сталь має більш точну геометрію (вузькі допуски) і гладшу поверхню порівнян з гарячекатаною. Серед інших показників варто зазначити: можливість отримання продукції завтовшки 0,25-0,5 мм.

Також, холоднокатана сталь має вищу, ніж гарячекатана, схильність до корозії (внаслідок відсутності шару окалини на поверхні); зміцнений поверхневий шар (наклепаний); рівномірний розподіл механічних характеристик вздовж перерізу та довжини листа після термічного оброблення,

вужчі діапазони властивостей; високу пластичність відпаленої сталі, можливість багаторазового вигину та надання складних форм виробам. Листовий холоднокатаний прокат використовують зазвичай під холодне штампування, формування та полірування, а також як матеріал для виробів із завищеними вимогами за якістю поверхні.

У стандартах України є низка основних показників, що підрозділяють холоднокатий прокат на категорії та підвиди. Холоднокатана сталь за складом хімічних компонентів може відповідати ДСТУ 2651, ГОСТ 380, ГОСТ 9045, ДСТУ 7809, ГОСТ 1050, ГОСТ 19281, EN 10130 та іншим міжнародним стандартам.



Рис. 1.4. Транспортування холоднокатаного прокату

Геометричні параметри листового прокату нормуються українським стандартом ДСТУ 8971, міждержавним ГОСТ 19904, європейським EN 10131 та іншими документами. Головними стандартами, що нормують решту технічних вимог до холоднокатаної листової сталі (рівень механічних властивостей, якість поверхні, придатність до витяжки та штампування та інші) є ДСТУ 2834, ГОСТ 16523, ГОСТ 9045, ГОСТ 17066, EN 9 10.

Гарячекатаний прокат виготовляють із сталевих напівфабрикатів - слябів, які перед прокатуванням нагрівають до температур вище 1000 °С.

Холоднокатаний прокат отримують шляхом прокатування без нагрівання попередньо підготовленого гарячекатаного рулону або листа.



Рис. 1.5. Гарячекатаний прокат (ГКП)

Товщина ГКП не може бути меншою за 0,5 мм та до 200,0 мм. Для видалення з поверхні такого листа оксидів, що утворилися під впливом нагрівань і охолодження металу на повітрі, необхідне додаткове очищення з використанням хімічних, механічних та електрохімічних методів. Головний показник, за яким можна відразу відрізнити холоднокатаний і гарячекатаний листи - візуальна різниця між їх поверхнями. У листів ГКП вона може бути матовою і шорсткою, а також нормальною, покращеною або високою площинністю. ХКП притаманні рівні кути та мінімальні відхилення у розмірах.



Рис. 1.6. Холоднокатаний прокат (ГКП)

Поверхня листа г/к не так сильно страждає від корозії через наявність на поверхні окалини, яка дещо захищає внутрішні шари від проникнення вологи. Типові дефекти одержані під час технологічного процесу прокатування подано на рис. 1.7.

У попередні роки практикували візуальне оцінювання якості металопрокату. Хоча наведене вище рішення може частково задовольнити вимоги металургійного виробництва щодо якості поверхні смуги, воно має наступні недоліки:

1. Виробництво смуги часто відбувається у нічний період, що вимагає інспекторів з якості, які роблять попередні висновки вночі, після довгих годин роботи. Нічна робота шкодить їхньому здоров'ю, а втома може викликати помилки діагностики.

2. Для інспекторів з якості робота зі спостереження за дефектними картинками протягом тривалого часу не тільки лише зумовлює зорову втому, але й дуже нудна, що сприяє пропущенню дефектних ділянок.

Крім того, робота з контролю якості збільшує вартість прокатування сталевих смуг, внаслідок необхідності значної кількості працівників.

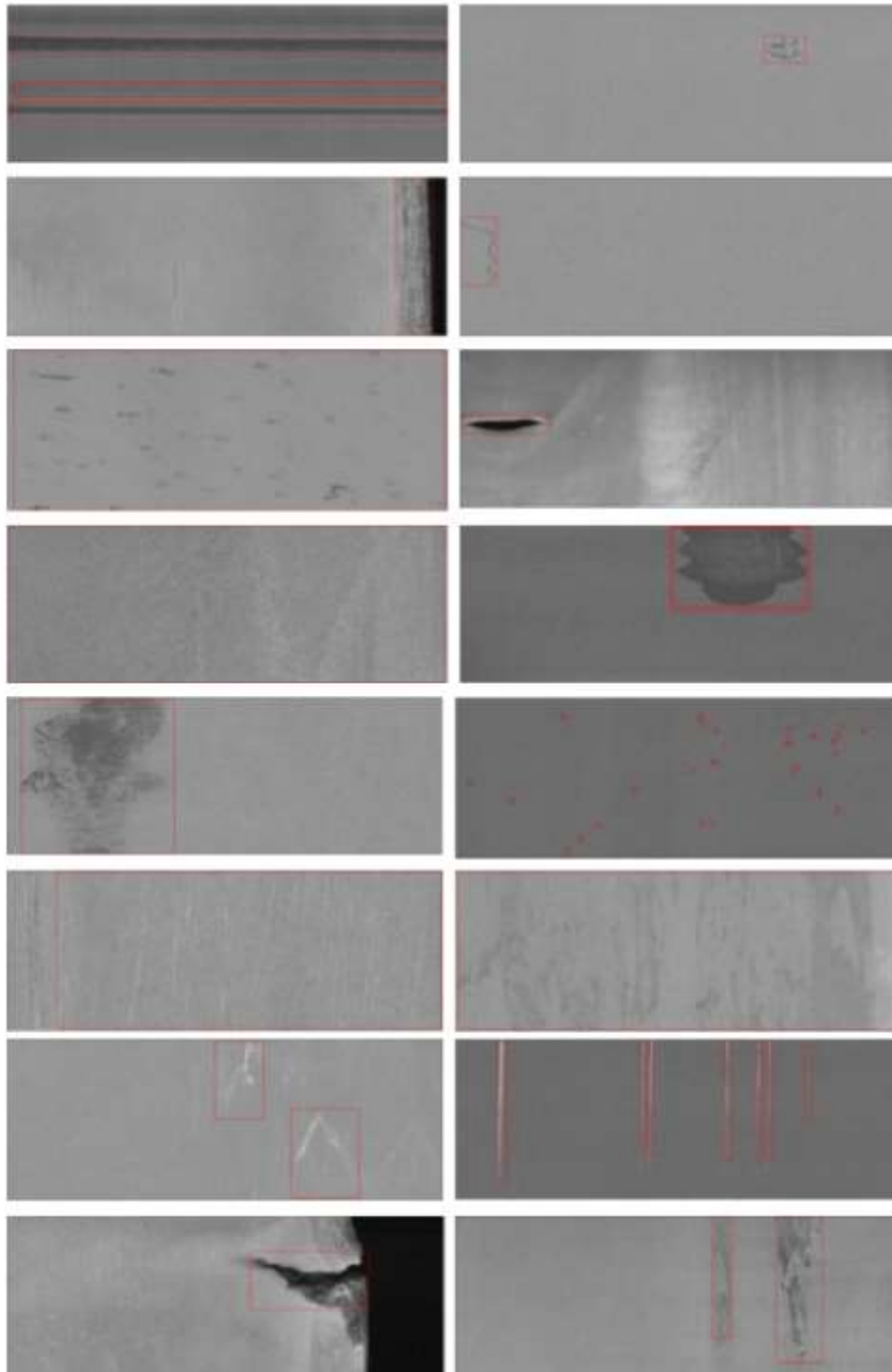


Рис. 1.7. Типові дефекти металопродукту

Основною причиною вдосконалення візуального тестування на основі системи виявлення дефектів поверхні смуги є те, що точність існуючої системи ще не така висока, як точність інспекторів якості. Отже, ключове питання полягає в тому, як підвищити точність цієї системи, щоб досягти середнього рівня контролю якості працівників. Система виявлення дефектів поверхні

смуги, яка сьогодні зазвичай використовується на металургійних заводах, показана на рис. 1.8.

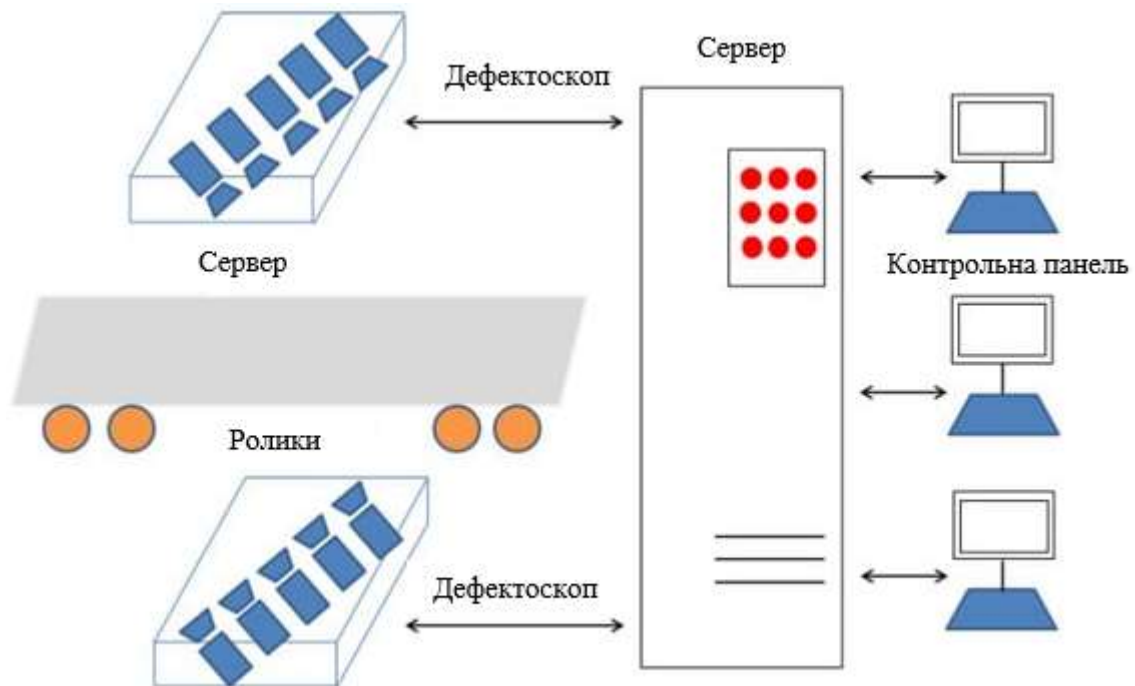


Рис. 1.8. Система виявлення дефектів поверхні холоднокатаної стрічки [11, 12, 13]

На рис. 1.8., показано схематичну діаграму виявлення поверхневих дефектів смуги. Ролики конвеєра обертаються та проганяють стрічку через контрольний пристрій на високій швидкості, а контрольний пристрій робить високошвидкісні зображення поверхні стрічки. Пристрої для перевірки зазвичай включають промислові камери, промислові джерела світла, захисні пристрої тощо; зображення поверхні смуги, зроблені контрольними пристроями, передаються на сервер, який обробляє їх за алгоритмом на сервері.

Сервер визначає зображення, які можуть бути дефектними, і надсилає їх персоналу контролю якості на консолі - для визначення та зберігання їх для подальшої перевірки. Апаратне забезпечення поточної системи виявлення дефектів на поверхні смуги є достатнім для використання виявлення, тоді як алгоритм на сервері визначає остаточну точність класифікації дефектів на смугі. Проте, щоб усунути недоліки існуючої системи, згадані вище ми

намагаємося підвищити точність діагностування, з урахуванням впливу технологічних факторів.

1.2. Штучні нейронні мережі

Нейронні мережі є моделлю оброблення інформації, яка виникла на основі аналізу функціональності біологічних нервових систем, таких як мозок або центральна нервова система. Багатошаровий перцептрон (MLP) широко використовують серед різних архітектур ШНМ. Проста архітектура MLP містить один вхідний рівень, один вихідний рівень і один прихований рівень. Класифікатор на основі MLP для класифікації дефектів на сталевих поверхнях структурований наступним чином: розмір вхідного шару відповідає кількості компонентів (m) у векторах ознак, що представляють сталеву поверхню.

Згорткова нейронна мережа (CNN) - це тип глибокої нейронної мережі, що використовує послідовні операції на різних рівнях, які призначені для роботи з двовимірним зображенням. Відомо, що CNN є успішним алгоритмом нейронної мережі для обробки та розпізнавання зображень. Архітектура CNN зазвичай складається з двох основних етапів, тобто виділення ознак і класифікації, в той час як вона навчається описувати просторову інформацію зображень на різних шарах. Витягнуті представлення ознак подаються в останню частину архітектури, де модель малює ймовірність приналежності до певного класу. Подібним чином ваги та зміщення моделі оптимізуються шляхом навчання нейронної мережі за допомогою алгоритму зворотного поширення.

Традиційно існує три різних типи рівнів в архітектурі CNN, тобто згортковий, об'єднаний і повністю зв'язаний рівень, рис. 1.9. Згортковий рівень використовує операцію згортки для виділення просторових особливостей зображення, тут карти функцій обчислюються шляхом використання поелементного множення між вхідним зображенням і оператором, який називається ядром або фільтром. Рівень об'єднання виконується як техніка підвибірки, а потім шар згортки. Він спрямований на зменшення заплутаних карт функцій, щоб зменшити кількість параметрів, які можна навчити, а також покращити інваріантність для зсуву та спотворення.

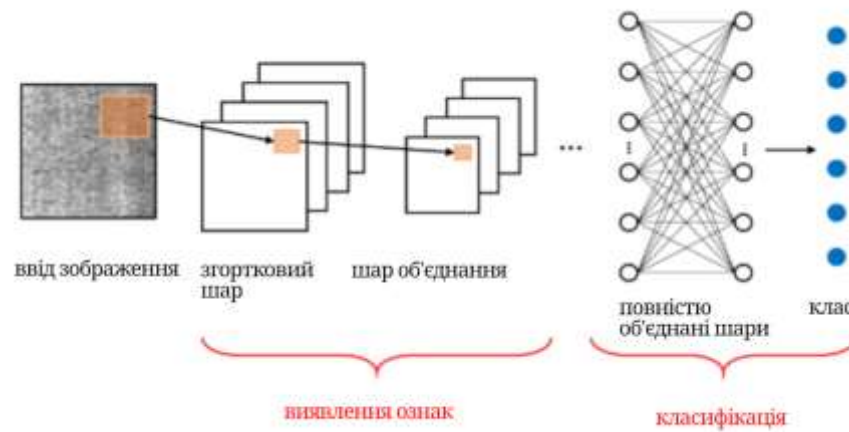


Рис. 1.9. Схема типової згорткової мережі [13, 14]

Типовий метод об'єднання, тобто максимальне об'єднання, використовується шляхом взяття найвищих значень тензорів з кожного певного регіону на картах функцій. Нарешті, повністю підключений рівень використовує інтенсивні функції, створені за допомогою двох типів шарів, тобто шарів згортки та шарів об'єднання, для категоризації вхідних зображень у класи.

Відомо значну кількість спроб використання ШНМ для контролю якості поверхні металопрокату. Зокрема, запропоновано покращений алгоритм зворотного поширення для перевірки якості холоднокатаних смуг, наголошуючи на модифікації, яка прискорює конвергенцію. Є адаптивні обчислювальні методи, на основі контрольованого та неконтрольованого навчання, що дозволяють створити основу для створення надійної системи підтримки прийняття рішень для класифікації дефектів сталевих поверхні.

ResNet

Особливої популярності та швидкого розвитку набули згорткові нейронні мережі (CNN) які визначають особливості зображень поверхні сталевих смуги та дозволяють ідентифікувати дефекти. Типова згортка нейронної мережі складається з модулів, які складаються із згортки, об'єднання, повного зв'язкового рівня тощо. Наприклад, ResNet містить згорткові шари, залишкові блоки і повністю зв'язані шари. Оскільки в реальному виробничому середовищі

смуг з дефектами менше ніж бездефектних, це значно скорочує середній час роботи алгоритму, і дозволяє спочатку класифікувати смуги без дефектів за допомогою класифікатора. Відомий підхід у якому одночасно використовують класифікацію бінарних зображень і алгоритм виявлення об'єктів для підвищення точності та скорочення середнього часу роботи.

Спочатку зменшують розмір зображення. Потім зразки поділяють на зразки без дефектів та інші за пороговим значенням $= 0,3$ у покращеній моделі класифікації ResNet50, яка додає деформуючу обертову мережу (DCN). Якщо ймовірність наявності дефекту менше за 0,3, алгоритм визначає бездефектну поверхню.

З метою розвитку та покращення цього підходу в модель введено модуль виявлення об'єктів, що удосконалило і пришвидшило R-CNN. Також підхід набув об'єднання просторових пірамід (SPP), розширені пірамідні мережі функцій (FPN) і матричну NMS для виявлення дефектів. Остаточним результатом є виявлення розташування та класифікація дефекту на поверхні смуги, або встановлення бездефектної або без дефекту в зразку. Далі буде представлено дві частини алгоритму

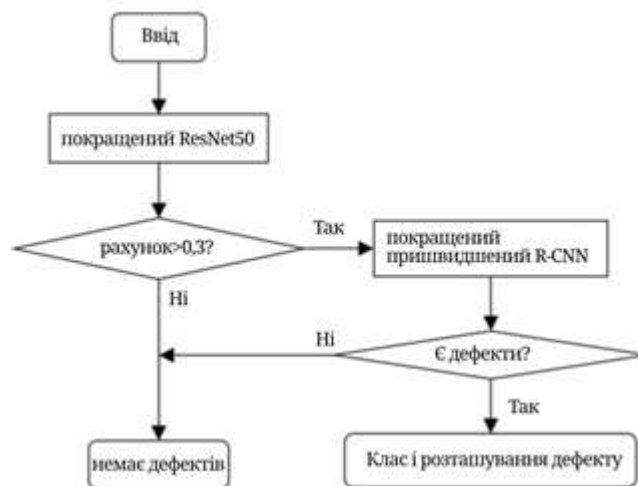


Рис. 1.10. Структура алгоритму [15, 16, 17]

ResNet50

ResNet є однією із найпотужніших глибоких нейронних мереж, яка має високу продуктивність і широкий спектр використання, зокрема виділення

ознак та безпосередньо класифікацію зображень. Це відомо з прикладів виявлення об'єктів і сегментації зображень. Мережа ResNet є інноваційною порівняно з мережею VGG19. Зміни в основному відображаються в додаванні залишкових одиниць, використанні згортки з кроком $= 2$ для зменшення дискретизації та використанні глобального середнього рівня об'єднання для заміни повного рівня з'єднання. Важливим принципом проектування ResNet є те, що коли розмір карти функцій зменшується вдвічі, кількість карт функцій подвоюється, що забезпечує складність мережевого рівня. Після додавання залишкового модуля, який може зменшити деградацію глибокої CNN у ResNet, ми можемо створити більш глибоку мережу для досягнення кращих результатів.

Кілька рівнів нейронної мережі, що містять швидке з'єднання, називають залишковим блоком. Залишковий блок містить два шляхи, один для звичайних шарів згортки, а інший для швидкого підключення. $\text{Conv}3 \times 3$ є операцію згортки з використанням ядра згортки 3×3 . BN є операцією пакетної нормалізації. Якщо вхід дорівнює x , досліджувана функція становить $F(x) + x$. Якщо залишок дорівнює нулю, модуль залишку виконує лише обчислення ідентичності, і продуктивність не погіршується. Насправді залишкова величина не буде дорівнювати нулю, що змусить модуль залишкової інформації вивчати нові функції на основі вхідних функцій, тому він має кращу продуктивність.

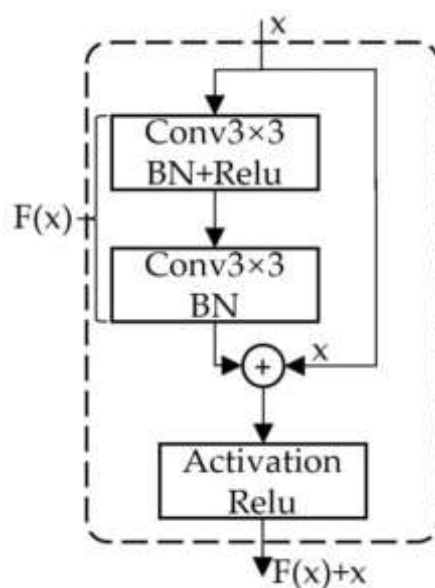


Рис. 1.11. Залишковий блок [18, 19]

YOLOv8

YOLOv8 має п'ять версій, а саме YOLOv8n, YOLOv8s, YOLOv8m, YOLOv8l і YOLOv8x. YOLOv8s підтримує хорошу точність виявлення та демонструє вищу швидкість. Тому, зараз YOLOv8s обирають як базову модель багатьох методів діагностування.

YOLOv8s складається з чотирьох частин: входу, хребта, шиї та голови. Основною функцією введення є зміна розміру вхідного зображення до розміру, зручного для структури мережі, і виконання мозаїчного доповнення даних. Магістраль відповідає за вилучення функцій із вхідного зображення, щоб наступна головка виявлення могла використовувати ці функції для виявлення та розпізнавання об'єктів. C2F - це основний модуль виділення функцій YOLOv8s, натхненний філософією дизайну ELAN з YOLOv7. C2F підвищує ефективність передачі та використання функцій, додаючи додаткові градієнтні шляхи для сприяння внутрішньому градієнтному потоку. Елементи мережі піраміди характеристик (FPN) і мережі агрегації шляхів (PAN) поєднано для досягнення багаторівневого злиття функцій, що полегшує багатомасштабне прогнозування цілі. Після виділення ознак і об'єднання можливо виконати класифікування та обчислення регресії обмежувальної рамки для отримання остаточних результатів.

C2F-YOLOv8s

Хоча ефективно підвищення точності виявлення, широке використання C2f в YOLOv8s також має деякі негативні наслідки. Структура C2f, містить кілька блоків CBS і вузьких місць, де кожне вузьке місце містить два шари CBS, з'єднані залишковими з'єднаннями. Висока обчислювальна складність і велика кількість параметрів C2f є результатом укладання кількості згорткових шарів. Крім того, в операціях багаторівневої згортки обмеження, накладені розміром вікна згорткових ядер і наслідками операцій об'єднання, можуть призвести до втрати детальної інформації для малих дефектів, що вплине на здатність точно

локалізувати та класифікувати об'єкти. На рис. 1.12 показано загальну структуру CFE-YOLOv8s.

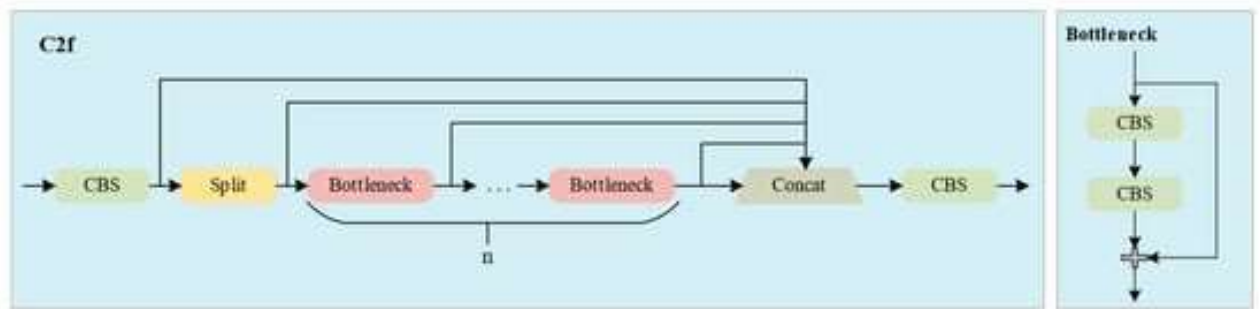


Рис. 1.12. Структура модуля C2f.

Магістраль використовує CBiF і FC як модулі вилучення функцій для підвищення ефективності виділення, за одночасного зниження обчислювальної складності та кількості параметрів. EFC використовується на шії для покращення поєднання функцій моделі. Нижче наведено точні замітники:

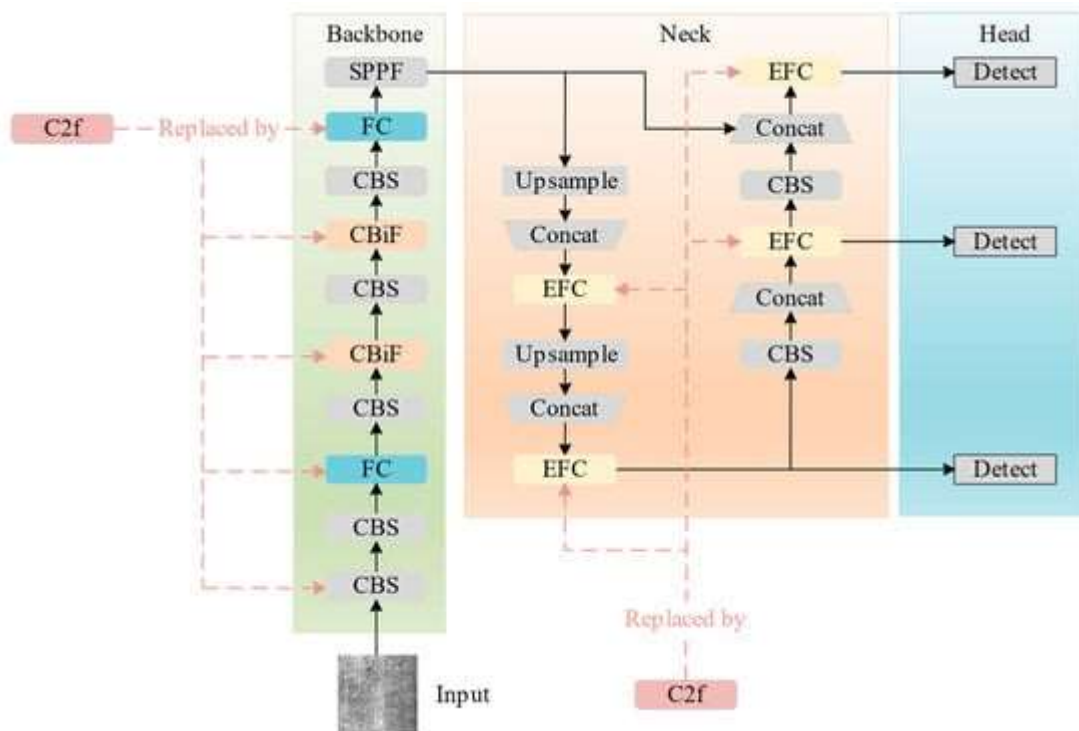


Рис. 1.13. Загальна структура CFE-YOLOv8s [20, 21]

1. Два проміжні модулі C2f в магістралі замінено на CBiF;
2. Початковий і кінцевий модулі C2f в магістралі замінені на FC;

3. Усі екземпляри C2f в сегменті ший замінені на EFC.

Модель ACPP-Net

Розглянемо процес діагностування за допомогою моделі ACPP-Net. ACPP-Net містить новий модуль розширення функцій, FEM-block, спеціально розроблений для покращення можливостей вилучення функцій магістралі. Крім того, модуль Channel-Spatial Pyramid Pooling (CSPP) включено для покращення здатності моделі ефективно розрізняти дефекти сталі та їх просторовий розподіл. Легка конструкція моделі досягається в компоненті Neck внаслідок використання спеціально розробленого полегшеного модуля (LM-блоку).

Для виявлення та локалізації дефектів у моделі використано підхід, заснований на прив'язці, при цьому головка використовує три 1×1 згортки для прогнозів. На рис. 1.14 показано комплексну архітектуру моделі ACPP-Net, яка демонструє інтеграцію цих інноваційних компонентів.

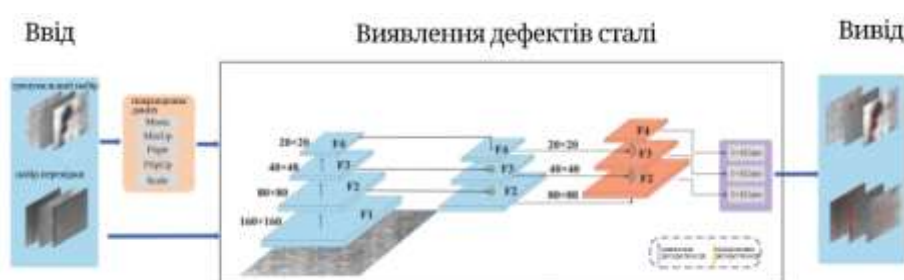


Рис. 1.14. Застосування ACPP-Net [22, 23]

1.3. Статистичний аналіз застосування методів машинного навчання для аналізу дефектності металопрокату

Грунтуючись на огляді методів виявлення дефектів сталевих поверхні, помітно, що протягом багатьох років є послідовне збільшення кількості робіт, присвячених методам виявлення дефектів.

Існує загальна тенденція до зменшення застосування статистичних методів. Це зумовлено популярністю більш складних методів машинного навчання [24, 25, 26, 27]. Що стосується спектральних методів, то вони зазнавали коливань протягом багатьох років, з піком приблизно у 2006–2010 роках, перш ніж поступово зменшити використання. Подібним чином, методи, засновані на

сегментації текстур, демонструють пік приблизно у 2006–2010 роках, а потім є менш використовуваними. Як показано на рис. 1.15 найпомітнішим є значне збільшення методів, заснованих на машинному навчанні, особливо в останній період 2021–2024 років. Це свідчить про зростаючий інтерес і впровадження методів машинного навчання для виявлення дефектів на поверхні сталюго металопрокату. Отже, аналіз свідчить про перехід від традиційних статистичних методів і методів, заснованих на сегментації текстури, до більш просунутих підходів, заснованих на машинному навчанні, для виявлення дефектів сталевих поверхні в останні роки. Цей зсув, ймовірно, викликаний збільшенням доступності даних, прогресом у алгоритмах машинного навчання та бажанням створити більш точні та ефективні системи виявлення дефектів у промислових умовах.

Наприклад, класифікація дефектів визначає, «чи» дефект присутній, і «який» тип дефекту, як у бінарному, так і в багатокатегорійному порядку; для завдання класифікації той самий рівень інформації надається кодуванням тегів на рівні зображення для основної правди. Нижчий рівень деталізації забезпечено наприклад тоді, коли завдання локалізації дефекту на зображенні виконано за допомогою анотації на рівні зображення: очікуваний вихід із мережі має більш детальний результат (локалізація дефекту на зображенні) щодо землі. правда (тег загального зображення).

Примітно, що кінцевих результатів можна досягти шляхом навчання мережі більш грубою інформацією. Точніші знання одержують шляхом використання рівня впевненості в мережі та внутрішньої уваги до функцій, корисних для остаточного прогнозування. Наприклад, починаючи з моделі, яка виконує класифікацію, через карти помітності, що виділяють помітні (тобто важливі) області, методи пояснюваного штучного інтелекту, розробляють дефектну сегментацію області, забезпечуючи єдину глобальну мітку для кожного зображення, отримуючи локальний результат із різким скорочення часу та зусиль для вилучення даних. Отже, поєднання цільового завдання (наприклад, класифікація, локалізація або їх комбінація) з мітками зображень для навчання

мережі не має унікального поєднання і призводить до того, «як» контролювати систему DL.

Класифікація дефектів полягає у з'ясуванні «чи» та/або «якого типу» дефект присутній, що означає виконання двійкової або багатокласової класифікації. Він призначає мітку (наприклад, «подряпина») всьому зображенню або ділянкам, на які розділене зображення.

Локалізація дефектів визначає «де» знаходиться дефект і надає оцінку класифікації та/або спеціальну мітку для областей змінного розміру або пікселів зображення, які повідомляються як сумісні з наявністю дефектів. Оскільки локалізація дефектів розглядається у величезній кількості різних праць у літературі, автори вирішили згрупувати їх глибше, розділивши їх на дві гілки, що називаються *сегментацією дефектів* і *виявленням дефектів* відповідно. Потім, відповідно до бажаного результату, автори визначили ці три основні цільові завдання, до яких підпадають усі визнані статті. зокрема:

- **Виявлення дефекту** розмежовує прямокутну область, що обмежує дефект, і класифікує його.
- **Сегментація дефекту** являє собою розширення дефекту, що дає йому точні межі.
- **Класифікація дефектів** оцінює наявність дефектного шаблону та пов'язує із зображенням прототип отриманої концепції (дефекту).

Сегментацію дефектів і виявлення дефектів проводять для розпізнаних дефектів, здійснюють їх просторову прив'язку; це дозволяє кваліфікувати дефекти та, наприклад, виділити морфологічні ознаки (ширина, довжина, співвідношення сторін, площа тощо), які можуть бути пов'язані з функціональною дисрегуляцією або виробничим процесом.

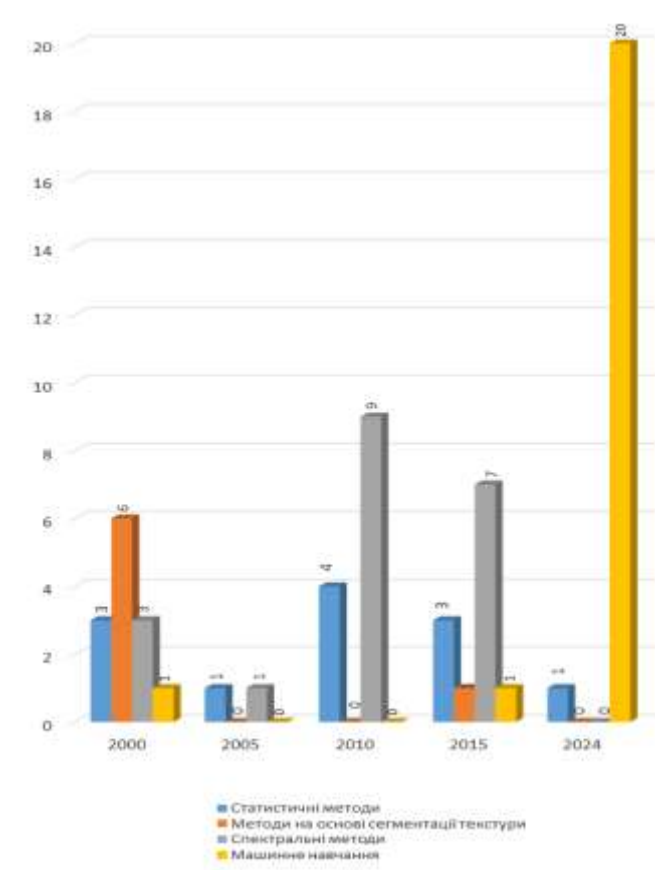


Рис. 1.15. Статистичний розподіл методів виявлення.

Протягом багатьох років є чітка тенденція до зростання використання методів під наглядом, із помітним збільшенням кількості робіт з 2016 по 2020 рік. Методи без нагляду були менш поширеними, ніж методи під наглядом, із спорадичним використанням протягом багатьох років.

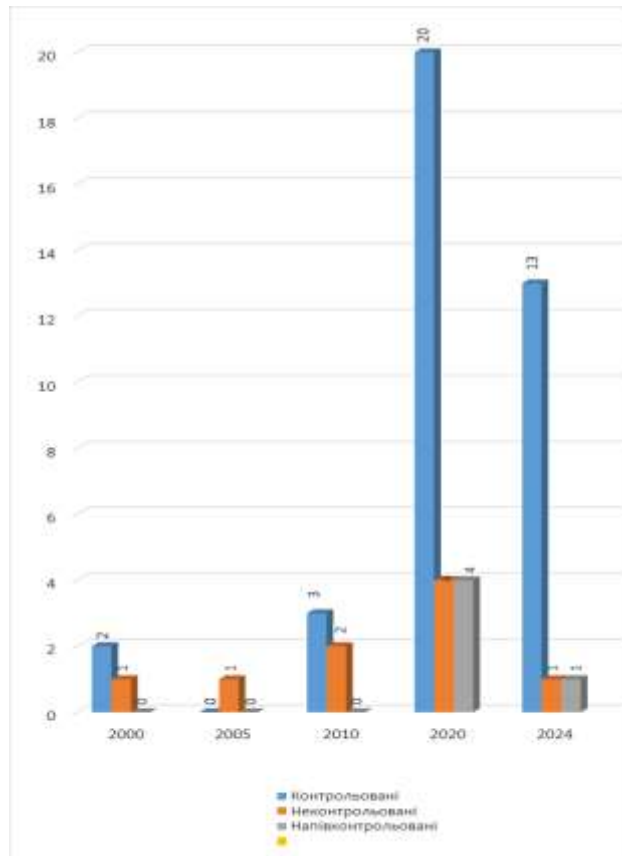


Рис. 1.16. Статистичний розподіл методів класифікації.

Кількість робіт, присвячених неконтрольованим методам є відносно протягом всіх періодів. Напівкеровані методи знайшли певне застосування, особливо з 2016 по 2020 рік, де помітне збільшення кількості робіт порівняно з попередніми роками. Однак також виявлено помітне збільшення дослідження неконтрольованих і напівконтрольованих методів. Аналіз свідчить про те, що в даний час основну увагу приділено контрольованим методам класифікації дефектів на поверхні сталі, причому менша частка робіт зосереджена на неконтрольованих і напівконтрольованих методах. Ця тенденція вказує на перевагу методів, які залежать від позначених даних.

Вичерпний огляд методів, що використовуються для виявлення та класифікації дефектів на сталевих поверхнях потребує набагато глибших досліджень. Проте загалом, тут описано основні методи, зокрема підходи до машинного навчання і їх прогрес у автоматизації інспекції сталевих поверхонь. Різні фактори, включаючи жир, бруд, домішки, зміни температури та висока вологість, можуть спричинити дефекти на сталевих поверхнях. Крім того, ці

категорії дефектів мають певну різноманітність і схожість, що створює проблеми для їх точної класифікації. Відзначено, що в останніх методах виявлення та класифікації дефектів сталевих поверхні наголошується на навчанні під наглядом через його високу продуктивність, що призводить до відносного нехтування статистичними та спектральними методами. Тим не менш, є спостереження з попередніх досліджень, які допомагають зробити виправдані висновки в процесі виявлення та класифікації. Тому ми наголошуємо на цих спостереженнях, представляючи ключові моменти, які ми вважаємо дуже важливими:

- для оцінки продуктивності алгоритмів виявлення та класифікації та проведення справедливого порівняльного аналізу необхідно використовувати стандартний набір даних зображень;

- незважаючи на потребу в меншій кількості розмічених наборів даних, напівконтрольовані методи навчання показали нижчу точність, ніж контрольовані методи навчання;

- значна різноманітність і схожість різних класів дефектів ускладнює їх класифікацію;

- доповнення даних покращує продуктивність моделей виявлення дефектів і класифікації, особливо на нерівномірно розподілених наборах даних, які не надто великі.

Є метрики оцінки, які зазвичай використовуються при виявленні дефектів сталевих поверхні, включаючи точність, прецизійність, відкликання та оцінку F1, які відіграють вирішальну роль в оцінюванні ефективності методів, шляхом кількісного опису їх здатності виявляти та точно класифікувати дефектів металопрокату. Є кілька напрямків досліджень, які можуть підвищити продуктивність методів виявлення та класифікації дефектів. Зокрема:

- є потреба в кураторстві великомасштабних наборів даних, що включають різноманітні типи сталевих виробів і категорії дефектів, а також стандартизовані показники оцінювання, зокрема показники точності, точності, запам'ятовування та F1.

- вивчення інтеграції вдосконалених моделей машинного навчання, таких як трансформаторні моделі, графові нейронні мережі та навчання з підкріпленням, для подальшого підвищення точності та ефективності систем виявлення дефектів.

-забезпечення надійності та узагальнення моделей машинного навчання для різних виробничих середовищ і типів сталевих виробів залишається проблемою. Майбутні дослідження можуть досліджувати методи підвищення надійності систем виявлення дефектів і можливостей узагальнення, таких як навчання передачі та стратегії розширення даних.

- великі сподівання щодо майбутніх знахідок щодо виявлення та класифікації дефектів поверхні сталі вказують на дослідження моделей, заснованих на керованому навчанні, зокрема методах глибокого навчання та напівконтрольованих методах навчання, щоб подолати проблему обмежених навчальних даних. Очікується, що цей перехід до методів глибокого навчання покращить результати виявлення дефектів сталевих смуги в найближчому майбутньому.

- однією з проблем, з якою можна зіткнутися при розробці моделі виявлення дефектів сталевих поверхні, є наявність невеликих наборів даних, яким часто бракує різноманітності. Наслідком цього є розробка упереджених моделей, які не можуть належним чином узагальнити невидимі дані. Це пов'язано з тим, що типи, розміри, форми та розташування дефектів, наявних у наборі даних, недостатні. Ось деякі з напрямків, які можна дослідити для вирішення цих проблем:

1. Збільшення набору даних за допомогою звичайних методів, таких як обертання, гортання, обрізання та коригування кольорів, може бути недостатнім для збільшення розміру та різноманітності набору даних. Тоді вкрай важливо знайти нові стратегії збільшення даних, спеціально адаптовані до виявлення дефектів сталевих поверхні.

2. Розробка ефективних представлень характеристик, які описують характеристики дефектів на сталевих поверхнях, має вирішальне значення.

Складно знайти відповідні функції, які добре узагальнюють і стійкі до шуму та варіацій.

3. Вивчення моделей, які можуть добре узагальнювати від невеликих наборів даних до невидимих даних, є серйозним викликом. Методи регуляризації, перенесення навчання та методи адаптації домену можуть допомогти покращити ефективність узагальнення, але потребують ретельної адаптації та налаштування.

4. Варто дослідити інтеграцію людського досвіду в процес навчання та валідації, щоб допомогти покращити продуктивність моделі за наявності невеликих наборів даних, де людський відгук використовується для вдосконалення та перевірки моделей виявлення дефектів.

5. Розроблення еталонних наборів даних, спеціально розроблених для виявлення дефектів на сталевих поверхнях, може полегшити оцінку та порівняння різних алгоритмів і методологій.

Помічено, що алгоритми керованого навчання мають високу ймовірність стати основними підходами до виявлення та класифікації дефектів сталі, у поєднанні з проблемою підвищення точності моделі за допомогою обмежених наборів даних, більшість майбутніх робіт має бути зосереджено на розробці точної моделі на основі контрольованого навчання з низькою обчислювальною складністю для виявлення та класифікації дефектів поверхні сталі.

2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1. Автоматизоване керування випробувальною машиною СТМ-100 на базі платформи МТL32

На рис. 2.1 показано металеві листи, з яких було вирізано низку зразків для аналізу дефектності їх поверхні та проведення механічних випробувань.



Рис. 2.1. Металеві листи, з яких вирізали зразки для досліджень

MTL32 – це платформа, яка дає змогу керувати тестовими установками різних типів, які використовують 32-бітні контролери 2370 серії. Це дозволяє багатокористувацьким додаткам підключення за схемою GDS (Global Data Sharing) Дане програмне забезпечення може використовувати такі тестові системи: одна станція – один привід; одна станція – кілька приводів; багато станцій – один привід; багато станцій – багато приводів.

Програма дозволяє [28, 29]:

- керувати процесом вимірювання;
- виконувати запис експериментальних даних;
- проводити різні види навантаження (синусоїдальне, статичне та імпульсне);
- покрокове точне калібрування приладів;
- встановлювати допустимі межі навантаження з вибором дій при їх досягненні.

Для початку роботи потрібно виконати команду Operate/Go online(Go offline) для її підключення до апаратного забезпечення. Після виконання команди відбувається припинення обміну даними між програмою та контролером.



Рис. 2.2 Панель Actuator

Меню налаштувань панелі Actuator призначене для зміни параметрів датчика експериментальних даних [30, 31]. Важливим полем для заповнення є частота опитування даного датчика (Log Hz).



Рис. 2.3 Панель Servo

В дані панелі налаштовуються інтегральні та диференціальні параметри при зміні датчика.



Рис. 2.4 Панель Calibration

При підключенні датчика (в даному випадку використовувався тензодатчик

під'єднаний за мостовою схемою) проводиться його калібрування. При першому підключенні необхідно підібрати такі апаратні коефіцієнти [32, 33]:

- h/offs, - зміщення діапазону вимірювань;
- Gain1 - коефіцієнт підсилення датчика. ;
- Gain2 – коефіцієнт підсилення датчика.;
- Range – діапазон вимірювань;

Програмні коефіцієнти:

- s/w gain – програмний коефіцієнт підсилення;
- s/w off - зміщення початку відліку.

Калібрування проводиться в такій послідовності:

- автоматичне калібрування натиснувши кнопку ;
- підбір послідовно коефіцієнтів Gain2, Gain1 та h/offs;
- встановлення діапазону вимірювань Range, якщо поточне його значення не відповідає бажаному після авто калібрування.

При виявленні похибки вимірювання корекцію рекомендується проводити програмними коефіцієнтами підсилення s/w gain та s/w off



Рис. 2.5 Панель Limits

Тут встановлюються допустимі межі навантаження. Це необхідно для безпечної роботи установки. Передбачено дії, які повинні виконуватись при досягненні верхньої та нижньої меж навантаження. Зокрема Stop (припинення навантаження), Hold (утримання навантаження), Trip (зниження навантаження). Помітка Arm Limits вводить в дію встановлені обмеження.



Рис. 2.6 Панель Console

При використанні MTL32 кількома користувачами вибір профілю користувача проводиться в меню User. Однак для зміни налаштувань програми необхідні права адміністратора. Для зручності роботи та чіткого розподілу параметрів меню налаштувань розділено на декілька панелей. Зокрема:



Рис. 2.7. Панель System

Панель System використовується для налаштування апаратних параметрів при взаємодії програми з контролером. Дана панель дозволяє встановлювати параметри досліду. Зокрема вид навантаження (синусоїдальне, статичне, імпульсне); поточний канал випробувань (навантаження, переміщення, екстензометр). Поле Mean відповідає за значення якого необхідно досягнути. Amplitude – за амплітуду. Показник Hz вказує час виходу на задане значення Mean. В полі Cycles вказується кількість циклів виконання.

Після введення всіх заданих параметрів, становлення допустимих меж [34, 35] навантаження калібрування можна переходити до початку випробувань.

Для цього необхідно ввімкнути режим високого тиску  →  і почати виконання  Для зупинення процесу натиснути  і вимкнути режим високого тиску 

2.2. Автоматизація механічних випробувань. Програмний комплекс TestBuilder

Даний програмний комплекс призначений для створення тестів та їх автоматизованого проведення. Основними його складовими є:

- Test Maker – модуль для безпосереднього створення тест-файлу;
- Test Info – модуль призначений для проведення тестування;
- Test Admin – модуль для перегляду і аналізу результатів тестування.

В даному випадку програма використовується для виконання тестів на навантаження. Працює лише в поєднанні з платформою MTL32 (яку потрібно запустити попередньо і не закривати).



Рис. 2.8 Загальний вигляд вікна програми TestBuilder v2.25

Робота з програмою розпочинається з відкриття робочого файлу File→Open→ Вибрати файл.

Після цього необхідно запустити режим On-line  - програма прийме на себе керування установкою.

Далі вибирається методика задання навантаження. Програма підтримує такі типи задання навантажень:

- циклічні навантаження (Function Generator);

- навантаження для втомного тестування (Fatigue Test);
- статичні навантаження(Static Test);
- мультитрокове програмування (Multi Step Programming)

Для початку випробувань необхідно увімкнути режим високого тиску

Switch On → Hi і почати виконання Start (Start Ramp в режимі Function Generator)

Для зупинення процесу натиснути Stop і вимкнути режим високого тиску Switch Off

-73,475 mm	-1,079 kN	-0,968	93799	-0,968
Stroke	Load	SP-Actuator #01	CY-Actuator #01	SP-Actuator #01

Рис. 2.9. Відображення поточних значень за каналами

2.2.1. Генератор сигналів задання

Панель генератора циклічних навантажень використовується для перемикавання режимів на привід, переміщення приводу вручну або встановлення сигналу для надання допомоги при налагодженні системи.

Дана панель складається з двох частин: режим управління та генератор циклічних навантажень, яка в свою чергу розділена на складові зсув (зміщення) та цикл(циклічність).

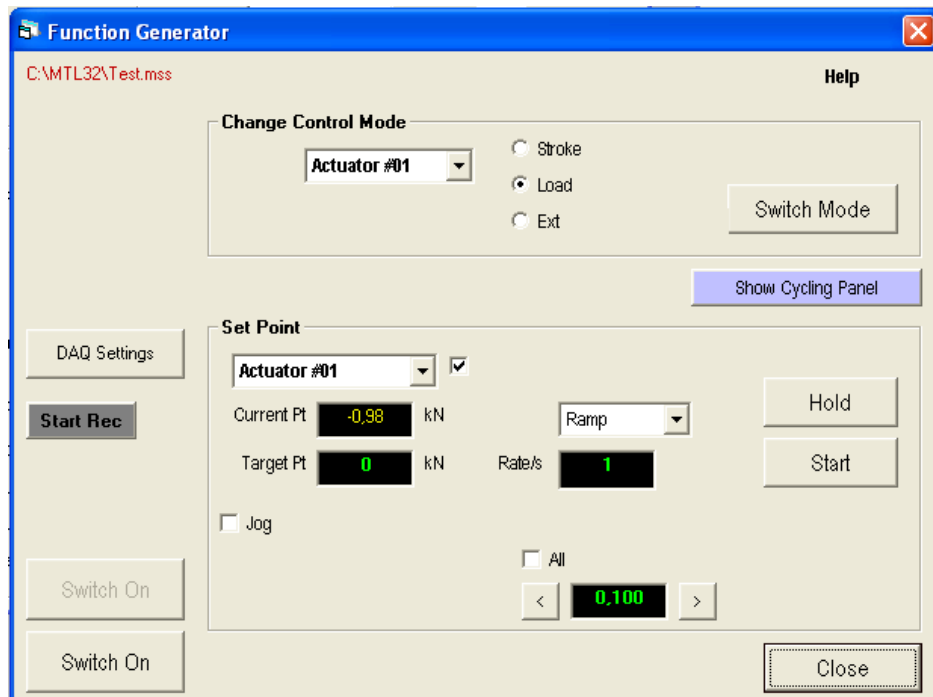


Рис. 2.10 Панель циклічних навантажень

Для ввімкнення режиму управління потрібно:

- вибрати привід;
- вибрати потрібний режим управління;
- натиснути на кнопку Switch Mode.

Це призведе до зміни режиму управління

Важливо перевірити коректність параметрів для кожного каналу перед зміною режиму управління. Адже при невідповідних даних можливе перевантаження експериментальних зразків. Також режим управління скидає сигнал для надання допомоги при налагодженні системи, якщо той був ввімкнений.

Для встановлення точки статичних навантажень потрібно спочатку перевірити режим управління. Дана точка завжди буде змінюватись в поточному режимі управління. Далі потрібно встановити значення точки, яка береться за основу. (Target Point) для всіх приводів окремо. Потім визначаємо швидкість досягнення заданного значення основної точки. Вибираємо обов'язковий допоміжний сигнал. Підтверджуємо ввімкнення живлення

системи. Натискаємо кнопку Start Ramp для початку руху з поточної точки навантаження до базової (основної) з заданою швидкістю.

Користувач завжди може зупинити процес проходження тестування натиснувши кнопку Stop Button.

Зауважимо, що в мультипривідній системі встановлення даної точки проводиться у всіх приводах одночасно. Для того, щоб заборонити встановлення значень для базової точки статичних навантажень слід просто не відмітити привід на етапі вибору приводів.

Задання значення базовій точці при статичному навантаженні можна проводити вводом в відповідне поле конкретного цифрового значення навантаження або ж зміною поточного значення параметру в бік зменшення чи збільшення з певним кроком. При невеликій різниці між основною і поточною точками рекомендується дозволити приводу самостійно встановити потрібне значення Gain з базової програми MTL32.

Якщо чекбокс «All» відмічений, то збільшення чи зменшення значення основної точки буде змінюватись для всіх приводів.

Перед збільшенням чи зменшенням значення базової точки рекомендується перевірка режиму управління. Значення даної точки завжди змінюється в поточному режимі управління.

Для початку циклічних рухів потрібно перейти в панель Циклічність натиснувши кнопку «Show Cycling Panel». Циклічні рухи починаються в поточному режимі управління, тому важливо спочатку перевірити правильність його вибору.

При потребі можна змінювати параметри для полів mean, amplitude, frequency, phase (загалом ці значення задаються в панелі Console програми MTL32). В багатопривідному режимі дані значення вводяться для кожного приводу окремо.

Скидання кількості відпрацьованих циклів достатньо натиснути кнопку «reset cycle count».

«Go to Mean» починає рух приводу до вказаного основного значення Mean. Циклічні рухи завжди починаються від значення Mean або проводиться швидкий рух до значення поля «Start Cycling». За потреби можна створити файл запису даних. Для кожної з описаних панелей дані збираються після натискання «Start Record». Для початку тесту потрібно клацнути на кнопку Start Cycling.

2.2.2. Вибір типу і режимів навантажування



Рис. 2.11 Панель багатоциклових втомних навантажень

Для роботи з таким видом навантаження потрібно:

- підтвердити установку зразка та вимірювальних приладів;
- встановити граничні межі робочих параметрів датчиків та ліміти установки.

Ці обмеження забезпечують захист установки та зразка;

- вибрати New Test в підменю Test;
- встановити параметри запису даних для тесту кнопкою DAQ ;
- з панелі циклічних навантажень перемістити привід в відповідне початкове положення для початку тестування;

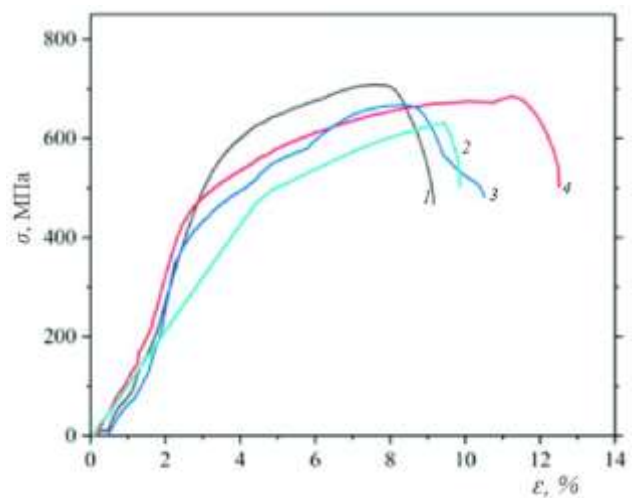
- змістити чи відтарувати відповідні канали (при необхідності вимірювання зміщення треба переключитись у канал відмінний від каналу поточного

контролю та зворотного зв'язку) – відбувається при виключеному приводі або при знаходженні його в формі замкнутого контуру;

- застосувати попереднє навантаження (при потребі);
- вибрати режим управління та привід для контролю;
- встановити мінімальні та максимальні значення параметрів Mean та Amplitude для визначення циклу;
- встановити частоту роботи;
- встановити значення End Cycle Count (значення кількості циклів при досягненні якого відбувається зупинка навантажень);
- вибрати тип сигналу для надання допомоги при налагодженні системи;
- для використання адаптивного контролю поставити відмітку у відповідному полі (адаптивний контроль використовується для моніторингу проходження досліду для підтримки рівня вхідних сигналів до зразка при поганій настройці системи чи зміні жорсткості зразка впродовж проведення досліду);
- деталі опису досліду будуть вказані в файлі даних згідно налаштувань даного файлу;
- для початку проведення досліду потрібно натиснути Test;
- при проходженні досліду можна зробити паузу натиснувши клавішу Hold.



а



б

Рис. 2.12. Процес деформування та криві статичного розтягу смуг з

дефектами

- Для продовження – Continue;
- для зупинки навантаження потрібно натиснути STOP;
- для зупинки запису інформації STOP Record;
- виконати експорт даних як окремого текстового файлу можна з допомогою Data Export routine.

2.3. Чинники впливу на якість фотозображення

Фокус

Отримання різкого фокусу на об'єкті є одним із найважливіших аспектів чіткого зображення. Однак досягнення точного фокусування є складним завданням, особливо з об'єктами, що рухаються.

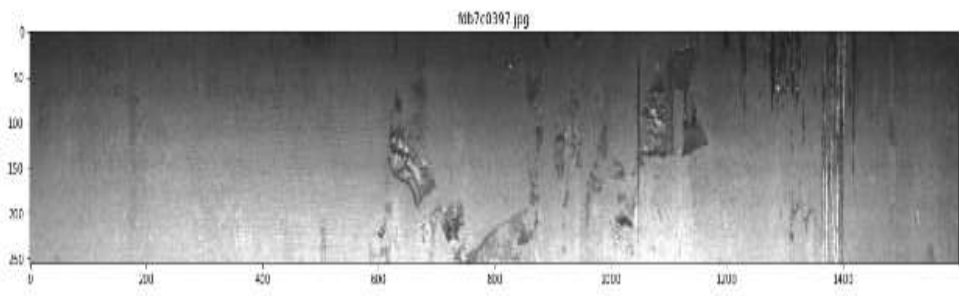


Рис. 2.13. Приклад промислово одержаного фотозображення з смуги металопрокату з дефектом

Можна застосовувати автофокусування. Безперервне відстеження об'єкта автофокусуванням при панорамуванні камери дозволяє об'єктиву фокусуватися на об'єкті, що рухається. Також можна попередньо сфокусуватися там, де, швидше за все, буде об'єкт і використовувати велику глибину різкості при злегка закритому налаштуванні діафрагми, щоб збільшити зону фокусування. Для нерухомих об'єктів використання автофокусування дає більш високу різкість на передбачуваному об'єкті.

На роботу автофокусу також впливає зміна рівня освітленості, при цьому він більше впливає у ситуаціях з низьким контрастом.

Освітлення є одним з найважливіших впливу на процес. Воно значно впливає на колірний результат знімка. Кольори найбільш точно передаються при природньому денному освітленні, спотворення виникає за неправильного штучного освітлення. Відмінності в кольорі найчастіше проявляються за використання люмінесцентних або енергоощадних ламп. Таке джерело освітлення переривчасте і камера відображає світло зі спотвореннями. При використанні в кадрі великої кількості світла - відтінки кольорів передаються дуже світло, а якщо світла навпаки мало - здаються занадто темними. Якість світла визначає, чи є він "жорстким" або "м'яким".

Роздільна здатність зображення

Роздільна здатність зображення - це кількість пікселів на одиницю площі. Від цієї характеристики залежить як дрібні деталі будуть виглядати при великих збільшеннях. Камери з високою роздільною здатністю, 24 мегапікселі або більше, дозволяють створювати збільшені зображення з точними краями та текстурами. При опублікуванні або надсиланні JPG з низькою роздільною здатністю для веб-сайтів, фотографія виглядатиме м'якою та нечіткою в порівнянні з оригіналом.

Зменшення розміру стискає інформацію, що призводить до каламутнішого результату. Завжди краще пересилати або друкувати файли з повною роздільною здатністю прямо з картки пам'яті.

Шум

Цифровий шум виглядає як плямистий, зернистий фон, який затуманює чіткість. Він має тенденцію проявлятися більше в умовах недостатнього освітлення, оскільки для правильної експозиції знімка потрібна більша чутливість камери. Шум також з'являється при тривалій витримці та високих налаштуваннях ISO, що є результатом нагрівання теплового датчика з часом.

Швидкі, нестійкі рухи при натисканні затвора можуть автоматично вносити розмитість. Використання штатива, більш коротких витримок та низькі налаштування ISO дозволяє отримувати чистіші знімки з більшою деталізацією.

Стабільне положення під час зйомки та запобігання за допомогою відповідного обладнання дає найчіткіші фотографії при слабкому освітленні.

Стиснення

При збереженні або передачі зображень часто використовуються різні програми для стиснення (зменшення) розміру файлів. Вони часто використовуються при завантаженні та надсиланні фотографій через Інтернет або програми для обміну повідомленнями, проте високі ступені стиснення з часом позбавляють зображення чіткості.

Кожен додатковий етап стиснення погіршує якість зображення, тому краще зберігати вихідні файли без втрат на зберігання. Щоб зберегти всі деталі зображення необхідно уникати надмірного стиснення файлів.

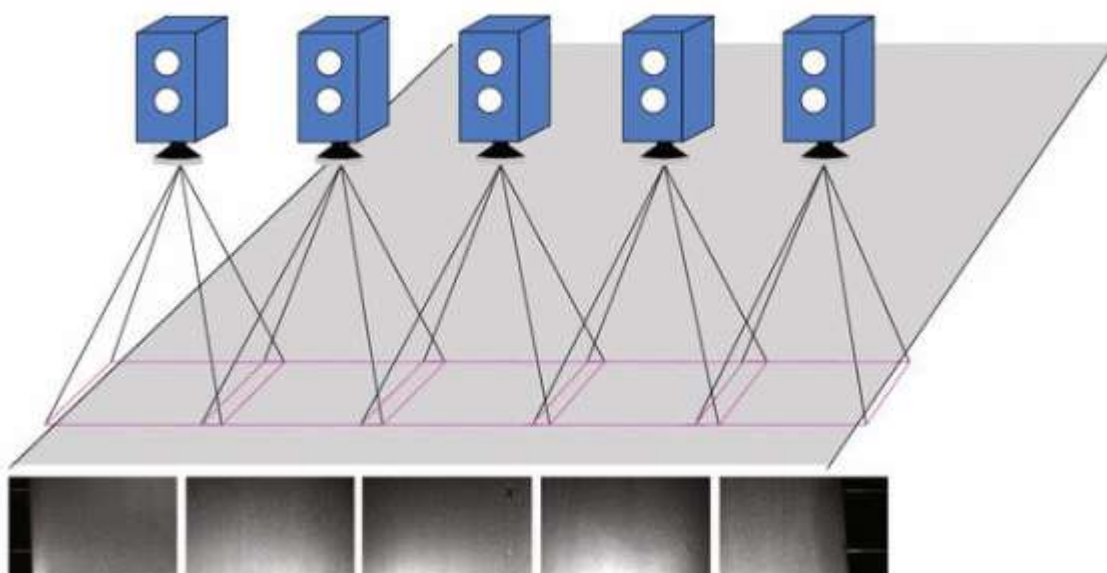


Рис. 2.14. Процес фотографування

Неякісні або пошкоджені лінзи заважають вхідним світловим променям, додаючи небажані вуалі, які каламутять ясність. Такі дефекти, як плями бруду, подряпини та пліснява, хаотично розсіюють світло замість того, щоб чітко концентруватися на датчику зображення.

Низьковартісні об'єктиви є менш оптично досконалими в цілому, і не можуть забезпечити відповідну якість зображення внаслідок невисокої якості скла. Дотримання чистоти об'єктива всередині та зовні, а також передніх та задніх елементів, використовуючи відповідні інструменти забезпечує високу

якість . Якісні фірмові фікс-об'єктиви з їх широкими діафрагмами та точними елементами, як правило, роблять найрізкіші фотографії, коли умови, техніка зйомки та камера добре контролюються.

Отже, отримання чітких, різких фотографій зводиться до таких основних факторів. Важливо переконатися, що об'єкт знаходиться у фокусі. Для цього можна використати автофокусування. Для отримання високоякісних знімків, які показують усі деталі, необхідно використовувати найвищу роздільну здатність, яку дозволяє камера. Не стискати фотографії надто сильно, оскільки це може зробити їх розмитими. Освітлення також має вирішальне значення - при слабкому освітленні необхідно використовувати стійке захоплення та нижчі налаштування шуму. Лінзи повинні бути ідеально чистими, без плям, подряпин, бруду ззовні та всередині.

Врахування цих основних чинників – фокусування, роздільна здатність, шум, освітлення та чистота скла, дозволить одержати фотографії найвищої якості з чітким зображенням всіх деталей.



Рис. 2.15. Поняття діафрагми, витримки та ISO

Ці три основні елементи керування фотографією безпосередньо впливають на чіткість зображення: діафрагма, витримка та ISO.

Діафрагма це отвір в об'єктиві, який керує глибиною різкості та проникненням світла в камеру. Більші діафрагми між $f/1.4$ - $f/5.6$ забезпечують більш м'який фокус, у той час як менші діафрагми, такі як $f/8$ - $f/16$ забезпечують більш високу різкість всього кадру.

Швидкість затвора встановлює тривалість світлового впливу - більш висока швидкість знижує дію, але вимагає вищих ISO значень при слабкому освітленні. ISO збільшує світлочутливість, але на вищих рівнях може

створювати шум зображення. Збалансування цих елементів гарантує отримання чітких фотографій за різних умов освітлення без розмитості або зернистості.

Якість зображення можна також покращити за допомогою програмного забезпечення. Програми для редагування фотографій, такі як Adobe Photoshop і додаток iFoto Photo Enhancer підвищують чіткість зображення.

Налаштування камери



Рис. 2.16. Налаштування фотокамери

Налаштування камери допоможе зробити точніші знімки. Фокусування на одній точці, а не на широкій ділянці, що фіксує об'єкти. Вищі значення діафрагми між $f/8$ і $f/11$ забезпечують глибину різкості для різкого переходу від переднього плану до заднього. Підвищене значення ISO покращує освітлення у темних зонах, але додає шуму, тому по можливості потрібно використовувати штатив.

Як використовувати

- Крок 1: Перевірити режим фокусування камери та за потреби відрегулювати його до однієї точки.
- Крок 2: Вибрати діафрагму в діапазоні $f/8$ – $f/11$, щоб збільшити глибину різкості.

- Крок 3: Зменшити ISO або використовувати штатив, щоб мінімізувати шум при слабкому освітленні.
- Крок 4: Перевірити, чи встановлено якість зображення RAW або максимальне значення JPEG.
- Крок 5: Можна поекспериментувати з різними налаштуваннями та переглянути результати, та обрати оптимальні настройки.

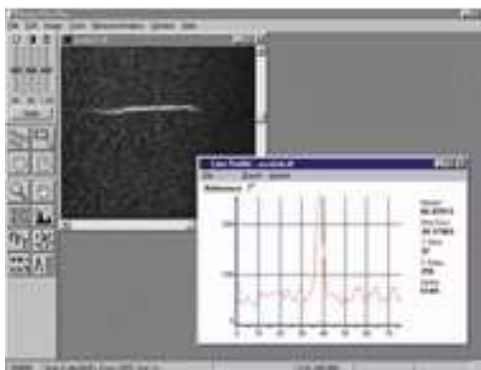


Рис. 2.17. Вплив лінзи на якість зображення

Якісне скло створює чіткі зображення з високою роздільною здатністю. Об'єктиви стабілізують чіткість навіть за слабого освітлення. Фільтри об'єктива, такі як УФ-фільтр, можуть трохи погіршити якість.

Як використовувати

- Крок 1: Визначити, який об'єктив встановлено на камері.
- Крок 2: Оглянути об'єктив і ретельно витерти.
- Крок 3: Оцінити можливість використання фільтрів, які можуть погіршити чіткість зображення.
- Крок 5: Порівняти фотозображення, одержані з різними об'єктивами, щоб перевірити різницю в чіткості.

Фоторедактори

Використання AI, iFoto для аналізу зображень посилює фокусування і знижує цифровий шум одним натисканням. Вони редагують фотографії на рівні пікселів, інтелектуально визначаючи області для покращення, такі як текстури, краї та градієнти. Потім алгоритми оптимально коригують зображення, до необхідних характеристик. В результаті зернисті області згладжуються, а

кольори, контрастність і тіні стають збалансованими, що забезпечує більш точний результат.

Як використовувати

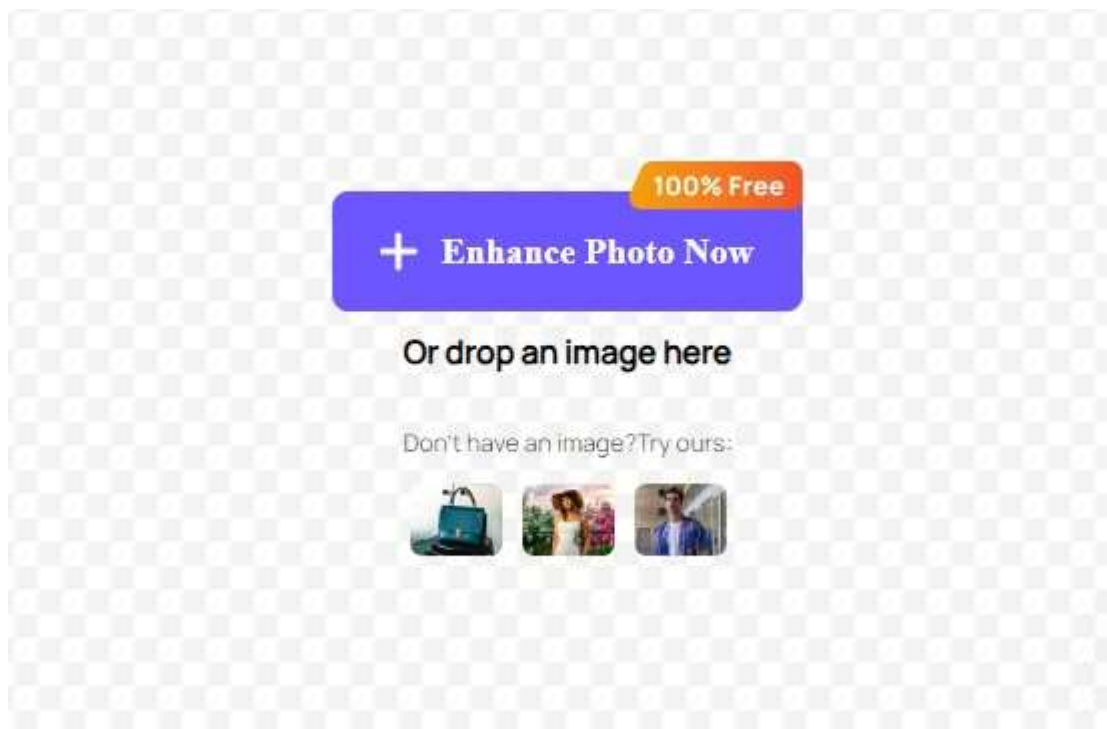


Рис. 2.18. Обробка фото з застосування програми iFoto

- Крок 1: Завантажити програму iFoto та створити обліковий запис.
- Крок 2: Вибрати зображення на пристрої або завантажити його.
- Крок 3: Натиснути кнопку «Покращення», щоб автоматично налаштувати чіткість.
- Крок 4: Перейти від вихідної та відредагованої версії.
- Крок 5: Зберегти відредаговану версію зображення.

Інструменти Photoshop Clarity

Adobe Photoshop — потужний редактор, який дозволяє виконувати точне налаштування різкості. У Photoshop фільтр Sharpen посилює чіткість по краях для визначення деталей, у той час як Unsharp Mask кращий для більш значних коригувань. Обидва інструменти використовують регулятор для керування радіусом тонів і загальним обсягом застосованої різкості. Для низьких налаштувань добре підходить радіус 0,5-1 піксель. Для більш значних

редагувань 1,5-3 пікселя, але є ризик створення ореолів - необхідно ретельно підбирати.

Також можна застосовувати вибірккову різкість, використовуючи маски шарів і малюючи чорним або білим кольором. Корегувати можна тільки певні області, які потребують особливої уваги. Області фокусування з високочастотними краями найчастіше виграють. Використання цих інструментів забезпечує точний контроль над різкістю, не ушкоджуючи зображення.

Фільтр Sharpen збільшує контрастність уздовж переходів країв, щоб об'єкти виглядали більш чітко. Він має повзунки для керування радіусом і кількістю, причому радіус визначає діапазон порушених тонів, а кількість встановлює інтенсивність. Для значних коригувань краще застосовувати Unsharp Mask, який має ідентичні елементи управління. Обидва інструменти можуть створювати ореоли. Нижчі радіуси, такі як 0,5-1 піксель, найкраще підходять для тонких покращень без артефактів.

Як використовувати

- Крок 1: Відкрити фотозображення у Photoshop.

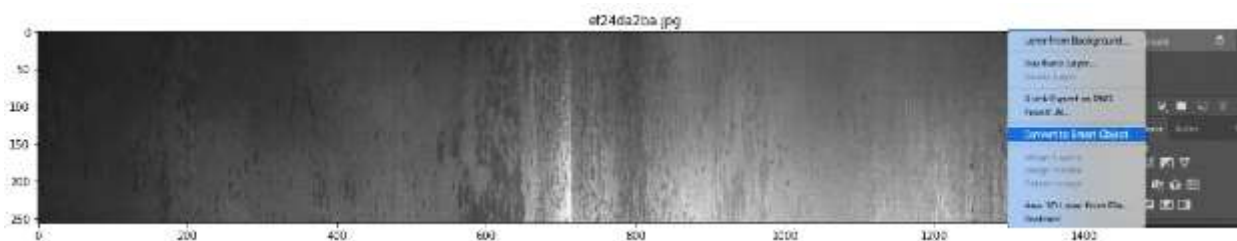


Рис. 2.19. Відкриття фотозображення для його оброблення програмою iFoto

- Крок 2: Вибрати фільтр «Різкість» у меню «Фільтри».
- Крок 3: Налаштувати повзунки Радіуса та Величини.

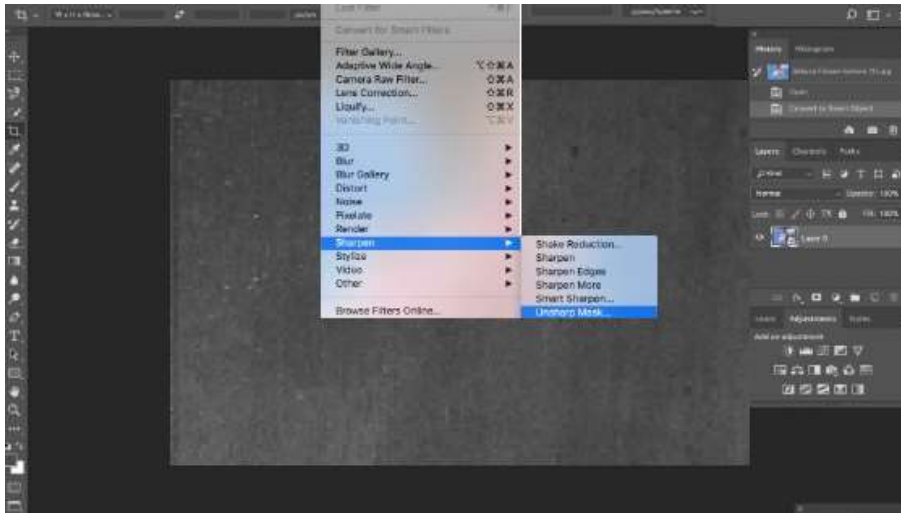


Рис. 2.20. Масштабування фотозображення для його оброблення програмою iFoto

- Крок 4: Збільшити масштаб зображення, щоб перевірити наявність ореолів по краях.

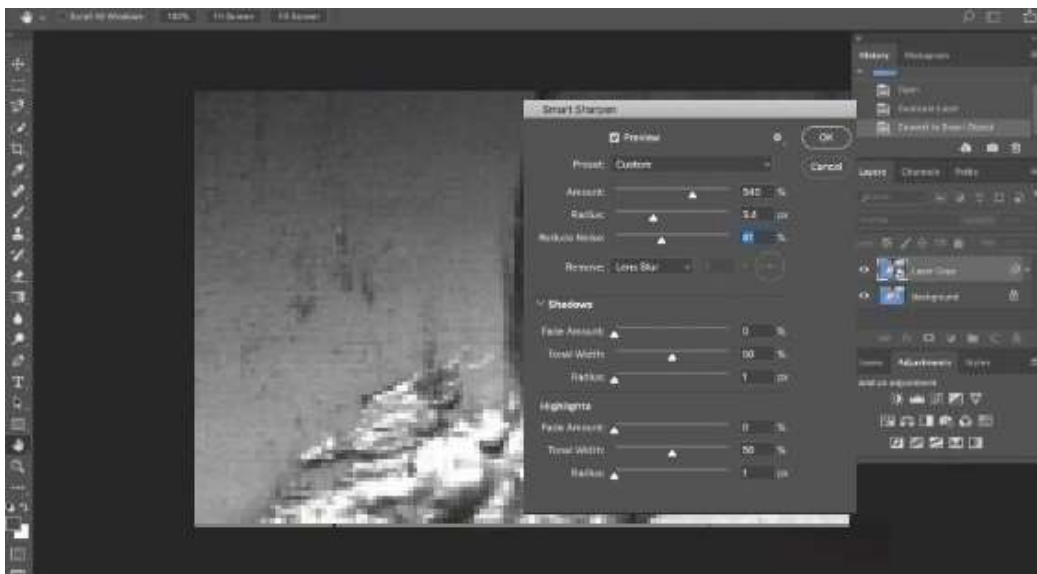


Рис. 2.21. Збереження фотозображення після оброблення програмою iFoto

- Крок 5: Зберегти покращену версію.

Adobe Lightroom

Lightroom — це універсальне програмне забезпечення для керування зображеннями. Його повзунок Clarity посилює текстуру та мікροконтраст без створення ореолів, які часто зустрічаються в інших редакторах. Lightroom пропонує потужні інструменти для покращення чіткості та фокусування.

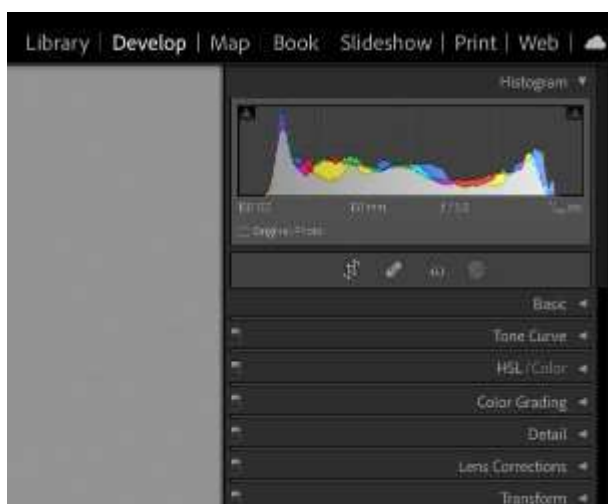
Повзунок Clarity посилює локальний контраст середніх тонів, виділяючи тонку текстуру та деталі. Для невеликих корегування добре підійде значення від 5 до 10.

Як використовувати

- Крок 1: Завантажити зображення в Lightroom.



- Крок 2: Вибрати зображення та знайти повзунок «Чіткість».
- Крок 3: Перетягнути повзунок праворуч, щоб збільшити різкість.



- Крок 4: Переглянути результат до і після, щоб оцінити ефект.



- Крок 5: Експортувати відредаговане зображення.

На якість одержаного зображення впливають такі фактори, як світло, лінзи або фокус, які залежать від обладнання, яке використовується, але сучасні інноваційні фоторедактори забезпечують вирішення проблеми одержання зображення високої якості

3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1. Вплив освітленості на зображення аналізованих пверхонь

Рівні освітленості є важливим компонентом, який необхідно враховувати під час проектування комфортного та функціонального внутрішнього середовища. Ступінь, у якій світло падає на поверхню, називається рівнем освітленості, що виражається у люксах. Розуміння оптимальних рівнів освітленості у приміщенні має вирішальне значення для забезпечення безпечного, комфортного та продуктивного середовища.

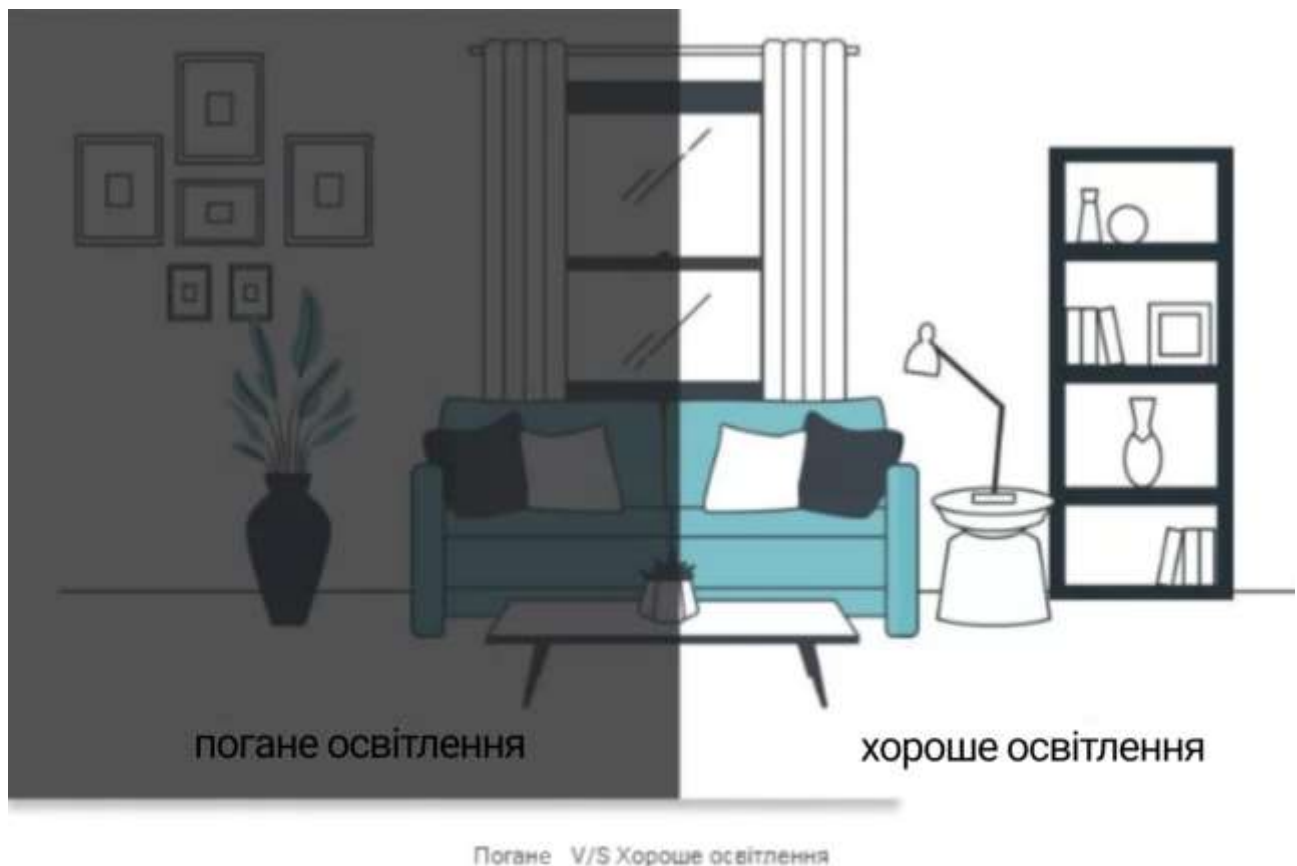


Рис. 3.1. Погана та хороше освітлення

Існують різні причини, через які рівні освітленості в приміщенні важливі. Наприклад,

1. Це впливає на нашу здатність бачити та успішно виконувати роботу. Таким чином, недостатнє освітлення може викликати втому очей, головний біль і труднощі з фокусуванням, тоді як надмірна яскравість може викликати відблиски та дискомфорт.

2. Належні рівні освітленості необхідні для безпеки, особливо за таких умов, як фабрики, склади та інші підприємства. Недостатнє освітлення може збільшити ймовірність нещасних випадків і травм, у той час, як гарне освітлення може допомогти їх уникнути.

3. Рівень освітленості може впливати на наші емоції та продуктивність.

4. Таким чином, ми можемо створити безпечне, зручне та комфортне оточення, знаючи рівні освітленості та оптимізуючи освітлення у приміщеннях.

Розуміння стандартної діаграми рівня люкс

Стандартна діаграма рівня освітленості є керівництвом, в якому вказані рекомендовані рівні освітленості для різних умов всередині приміщення. Крім того, це допомагає забезпечити достатню кількість світла у просторі для комфортного та безпечного виконання завдань.

люкс для внутрішнього середовища

Таблиця стандартних рівнів освітленості містить рекомендації щодо рекомендованих рівнів освітленості у різних умовах. Для звичайних офісних завдань пропонується мінімальний рівень освітленості 300 люксів. Однак для більш детальної роботи рекомендується вищий рівень 500 люкс. У місцях, де зорові завдання особливо вимогливі, наприклад, у дизайнерських студіях, рівень, що рекомендується, ще вищий: від 750 до 1000 люкс. Іншими словами, відповідний рівень освітленості залежить від типу завдання та необхідного рівня візуальної деталізації.

Рекомендовані рівні освітленості для різних умов у приміщенні

Вимоги до освітленості варіюються залежно від внутрішнього середовища. Ось деякі рекомендовані рівні освітленості для звичайних та промислових приміщень:

освітлення (Люкс)	вплив
0-0.3	темнота
0.4-2	темно
3-10	сутінкове
11-50	похмуре
51-100	тьмяне
101-200	задовільне
201-400	добре
401-600	яскраве
600+	дуже яскраве

Стандартні рівні люкс для внутрішнього середовища

Рис. 3.2. Рівні освітленості

Рівні люкс у житлових приміщеннях

- Вітальні: 100-150 лк
- Спальні: 60-100 люкс
- Кухні: 250-300 лк
- Ванні кімнати: 150-300 люкс

ОСВІТНІ ОБ'ЄКТИ

- Класи: 300-500 люкс
- Бібліотеки: 500 люкс
- Лабораторії: 750-1000 люкс

ОХОРОНА ЗДОРОВ'Я

- Операційні: 1000-1500 люкс
- Кабінети для огляду: 700-1000 люкс
- Палати: 100-200 люкс

ОФІСИ

- Офіс-відкритий: 300-500 люкс
- Конференц-зал: 300-500 люкс

ТОРГОВІ ПРИМІЩЕННЯ

- Загальна торгова площа: 750 люкс
- Площа дисплея: 1000-2000 лк
- Роздягальні: 200-300 люкс

Рекомендований рівень люкс для різних внутрішніх приміщень

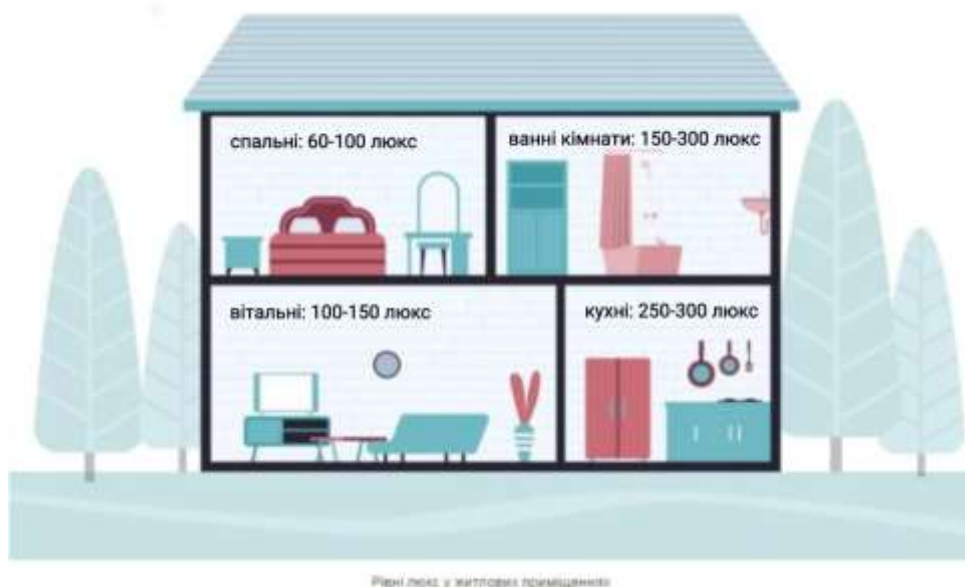


Рис. 3.3. Кількість люксів у приміщеннях різного призначення

Галузі

ХІМІКАТИ

- Зовнішні проходи, платформи, сходи та сходи: 30-100 люкс
- Диспетчерські для технологічних установок: 200-500 люкс
- Подрібнення, гранулювання, змішування, сушіння, таблетування, стерилізація, приготування розчинів, промивання, підготовка, загартування: 300-750 лк

- Огляд: 300-750 лк

ЇЖА, НАПОЇ

- Загальне: 200-500 люкс

- Огляд: 300-750 лк
- Сорткування та сортування сировини: 500-1000 лк
- Автоматичні процеси: 150-300 люкс
- Маркування та упаковка: 200-500 лк
- Млини-Фрезерні. Фільтрування та упаковка: 200-500 лк
- Пекарня: 200-500 лк
- Виробництво шоколаду та кондитерських виробів: 200-500 лк
- Обробка тютюну - підготовка матеріалів, виготовлення та упаковка: 300-750 люкс
-

Чинники, які впливають рівень освітленості у приміщенні

На рівень освітленості у приміщенні можуть впливати кілька факторів. До них відносяться:

1. Є кілька важливих факторів, які необхідно враховувати під час вибору світильників для внутрішнього простору. Ці фактори включають тип використовуваних освітлювальних приладів, колірну температуру світла, відстань між джерелом світла і освітлюваною поверхнею і кут падіння світла. Кожен із цих факторів робить свій внесок у загальну схему освітлення і може істотно вплинути на атмосферу та функціональність приміщення.

2. Тип освітлювальних приладів може впливати на поширення світла і напрям світла. Наприклад, вбудовані світильники забезпечують більш сфокусований пучок світла, а підвісні світильники забезпечують ширше поширення світла.

3. Колірна температура світла може впливати на настрій та сприйняття простору. Наприклад, холодне біле світло заряджає енергією та ідеально підходить для робочих приміщень, а тепле жовте світло більш розслаблює та ідеально підходить для житлових приміщень.

Вимірювання рівнів освітленості

При вимірюванні рівнів освітленості необхідно використовувати люксметр або датчики, які можуть точно виміряти кількість світла, що падає на поверхню. Щоб забезпечити точність, важливо провести кілька вимірів у всьому просторі. Це особливо важливо в місцях з різними умовами освітлення, наприклад біля вікон або світлових люків. Іншими словами, вимірювання рівнів освітленості вимагає ретельного розгляду та уваги до деталей для отримання точних та надійних результатів.

Поради щодо оптимізації освітлення

Оптимізація освітлення потребує ретельного планування та використання правильних освітлювальних приладів. Ось кілька порад щодо оптимізації внутрішнього освітлення:

- Використовуйте поєднання природного та штучного освітлення, щоб максимально збільшити рівень освітленості.
- Використовуйте стельові світильники, щоб забезпечити загальне освітлення та робоче освітлення для певних робочих місць.
- Використовуйте підвісні світильники, щоб забезпечити ширше поширення світла у великих приміщеннях.
- Використовуйте елементи керування освітленням, такі як димери або таймери.



Рис. 3.4. Колірні температури освітлення

Поширені помилки рівня освітленості, яких слід уникати

Слід уникати кількох поширених помилок на рівні освітленості. До них відносяться:

- Переосвітлення або недостатнє освітлення простору.
- Використання неправильної температури кольору для освітлювальних приладів.
- Розміщення світильників надто близько чи надто далеко від поверхні.
- Використання одного типу світильника для всього приміщення без урахування різних потреб у освітленні кожної області.

Досягнення належних рівнів освітленості у приміщеннях потребує ретельного планування та використання відповідних освітлювальних приладів. На щастя, стандартна діаграма рівнів освітленості дає цінні рекомендації щодо рекомендованих рівнів освітленості в різних умовах усередині приміщень. Вивчивши цю таблицю, можна визначити відповідний рівень освітленості, необхідний даного приміщення, і вибрати відповідні освітлювальні прилади для досягнення цього рівня освітленості. Іншими словами, стандартна діаграма рівня люксу є безцінним ресурсом для тих, хто хоче досягти оптимальних умов освітлення.



Рис. 3.5. Металева смуга з дефектом за різної освітленості

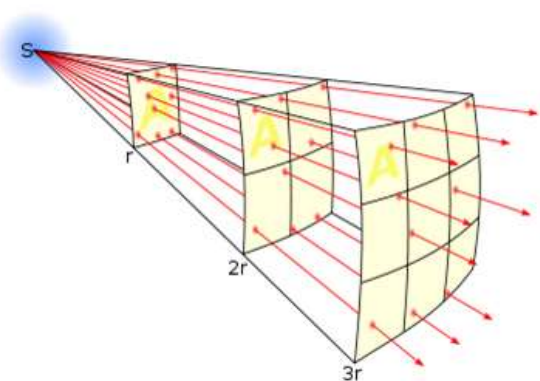
Під час розгляду варіантів освітлення приміщення необхідно враховувати кілька чинників. Ці фактори включають тип використовуваних освітлювальних приладів, колір і температуру світла, відстань між джерелом світла і освітлюваною поверхнею і кут падіння світла. Кожен з цих факторів відіграє

вирішальну роль у досягненні бажаного рівня освітлення та створення правильної атмосфери у приміщенні. Тому важливо ретельно враховувати кожен із цих факторів та приймати зважені рішення при виборі освітлювальних приладів та розробці схем освітлення внутрішніх приміщень.

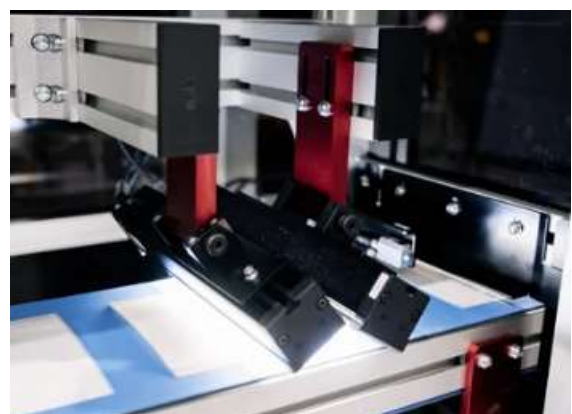
Дотримуючись цих рекомендацій, відстежуючи рівні освітленості і, отже, уникаючи поширених помилок у рівні освітленості, ви можете створити комфортне та безпечне середовище, яке максимально підвищить продуктивність та знизити ризик нещасних випадків.

Люкс дорівнює освітленості поверхні площею 1 кв м при світловому потоці падаючого на неї випромінювання, що дорівнює 1 люмен. Освітленість прямо пропорційна силі світла джерела світла. При віддаленні його від поверхні, що освітлюється, її освітленість зменшується назад пропорційно квадрату відстані. Іншими словами, якщо 100 люменів зібрати і спроектувати на 1-метрову квадратну область, освітленість області становитиме 100 люкс. Ті самі 100 люменів, спрямовані на 10 квадратних метрів, дадуть освітленість 10 люкс. Або, якщо ми візьмемо джерело світла, підвісимо його у центрі кімнати і поміряємо освітленість люксметром з відривом від нього 1м, люксметр покаже, наприклад, 100Лк, але в відстані 2м від лампочки люксметр покаже 25Лк.

Коли промені світла падають похило до поверхні, що освітлюється, освітленість зменшується пропорційно косинусу кута падіння променів.



а



б

Рис. 3.6. Геометричні особливості обчислення освітленості -а приклад застосування - б

Для вимірювання рівня світлового випромінювання та фактичної освітленості навколишнього простору використано люксметр – спеціалізований електронний прилад. Він має спектральну характеристику, що збігається зі спектральною характеристикою ока людини.

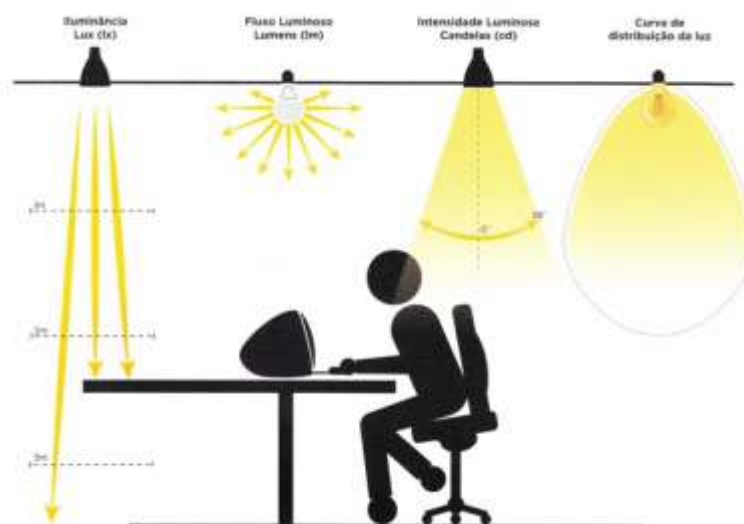


Рис. 3.7. Методика використання люксметра

Авторами використано спектрометр UPRTEK MK350N-PREMIUM-HANDHELD, за допомогою якого можна перевірити вірність даних щодо розрахункової освітленості. Спектрометр враховує, зокрема, косинусну корекцію.

Апробація лабораторної установки конструкції

доц. Медвідя В.Р. та О.П. Шовкуна

Найбільш сучасними для контролю дефектів поверхні металопрокату є оптико-цифрові методи, які забезпечують порівняно з іншими методами неруйнівного контролю високу чутливість та роздільну здатність. Вони мають високу точність та швидкодію й постійно вдосконалюються. Проте ці методи виявлення та обчислення характеристик дефектів металопрокату забезпечують достовірні результати лише за стаціонарності характеристик контрольованої

поверхні металопрокату, що забезпечує стабільність зовнішніх параметрів контролю.

Освітлювальні прилади є важливою складовою експлуатації більшості оптико-цифрових приладів, зокрема й систем технічного зору. Саме від правильності організації освітлення залежить інформативність одержаних зображень. Оптимальні умови освітлення аналізованих поверхонь забезпечують спрощення способу виявлення та виділення на зображенні діагностованих об'єктів. Від типу освітлення залежать властивості лінійності оптичної системи, яка формує зображення відносно параметрів світлового поля, а також якість зображення, рівномірність освітлення і т.ін. При врахуванні впливу освітленості на оптико-цифрову систему камери беруть до уваги відбиття, розсіювання, поглинання і ін. явища, пов'язані із взаємодією поверхні металопрокату із світловим випромінюванням. Важливим аспектом є врахування впливу умов освітлення поверхні металевої смуги на функціональність оптичної системи, зміну співвідношення «сигнал/шум» одержаних фотозображень, вплив на індикатрису розсіювання дефектів, розташованих на поверхні металопрокату.

Ще одним технологічним чинником впливу на якість контролю дефектності металопрокату є вібрація. Незважаючи на малі амплітуди та високі частоти вібрацій поверхні металопрокату, на нашу думку вони впливають на точність діагностування розмірів дефектів, оскільки виникають «стрибання» зображення. Вібраційний вплив важко компенсувати певним алгоритмом оброблення фотозображень, що спричиняє помилки у діагностуванні дефектів.

Можна відзначити наступні характеристики вібрацій металопрокату:

- різноманітність спектрів, що зумовлено тим, що джерела збірень є різноманітними;
- складність урахування впливу – це зворотно-поступальний рух малої амплітуди, який можна виміряти за допомогою систем контролю, проте контролювати частотний діапазон неможливо;

Таким чином, подальшого дослідження потребують інформативні параметри, які характеризують дефектність контрольованих поверхонь металопрокату та програмні засоби, які забезпечують їх вимірювання за експлуатаційних умов (яскравості освітлення та вібрації).

Об'єкт досліджень

З метою аналізу впливу експлуатаційних умов на виявлення та параметричний опис дефектів металопрокату розглядали поверхню металевої пластини за різної освітленості і високочастотних низькоамплітудних перемішень. На поверхню металевої пластини попередньо нанесли подряпини та інші дефекти, які за виглядом і способом відтворення є аналогом дефектів, одержаних у металопрокатному виробництві [36, 37, 38]. При проектуванні та виготовленні лабораторної установки, враховували як її оптико-геометричні характеристики так і закони поширення світла, оскільки важливим є підбір джерела світла, форми відбивача та розсіювача на основі зорового сприйняття людини та фотоматриці. Це було враховано під час створення лабораторної випробувальної установки.

Установка для дослідження впливу освітленості

Установка для дослідження впливу освітленості (рис. 3.8.) є коробом, що складається з двох частин- верхньої та нижньої, зсередини пофарбованих в чорний колір.. На кришці верхньої частини є отвір діаметром 90 мм,. через який за допомогою фотокамери здійснюється фотофіксація досліджуваного зразка. З внутрішньої частини верхньої кришки навколо отвору розташовані світлодіодні модулі smd2835, закриті розсіювачем світла з молочного пластику.



Рис. 3.8. Вібростенд та камера для дослідження впливу вібрацій: 1- вібростенд, 2- камера для досліджень

Установка для дослідження впливу вібрації.

Стенд для дослідження впливу вібрацій (рис.1) складається із електродинамічного вібростенда 1 та камери 2, в середині якої під час проведення експерименту розміщується вібростенд з досліджуваним зразком. На нерухомій станині вібростенду закріплена електродинамічна головка 3, до якої прикріплено вібраційний стіл 4. На столі встановлюється досліджуваний зразок.

Електродинамічна головка вібростенду складається з металевого корпусу, що виконує функцію магнітопроводу її електродинамічної системи, в середині якого розташована нерухома котушка підмагнічування. Довкола неї під дією постійного струму створюється постійне магнітне поле. На котушку намагнічування подається постійна напруга 12-30 В. В середині котушки намагнічування на пружній мембрані розташована рухома котушка, до якої і прикріплено вібраційний стіл. Рухома котушка під дією змінного струму створює змінне магнітне поле, взаємодія якого з постійним магнітним полем

котушки намагнічування забезпечує переміщення вібраційного стола вібростенду по вертикалі.

Проводили фотографування досліджуваного зразка фотокамерою Canon EOS 1300D (Canon, Tokyo, Japan) - 8 за наступних налаштувань: ISO400, витримка 1/160, діафрагма AF5.6. Фотозйомку проводили:

- при сталому значенні освітленості E та сталій величині переміщення зразка, яка вимірювалася віброустановкою, при різних частотах напруги на рухомій котушці вібростенду 30 Гц, 60 Гц, 90 Гц, 120 Гц,
- при сталій величині переміщення зразка, яка вимірювалася віброустановкою, та сталій частоті напруги, що подавалася на рухоми котушку вібростенду, для різних значень освітленості E величиною 100 лк, 200 лк, 300 лк, 400 лк, 500 лк та 600 лк.

Аналіз результатів

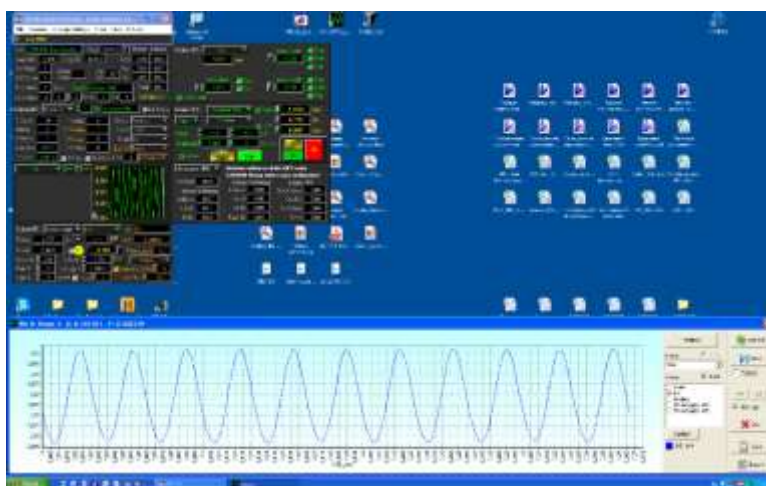
На всіх зображеннях, де між пікселями пошкоджень та фону зберігається навіть невеликий градієнт, нейромережева модель добре розпізнає шукані об'єкти. Для опису властивостей пошкодженої поверхні використано площу пошкоджень.

На початковому етапі досліджень аналізували дефектність листової заготовки у статичному стані (без вібрацій). Виявлено, що із збільшення кількості світла, яке потрапляє на досліджувану поверхню, площа ділянок, розпізнаних як пошкодження, зростає. Це зумовлено тим, що дефекти поверхні (та інші морфологічні елементи) стають краще видимими. Особливо помітним є перехід від низького рівня освітлення (200 лк) до вищого (400 лк). Це зумовлює зростання площі дефектів до їх максимального значення. Подальше збільшення освітленості поверхні листа металопрокату до 500 лк і далі до 600 лк спричинило зниження площі виявлених дефектів.

За наявності вібрацій листової заготовки 30 Гц форма ламаної є подібною до аналогічної одержаної для статичної заготовки. Перелом графіка, як у попередньому випадку відбувся при освітленні 400 лк із подальшим зниженням площі дефектів, як у попередньому випадку.

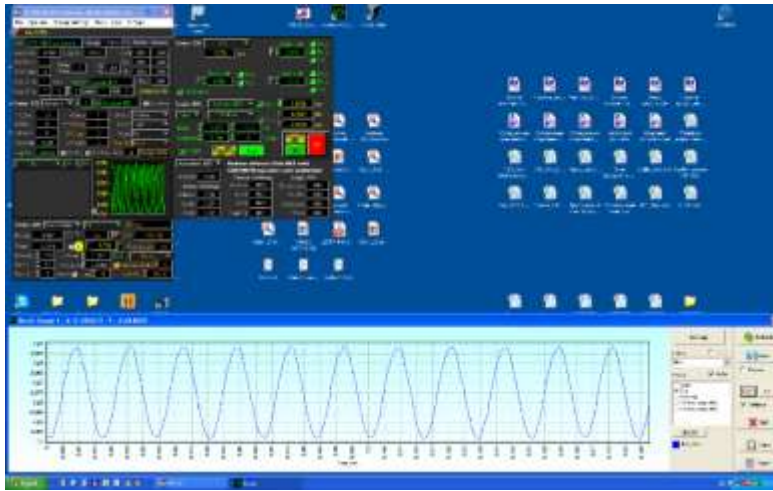
Вібрація 60 Гц в дослідженому діапазоні спричиняє найбільш неоднозначний вплив. За цієї вібрації «вирівнюється» площі виявлених дефектів при 200 лк та за 600 лк. Загалом залежність «площа виявлених дефектів – освітленість» для даного випадку могла б бути описана прямою, що показує «нечутливість» площі виявлених дефектів від освітленості. Крім того, цим умовам випробувань притаманні найбільші площі дефектів, при низьких рівнях освітленості 200 лк та 300 лк, що може бути зумовлене «розмиттям» дефектів.

Вібрація 90 Гц та 100 Гц спричиняють подібний вплив на кількість виявлених дефектів. При низькому рівня освітлення 200 лк за цих частот вібрації стають невидимі дрібні об'єкти. При 300 лк площі виявлених дефектів є подібними за цих частот вібрації зразка. Збільшення освітленості до 400 Лк при вібрації 90 Гц зумовило збільшення площі дефектів до величини, яку було одержано також при вібраціях 60Гц. За вібрація 100 Гц, площа дефектів була дещо нижчою. При освітленні поверхні при 500 Лк, спостерігали найменший розкид виявлених площі дефектів. А при 600 Лк наявність вібрації збільшила площу виявлених дефектів до 52000, а при 100 Гц, значення виявленої площі дефектів було подібним до значень притаманних зразку без накладання вібрацій.



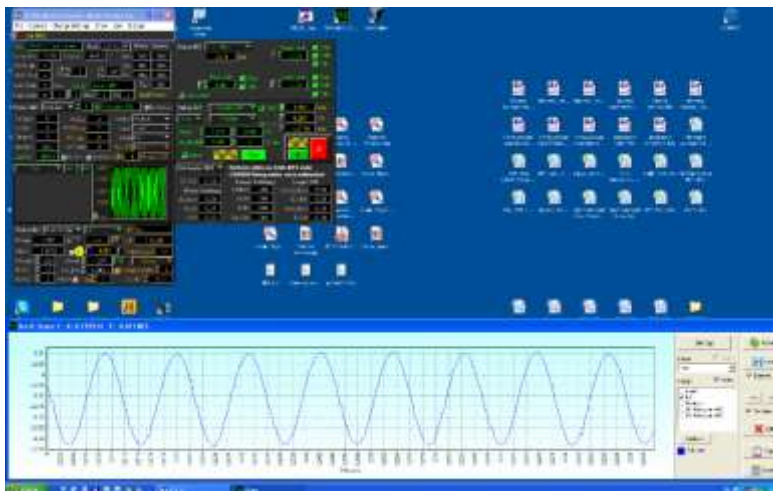
$$f = 30 \text{ Гц}$$

а



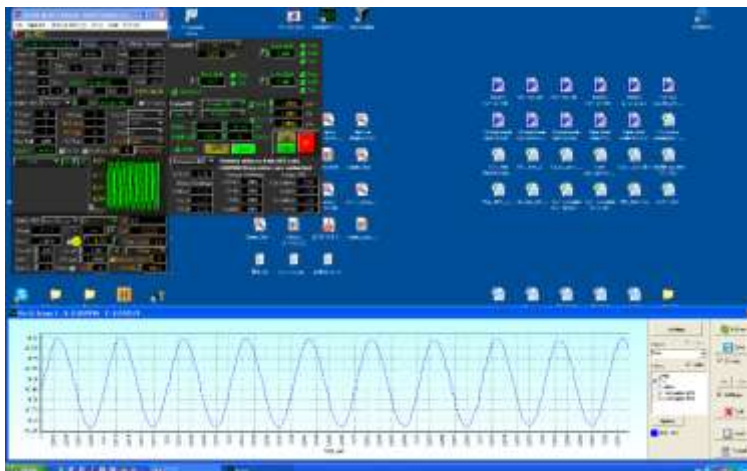
$$f = 60 \text{ Гц}$$

б



$$f = 90 \text{ Гц}$$

в



$$f = 120 \text{ Гц}$$

г

Рис. 3.9. Умови циклічних випробувань: відпрцювання

На рис. 2.3 приведено діаграму зміни загальної площі всіх елементів зображення, розпізнаних як пошкодження.

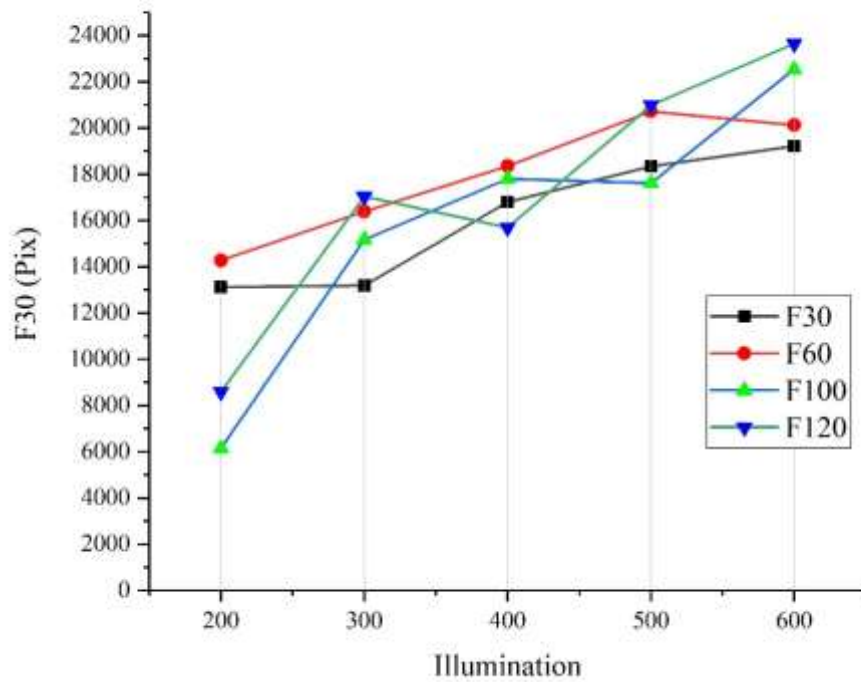


Рис. 3.10. Залежність площі, розпізнаної як пошкодження, від освітлення

Загалом вплив частот вібрації за різних умов освітлення спричиняє «розмиття» зображення. Це помітно з графіку, рис. 3.10. Для статичного об'єкта (листа металопрокату) дані діапазону значень площі виявлених дефектів $\Delta L = 15000$. При 30 Гц величина цього параметра зростає і сягає максимуму для проведеного експерименту $\Delta L = 30000$.

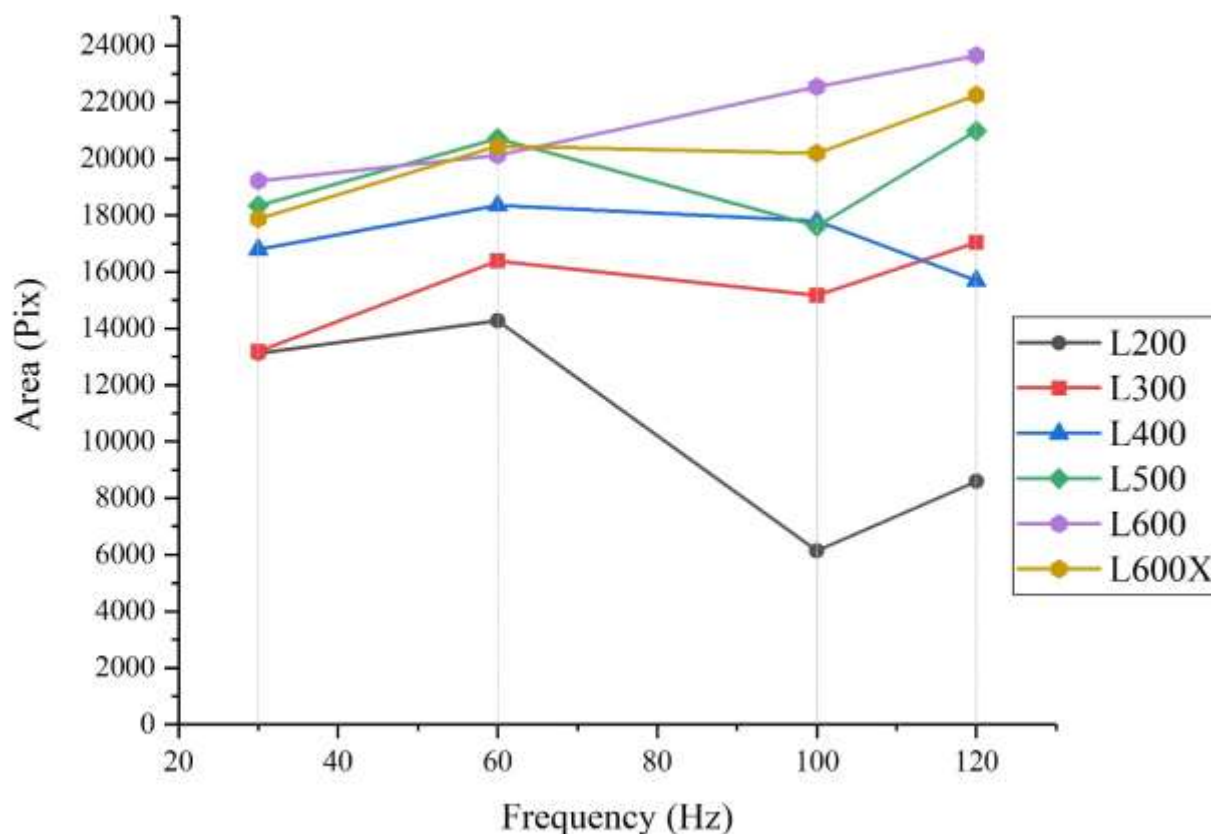


Рис. 3.11. Залежність площі, розпізнаної як пошкодження, від освітлення. Зростання частоти вібрації до 60 Гц знижує ΔL до 5000, а при 90 Гц $\Delta L = 25000$. Друга точка накладання значень площі виявлених дефектів (крім освітленості при 200 лк) притаманна частоті 100 Гц.

ResNet18	ResNet50	Res-AGGAN
92,33	93,00	92,17

3.2. Виявлення ямок відриву на поверхні руйнування металопрокату за допомогою нейромережі

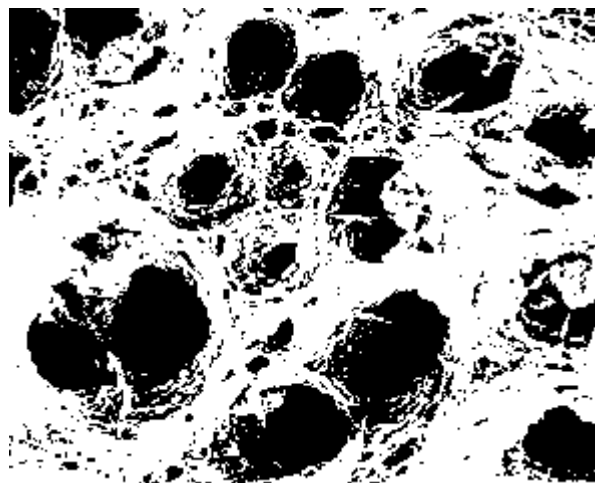
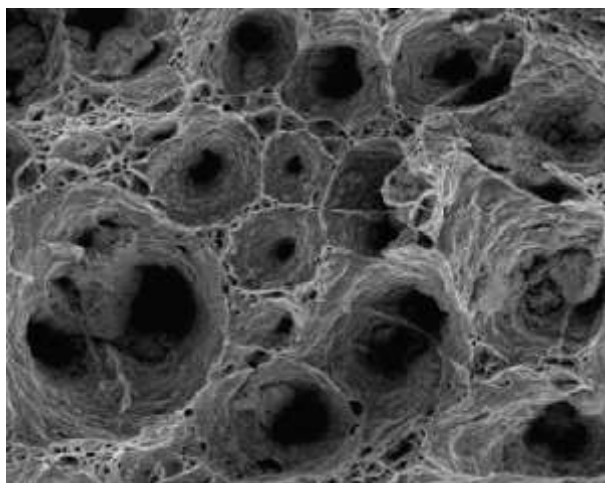
Ми розробили метод [1, 39, 40] для виявлення на фрактограмах поверхні руйнування металопрокату ямок в'язкого відриву, оснований на використанні

згорткової нейронної мережі. Для цього спроектовано та досліджено ряд моделей нейромереж із різним набором гіперпараметрів. Досліджено їх точність, швидкодію та вибрано оптимальну структуру нейромережі. Пропонована мережа містила два згорткових шари, два підвибіркових шари, та два повнозв'язних шари. Нейромережа класифікує пікселі на два класи: ямки та краї і видає імовірність приналежності кожного пікселя до одного з класів.

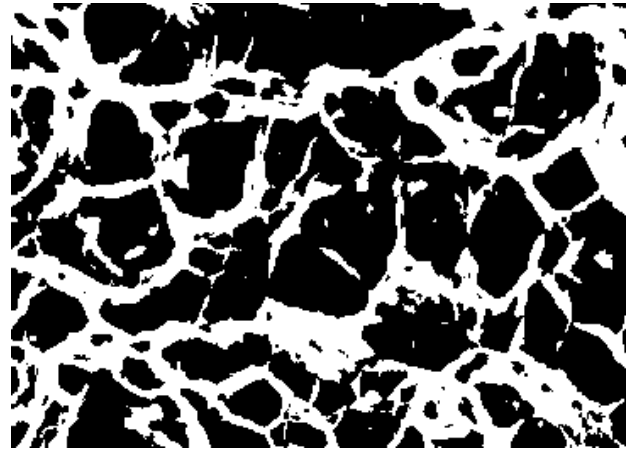
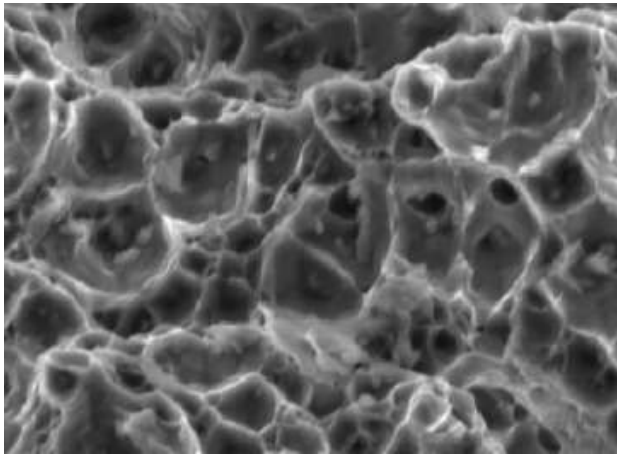
Для навчання нейромережі використали результат виявлення ямок за раніше розробленим алгоритмом [5, 41, 42]. В його основу покладено пошук країв ямок відриву. Він містить операції фільтрування набором фільтрів для виявлення країв, адаптивне порогування, скелетизацію, дилацію та виділення зв'язних областей. Кожен з цих кроків за практичного застосування потребує налаштування своїх параметрів. Використання навченої нейронної мережі дозволяє скоротити кількість параметрів, які потрібно налаштувати вручну, що спрощує процес аналізу зображень.

Навчальна вибірка нейронної мережі

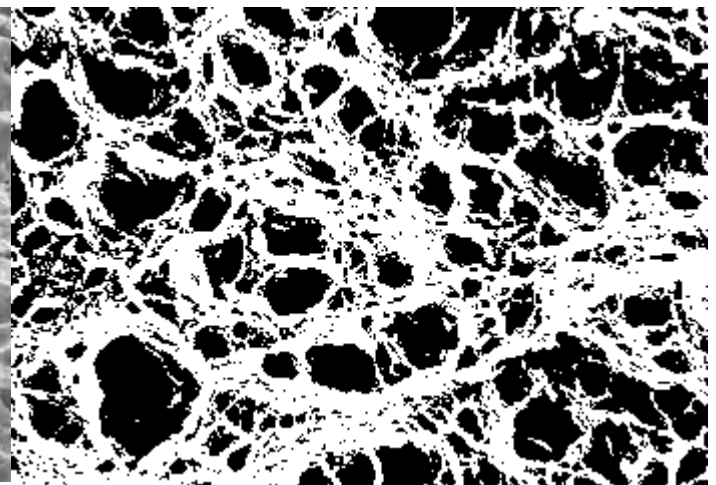
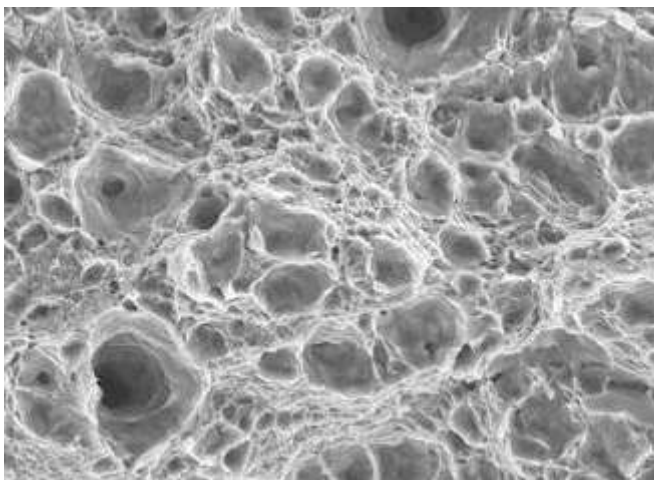
На рис. 2.1,а показано фотозображення поверхні розриву металопродукту, отримане за допомогою електронного скануючого мікроскопа РЕМ-106И. На основі початкових зображень (рис. 3.1,а) та результатів виявлення ямок за алгоритмом [5, 43, 44] (рис. 3.1,б) формували навчальну вибірку для згорткової мережі.



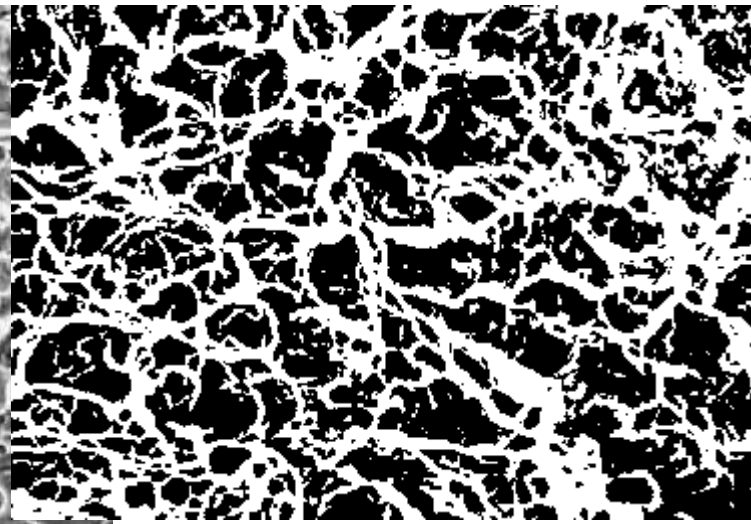
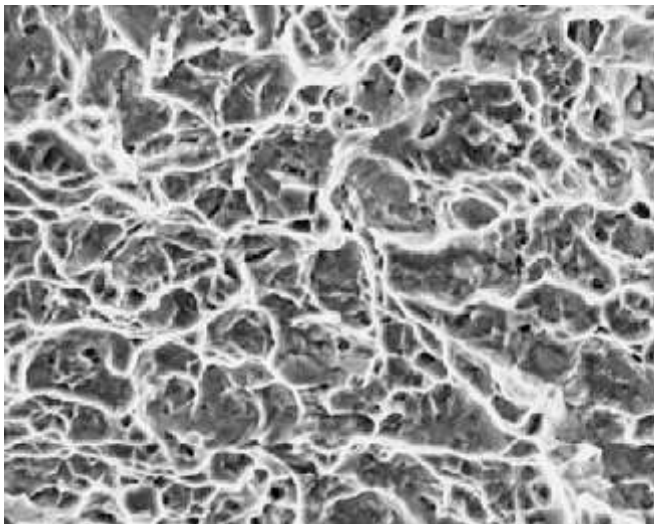
а



б



в



г

Рис. 3.12. Фрактограми поверхні руйнування зразків смуг металопрокату з

дефектами: риска - а, подряпина – б; відбиток -с, потертість -д.

Архітектура згорткової нейронної мережі

Для виявлення ямок в'язкого відриву за зображеннями поверхні було спроектовано та досліджено 17 моделей згорткових нейронних мереж. Найвдаліші архітектури нейромереж наведено на рис. 3.13.

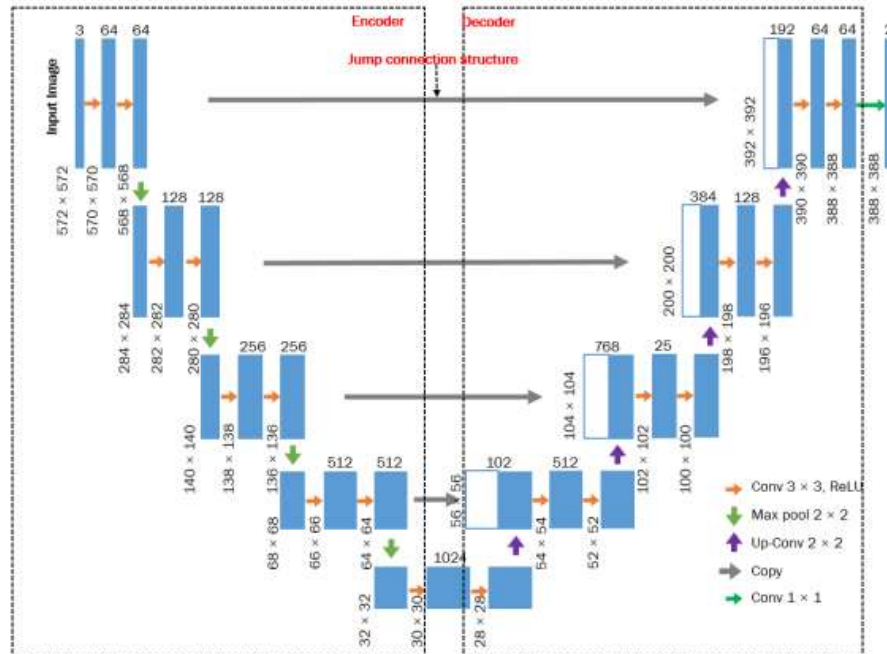


Рис. 3.13. Архітектури Unet нейромереж для виявлення ямок в'язкого відриву

Перший з нейронів показує ймовірність того, що центральний піксель поданого на вхід фрагмента зображення належить класу "ямка", а другий – класу "край".

Об'єктом дослідження були зображення, отримані у вторинних електронах в автоматичному режимі. Інтерфейс програми керування подано на рис. 3.14.

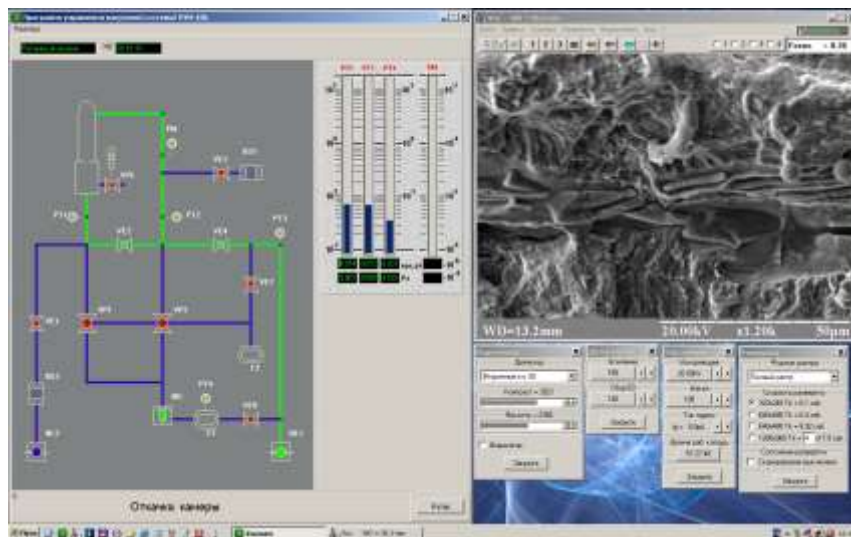
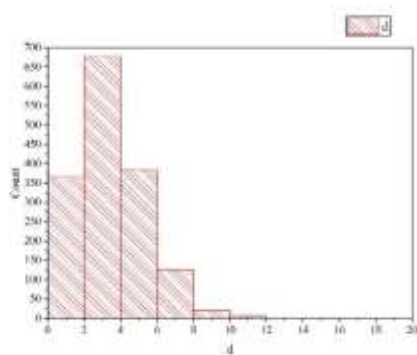
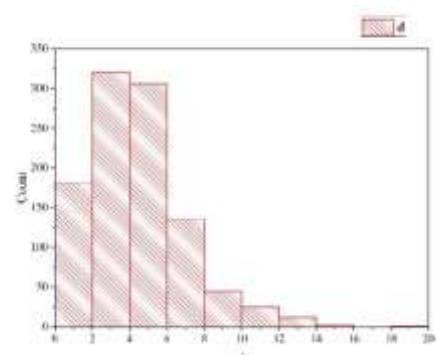


Рис. 3.14. Інтерфейс програми керування растрового електронного мікроскопа РЭМ-106И: а – вікно керування вакуумною системою; б - вікно виведення зображення.

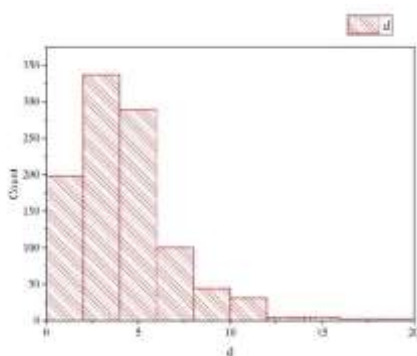
Мікроскопом складається з двох вікон: вікна керування вакуумною системою електронного мікроскопа (а), та вікна виведення зображення об'єкта досліджень(б).



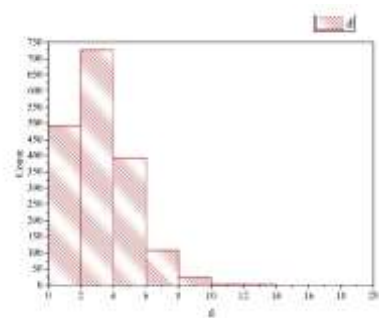
а



б



в



г

Рис. 3.15. Гістограми кількісного складу ямок різного умовного діаметру, за руйнування зразків смуг металопрокату з дефектами: риска - а, подряпина – б; відбиток -с, потертість -д.

Співставляючи поверхні руйнування можна стверджувати, що руйнування сталі відбулося за ямковим механізмом, при цьому слід зазначити що для досліджених смуг з дефектами:

а: масив ямок становить – 1687 шт.

б: масив ямок за становить – 1105 шт.

в: масив ямок становить – 1667 шт.

г: масив ямок становить – 1234 шт.

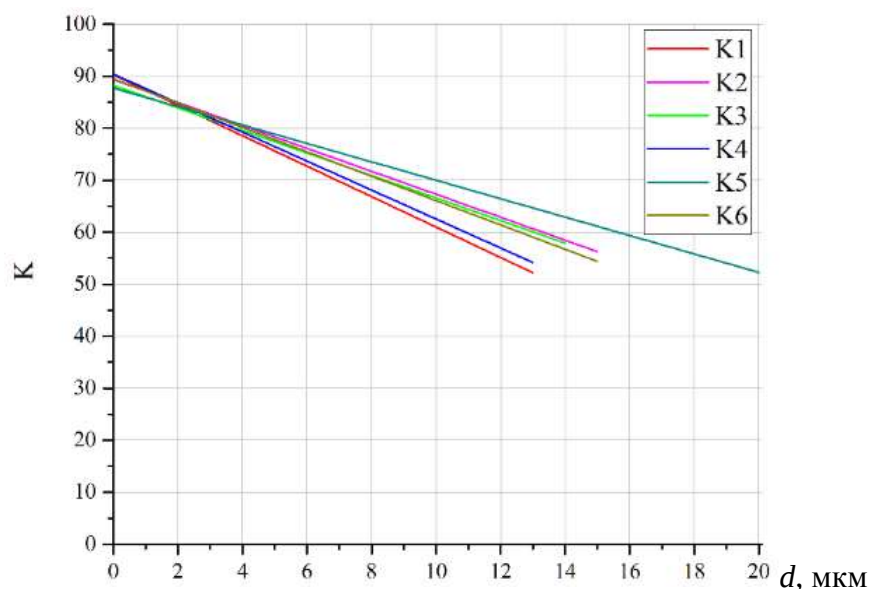


Рис. 3.16. Залежність коефіцієнту форми від умовного діаметра ямки

Помітно, що механізми руйнування були подібними, про це свідчать також значення коефіцієнта форми ямок, які для масиву ямок від 2 до 10 мкм лежать у вузькій смузі розкиду.

4. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

До числа найбільш складних задач при розробці засобів випробування матеріалів відноситься створення надійних методів вимірювання деформацій випробовуваного зразка на заданій базі і зусиль на зразку [57, 58, 59]. У практиці механічних випробувань матеріалів широке розповсюдження отримали екстензометри, побудовані на принципі перетворення відносних переміщень реперних точок на зразку в деформації пружних елементів, на які наклеєні тензорезистори.

На аналогічному принципі перетворення зусиль у деформації пружних елементів побудовані тензодинамометри. У даних дослідженнях використовувались високоточні тензодинамометр «ДСТ-5» і екстензометри «ИМДТ-20», «ИМДТ-8», спроектовані і виготовлені на АНТК ім. О.А.Антонова.

Загальний вигляд екстензометрів для вимірювання повздовжніх і поперечних деформацій подано на рис. 4.1.



Рис. 4.1. Загальний вигляд екстензометра для вимірювання повздовжніх деформацій;

Конструкція екстензометрів забезпечує швидку і надійну їх фіксацію на зразку. Досвід довготривалого експлуатування підтвердив надійність екстензометрів і тензодинамометра та високу точність їх вимірювань [53, 54, 55, 56].

База вимірювань повздовжніх деформацій екстензометра – 16 мм, база вимірювань поперечних деформацій – 8 мм. Точність вимірювань повздовжніх і поперечних деформацій – ± 1 мкм.

Тензодинамометр у зібраному вигляді подано на рис. 4.2.

Протоколи повірки тензодинамометра і екстензометрів показали їх високі експлуатаційні якості. Так, для тензодинамометра «ДСТ-5», з межами вимірювання сили 0...5 т.с., були зафіксовані наступні складові похибки:

- систематична складова похибки – 0,04679;
- гістерезис – 0,07799;



Рис. 4.2 Загальний вигляд тензодинамометра:

- захват рухомої траверси із сферичною опорою;
- тензодинамометр;
- зразок;
- кабель;

- захват нерухомої траверси із сферичною опорою
- середньоквадратичне відхилення – 0,004566;
- нелінійність – 0,05793;
- відхилення від номінального значення – 0,00000;
- категорія точності 1,00.

Виходячи з реальних розмірів динамометра (див. рис. 2.2) проведене моделювання частот роботи динамометра за відомою формулою $f = \frac{\pi}{2l^2} \sqrt{\frac{EI}{m}}$.

$$f = \frac{\pi}{2l^2} \sqrt{\frac{EI}{m}} = \frac{\pi}{2l^2} \sqrt{\frac{Ebh^3}{12\rho bh}} = \frac{\pi}{2l^2} \sqrt{\frac{Eh^2}{12\rho}} = \frac{\pi}{2 \cdot 0,08^2} \sqrt{\frac{2 \cdot 10^{11} \cdot 0,03^2}{12 \cdot 4,5 \cdot 10^3}} = 14170,3$$

Гц.

Розрахунки показали, що період власної частоти динамометра складає:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{14170,3} = 7,06 \cdot 10^{-5} \text{ с} = 70,6 \text{ мкс.}$$

Для екстензометра «ИМДТ-20» з межами вимірювань деформацій – 0...8 мм були зафіксовані наступні складові похибки:

- систематична складова похибки – 0,36678;
- гістерезис – 0,09949;
- середньоквадратичне відхилення – 0,18692;
- нелінійність – 0,40823;
- відхилення від номінального значення – 0,00000.

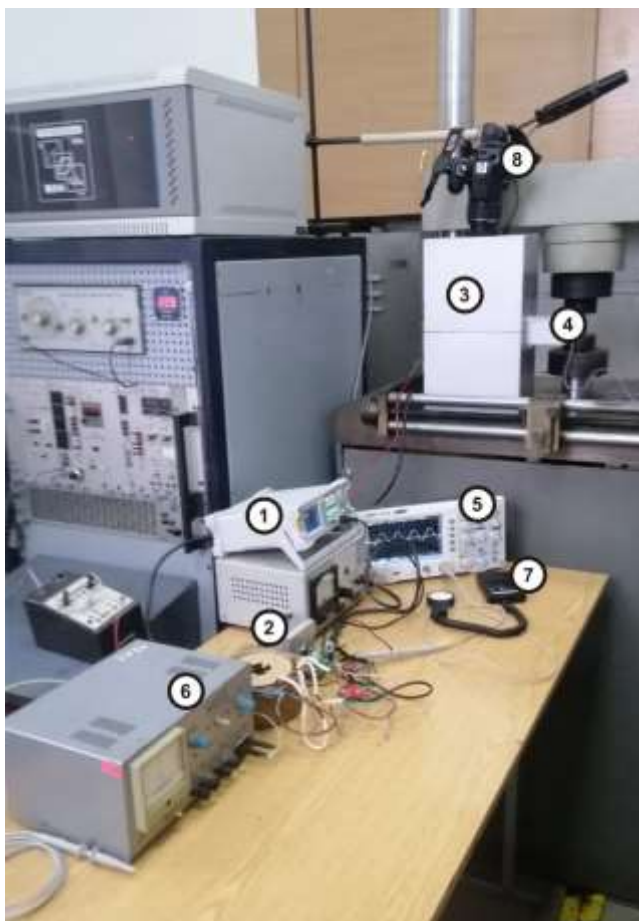
Для екстензометра «ИМДТ-8» з межами вимірювань деформацій – 0...8 мм були зафіксовані наступні складові похибки:

- систематична складова похибки – 0,15761;
- гістерезис – 0,07390;
- середньоквадратичне відхилення – 0,04327;
- нелінійність – 0,17872;
- відхилення від номінального значення – 0,00000.

Розроблені засоби тензо- і динамометрії перед кожним циклом випробувань тарувалися за допомогою спеціального пристосування фірми «INSTRON» і еталонного динамометра 3-го розряду типу ДОС-5.

5. НАУКОВА ЧАСТИНА

Автори магістерської роботи рали участь у таруванні експериментального стенду який розроблено ПО. Марущаком, В.Р. Медвідем, О.П. Шовкуном. Експериментальний стенд (в зборі) для вимірювання представлений на рис. 5.1.. На рухому котушку вібростенда, подавали синусоїдальна напруга амплітудою 0-30В від генератора низькочастотних коливань 1 через аналоговий підсилювач 2 класу АВ з вихідною потужністю до 100Вт та частотою 10-1000 Гц. При потребі, змінна напруга може мати трикутну чи пилкоподібну форму або форму прямокутних імпульсів. На нижній частині камери 3 на окремій площадці нерухомо закріплено давач 4 (екстензометр моделі Ві-06-308), з якого знімали вертикального переміщення зразка на ПК. Вони поєднанні між собою за допомогою контролера моделі В1-07-005 від виробника TESTRESOURCES ASIA BiSS (Індія). Наявність на ПК програмному забезпеченню MTL32 Base Module сигнал записували та аналізували.



а



б

Рис. 5.1. Стенд для проведення експериментальних досліджень - а та його аналог INSPEKTO S70 - б: 1 – генератор, 2 – аналоговий підсилювач, 3 –

камера, 4 – датчик вібропереміщень, 5 – осцилограф, 6 – блок живлення, 7 – люксметр, 8 – фотокамера [18, 45]

Котушки намагнічування вібростенда під'єднана до джерела постійної напруги CONSTANT VOLTAGE SOURCE напругою 12V. Від генератора змінної напруги ALTERNATING VOLTAGE GENERATOR сигнал синусоїдальної форми подається через аналоговий підсилювач AC VOLTAGE AMPLIFIER на обмотку рухомої котушки динамічної головки вібростенда. Амплітуда і форма напруги контролюється осцилографом OSCILLOSCOP [18, 46, 47]. На світлодіоди, розташовані в верхній частині камери, подається постійна напруга від джерела живлення CONSTANT VOLTAGE SOURCE, вихідна напруга якого може змінюватися в межах 0-12V. Це дає можливість змінювати освітленість досліджуваного зразка. Рівень освітленості визначається люксметром LUXMETER за допомогою фотодатчика BL1, який розташовано на рівні досліджуваного зразка. Величина вібропереміщення зразка вимірюється вібровимірювальною установкою INSTALLATION FOR MEASURING VIBRATIONS за допомогою вібраційного датчика [18, 48, 49].

В процесі досліджень вимірювали наступні параметри:

- постійна напруга на котушці намагнічування,
- змінна напруга на рухомій котушці вібраційної головки,
- частота напруги, що подається на рухому котушку,
- освітленість поверхні зразка,
- амплітуда переміщення стола вібраційної головки.

Автором виявлено що за однакового живлення, підвищення частоти циклічних коливань на генераторі, зумовлює зниження амплітуди коливань [50, 51, 52].

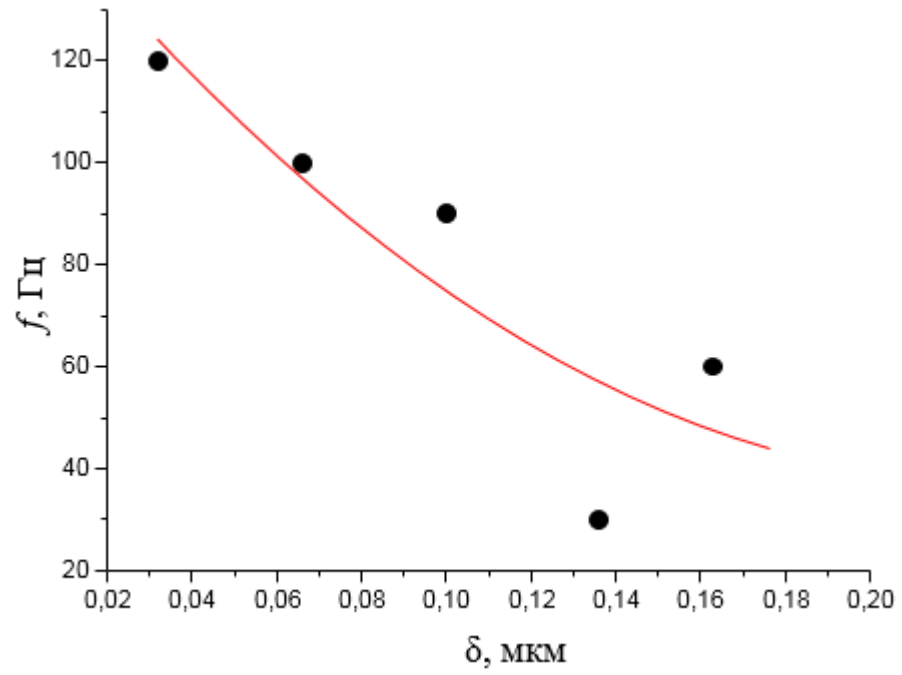


Рис. 5.2. Залежність амплітуди вібрацій від сигналу задання на генераторі.

Це дозволило встановити закономірності впливу задаючого сигналу на амплітуду циклічного переміщення досліджуваної пластини.

6. ОХОРОНА ПРАЦІ

6.1 Загальні положення щодо неруйнівного контролю. Система сертифікації та атестації персоналу та лабораторій

Неруйнівний контроль (НК) – це технічний контроль, за якого деталь при дослідженнях не руйнується.

Завдання НК:

- дефектоскопія (виявлення тріщин, дефектів);
- товщинометрія (визначення товщини захисних покриттів);
- структуроскопія (структура об'єкта контролю) за допомогою вихрових струмів.

Вимоги до методів НК:

- достовірність результатів контролю;
- висока продуктивність;
- можливість проведення контролю на стадії виготовлення, експлуатації та ремонту;
- простота методики контролю.

Відповідно до ГОСТ 18353 існує 9 видів НК:

Оптичний вигляд ПК;

Магнітний вигляд ПК;

Вихрострумний вид НК;

Акустичний вигляд ПК;

Радіохвильовий вид ПК;

Радіаційний вигляд ПК;

Електричний вигляд ПК;

Тепловий вигляд ПК;

Контроль проникаючими речовинами (капілярний вид НК).

Системи НК - це сукупність методів НК, що застосовують за певною методикою, для виявлення дефектів.

До складу системи НК входить:

- персонал;
- обладнання, засіб контролю;
- об'єкт контролю (ОК);
- методика технології контролю (достовірна, точна).

Застосовують трирівневу систему атестації персоналу:

- спеціаліст першого рівня, який виконує контроль у суворій відповідності до методики під керівництвом спеціаліста другого або третього рівня;
- спеціаліст другого рівня, який самостійно виконує контроль, має право видавати висновок;
- спеціаліст третього рівня, який має право навчати персонал, розробляти методики контролю, контролювати роботу фахівців першого та другого рівнів.

6.2. Система сертифікації та атестації персоналу та випробувальних лабораторій

Атестація фахівців лабораторії НК, залежно від специфіки випробувань, їх підготовки та виробничого досвіду, проводиться за трьома рівнями професійної кваліфікації - I, II, III.

Атестацію спеціалістів лабораторії НК проводять з метою підтвердження достатності теоретичної та практичної підготовки, досвіду, компетентності, тобто їх професійних знань, навичок, майстерності, які необхідні для проведення відповідних випробувань.

Атестація здійснюється в рамках організаційної структури Єдиної системи оцінки відповідності у галузі промислової, екологічної безпеки, безпеки в енергетиці та будівництві.

За результатами атестації фахівцям лабораторії НК видається кваліфікаційне посвідчення із зазначенням галузі атестації.

6.3. Кваліфікаційні вимоги до персоналу випробувальних лабораторій

До осіб, які атестуються на I, II та III рівні кваліфікації, визначено відповідні кваліфікаційні вимоги.

Спеціаліст I рівня кваліфікації виконує роботи з випробувань, за інструкцією та під наглядом персоналу II або III рівня кваліфікації.

Фахівець I рівня має вміти:

- налаштовувати обладнання, за допомогою якого здійснюються випробування у відповідній галузі;
- Виконувати випробування в області, в якій він атестований;
- Описувати результати випробувань.

Фахівець I рівня не здійснює самостійно вибір методик випробувань, обладнання, технології та режимів випробувань, не проводить оцінки результатів випробувань.

Спеціаліст II рівня кваліфікації:

- володіє кваліфікацією, достатньою для здійснення та керівництва випробуваннями відповідно до затверджених нормативних та технічних документів, вибору методик випробувань, обмеження галузі застосування випробувань;

- Виконує роботи з випробувань, налаштовує обладнання;
- Документує результати випробувань;
- керує фахівцями I рівня, веде їхню підготовку;
- знає та виконує всі вимоги, що належать до фахівців I рівня;
- здійснює вибір методик випробувань та відповідного обладнання, видає висновок за результатами випробувань, виконаних ним самим або, під його наглядом, спеціалістом I рівня.

Особа, що атестується на III рівень кваліфікації, повинна мати знання, вміння та навички в обсязі вимог до цих Правил.

Фахівець III рівня кваліфікації має кваліфікацію, достатню для керівництва будь-якими операціями в тій галузі випробувань, в якій він атестований, у тому числі:

- самостійно здійснює вибір методик, обладнання та персоналу;
- керує роботою персоналу I, II рівнів, а також виконує роботи, що віднесені до компетенції останніх;
- перевіряє та погоджує технологічні документи, розроблені фахівцями II рівня кваліфікації;
- розробляє методичні документи щодо випробувань;
- оцінює та інтерпретує результати випробувань;
- бере участь у підготовці, атестації персоналу на I, II, III рівні кваліфікації, якщо він уповноважений НОАП;
- проводить контроль робіт, виконаних персоналом I та II рівнів кваліфікації;
- здійснює вибір методик та засобів випробувань, видає висновок за результатами випробувань, виконаних ним самим або, під його наглядом, спеціалістом I рівня.

6.3. Світлодіодне освітлення та його вплив на персонал

1. Довговічність

Однією з головних переваг лід лампи є її термін служби, який становить 10 тис. годин без втрати основних характеристик (якості та сили світлового потоку).

- при 6 годинах на добу – 20 років;
- при 10 годинах на добу – 11 років;
- у цілодобовому режимі – понад 5 років.

У порівняльній таблиці представлений термін експлуатації інших типів лам, тому Ви можете зробити висновки.

Таблиця 6.1. Світлодіодні лампи та їх параметри

Тип лампи	Термін експлуатації (год.)
-----------	----------------------------

Світлодіодна	100 000
DRL	12 000
Люмінесцентна	10 000
Галогенна	1000
Металогалогенная	3000
Лампа розжарювання	1000

2. Економічність

Світлодіоди є найбільш економічними з усіх видів освітлення і дозволяють заощадити до 70% електроенергії. Особливо актуально це для великих підприємств, які працюють у цілодобовому режимі. Так, за однакових показників світлового потоку, споживання електрики у світлодіодної лампи в 10 разів менше, ніж у лампи розжарювання, і в 2 рази менше за ДРЛ.

До того ж, для додаткової економії в нічний час можна регулювати освітленість вулиць від 30 до 50% у відповідність до СНіП.

3. Екологічна безпека

Світлодіоди не містять небезпечних для здоров'я та життя людини матеріалів та речовин, як, наприклад, ртутні лампи. Тому вони не вимагають спеціального обслуговування, заміни ламп під час експлуатації та додаткових витрат на утилізацію.

4. Висока стійкість до різних температур та перепадів напруги

Завдяки своїй конструкції, світлодіоди практично не відчують перепади живлення, чого не скажеш про лампи розжарювання або люмінесцентні. Також використання світлодіодного освітлення унеможливорює ризик перевантаження електромереж (споживаний струм становить всього 0,6-0,9 А).

Дані світильники мають стійкість до різних температур, тому їх можна використовувати в приміщеннях з температурним режимом від -60°C до 40°C, а також на вулиці.

5. Висока контрастність та кольоропередача

Це дозволяє краще і чіткіше бачити навколишні предмети. Організація світлодіодного освітлення на підприємстві забезпечує необхідну безпеку у роботі з обладнанням та деталями, зберігає здоров'я співробітників. При тому, що кольоропередача дещо нижча, ніж у газорозрядних ламп, за рахунок високої контрастності якість освітлення буде кращою.

Тип лампи	Індекс передачі кольору
природне сонячне світло	100
газорозрядні лампи	80-95
світлодіоди	75-85
люмінесцентні лампи	60-95
лампи розжарювання	68
натрієві лампи	25

6. Висока якість світла

Потік світла, що випромінює світлодіодний світильник найбільш наближений до природного освітлення, що є оптимальним для умов праці в офісних та промислових приміщеннях, а також для навчальних закладів. Коефіцієнт корисної дії світлодіодних ламп становить 100%.

7. Надійність та міцність

Завдяки своїй міцній конструкції світлодіоди відрізняються своєю зносостійкістю і мають високий ступінь захисту від зовнішніх негативних факторів IP65-IP67, що дозволяє їх застосовувати в екстремальних умовах експлуатації та пожежонебезпечних зонах.

8. Гарантія від виробника

За рахунок того, що світлодіоди мають довгий термін служби, багато виробників надають від 5 до 10 років гарантії на свою продукцію.

Компанія ITW SYSTEMS надає до 11 років розширеної гарантії на всі види освітлення.

9. Широкий модельний ряд

Залежно від типу приміщення, умов експлуатації, індивідуальних побажань клієнта можна підібрати світильники для будь-яких цілей та з будь-якою потужністю (офісні, промислові, складські, вуличні та інші). У нашому каталозі товарів можна підібрати необхідні для Вашого підприємства освітлювальні прилади [60, 61, 62]

10. Додаткові можливості

Світильники нового покоління мають додаткові можливості, які задаються протягом проектування: система керування світловим потоком, миттєве включення та інші.

Недоліки лід ламп

1. Істотний недолік – порівняно висока ціна. Але, враховуючи співвідношення ціна-якість-економічність, краще один раз заплатити та встановити ці світильники, особливо це актуально для великих підприємств. Тим більше, терміни окупності становлять лише кілька років, що у будь-якому разі буде вигідним вкладенням.
2. Світлодіоди, на відміну від звичайних ламп, вимагають номінального робочого струму, що збільшує собівартість системи освітлення.
3. Вони мають смужковий спектр випромінювання, тому потрібно звертатися до фахівців для забезпечення рівномірного освітлення в приміщенні, щоб який-небудь колір навколишнього оточення не потрапив у халепу.

Розглянувши всі плюси та мінуси Led ламп, можна зробити висновки, що світлодіодне освітлення має більше переваг, ніж недоліків, є якісним, надійним та вигідним видом освітлення.

7. БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Сучасному етапу розвитку теоретичних і прикладних наукових досліджень притаманне укрупнення та ускладнення розв'язуваних завдань, інтеграція наукових знань, з подальшим проникненням у їх структуру системного мислення та системно-структурного аналізу. Відображенням цих процесів є впровадження у науку та практику нових, перспективних методів та засобів діагностики, корекції та лікування різних функціональних розладів та захворювань організму людини, що базуються на принципах системного, комплексного підходу, на широкому використанні методів математичного аналізу та моделювання, новітнього програмного забезпечення та обчислювальної техніки. Особливо ці процеси помітні у сфері традиційної, зокрема, неконвенційної медицини, що виявляється у прагненні європейських вчених-медиків по-новому осмислити та інтерпретувати фундаментальні положення традиційної східної медицини та гомеопатії, адаптувати їх у системі сучасних медичних знань, використовуючи для цього новітні технології та апаратурні засоби.

Глибокий, всебічний аналіз існуючих міжсистемних взаємодій організму, знання їх характеру, особливостей та спрямованості зумовлює принципово нові можливості для вдосконалення та розвитку методологічних підходів до оцінки функціональних станів та здоров'я, методів та способів корекції їх порушень. Особливу значущість використання системного підходу з оцінкою міжсистемних взаємодій в організмі має для оцінки та корекції професійного здоров'я. Професійне здоров'я, спираючись на рівень психічного та фізичного розвитку організму, стан його функціональних систем формується під впливом зовнішніх умов, змінюючись у процесі професійної діяльності. Виразність цих змін визначається як характером впливу (його виглядом, інтенсивністю, тривалістю тощо.), рівнем адаптаційних можливостей організму, його специфічної і неспецифічної стійкістю до впливу середових чинників, величиною функціональних резервів, а й гармонією міжсистемних взаємодій і

зв'язків. Порушення цієї гармонії знижує якість здоров'я та може позначатися на показниках захворюваності та професійної успішності. Більшість людей проводять на робочому місці більшу частину свого часу. При цьому основна частина роботи пов'язана з напруженою зоровою роботою. Тому дуже важливо забезпечити співробітникам комфортні для роботи умови, серед яких якісне висвітлення є обов'язковим. Саме від нього залежить ефективність роботи співробітників, їх настрій та безпека.

Основне призначення освітлення у робочій зоні:

- забезпечити оптимальні умови роботи відповідно до норм та вимог;
- знизити втомлюваність органів зору;
- забезпечити безпеку працівників;
- запобігання професійним захворюванням;
- підвищення ефективності праці та якості роботи.

Для реалізації вищезазначених умов система освітлення на підприємстві повинна відповідати наступним вимогам:

- *Якісне та рівномірне освітлення* робочої зони, яке відповідає санітарним нормам, що діють, санітарним нормам в Україні СНіП та новому стандарту освітлення – ISO 8995. Нерівномірне освітлення змушує органи зору адаптуватися до різної яскравості навколишніх предметів, що призводять до швидкої втоми очей.
- *Оптимальна яскравість*. Для зору людини однаково шкідливе як темне світло, так і надто яскраве. Це проявляється у різі в очах, частих головних болях, розладі зору. Тому необхідно правильно зробити розрахунок та проектування освітлення, щоб отримати комфортну яскравість у приміщенні.
- *Відповідний контраст*, який відповідає за видимість об'єктів та впливає на зорову працездатність.
- *Відсутність відблисків та сліпучого ефекту* – обов'язкові умови безпечної роботи, тому що їх наявність сприяє швидкій стомлюваності очей та підвищує ризик травматизму на виробництві.

- *Правильно підібрана колірна температура*, залежно від функціональних особливостей приміщення. Так, у світлодіодних світильниках найширший спектр колірних температур (від 2700 до 6500 К).
- *Відсутність мерехтіння*. Доведено, що пульсації світильників шкідливі за роботи з рухомими деталями, так і нерухомими, викликає втомленість очей і головний біль, нервозність і дратівливість. Коефіцієнт пульсацій світильників не повинен перевищувати 20%.

Відомо, що майже 90% інформації ми отримуємо через органи зору. Незадовільна освітленість у приміщенні, пульсації ламп, які непомітні неозброєному оку, через кілька років можуть призвести до різних захворювань органів зору та погіршення психічного здоров'я. Не лише наш зір, а й увесь людський організм гостро реагує на дискомфортне світло. Це проявляється у втомі, сонливості, частих головних болях, підвищенні артеріального тиску, і як результат – знижується здатність працювати.

Занадто висока яскравість також негативно впливає на організм, сприяючи зниженню зору. Тому потрібно використовувати тільки якісне світлодіодне освітлення, вплив на здоров'я якого не спричинить негативних наслідків.

Вплив світла на продуктивність

Вчені провели багато досліджень, в результаті яких було доведено вплив висвітлення на безпеку та продуктивність праці, і саме:

- інженерне проектування системи освітлення офісних приміщень сприяє ефективній роботі, уважності та зібраності персоналу та підвищенню працездатності до 32%;
- при покращенні освітленості на виробничому підприємстві значно підвищується продуктивність та якість праці;
- за статистикою нещасних випадків на робочих місцях, де правильно підібрано систему освітлення, відбувається вдвічі менше;
- при оптимальному світлі кількість браку скорочується на 30%;

- якісне висвітлення у навчальних аудиторіях позитивно впливає на студентів, вони легше сприймають навчальний матеріал, при цьому менше втомлюються. А таке популярне захворювання як короткозорість зникає.

У будь-якому приміщенні освітлення має бути *раціональним*, що поєднує хороший світловий потік, високу якість, економічність та безпеку.

Таблиця 7.1. Впливи видів освітлення на працездатність та безпеку:

Тип лампи	Вплив на людину
<i>Лампа розжарювання</i>	Про користь цього виду освітлення важко говорити, адже більшість країн вже давно відмовилися від таких ламп. Вони не тільки шкідливі для здоров'я людини, адже мають високий коефіцієнт рівня пульсацій, низьку світлову віддачу, невеликий колірний діапазон, а й становлять пожежну небезпеку.
<i>Люмінесцентна лампа</i>	Такі світильники містять ртуть, тому вони не можуть бути безпечними для здоров'я людини. Не тільки ртуть згубно впливає на самопочуття та здоров'я, а й такі фактори як: • мертве біле світло – пригнічує вироблення мелатоніну в людському організмі, що у свою чергу призводить до зниження імунітету, порушення біологічного годинника та роботи нервової системи. • невидиме оку людини мерехтіння та стробоскопічний ефект вкрай негативно впливає на нервову систему, викликає стомлюваність та погане самопочуття, значно знижує працездатність; • Шкідливе УФ випромінювання посилює проблеми зі шкірою, викликає її передчасне старіння та рак.
<i>Галогенні</i>	Лампи розжарювання з йодним циклом є не дуже небезпечними для здоров'я. Їх спектр випромінювання ближчий до природного світла, що добре для зору. При цьому великим недоліком є пульсація світлового потоку, що може спричинити

	появу стробоскопічного ефекту. Це може мати негативні наслідки на виробничих підприємствах (підвищення травматизму та збільшення шлюбу).
<i>Світлодіодні</i>	Світлодіоди – одні з найбезпечніших на сьогоднішній день світильників. Вони не містять небезпечних для здоров'я матеріалів, міцні, економічні та довговічні (термін експлуатації становить до 10 років). До того ж такі лампи практично не випромінюють тепла, що робить їх пожежобезпечними для будь-якого підприємства. Світлодіодні світильники сприяють підвищенню працездатності працівників більш ніж на 30% порівняно з іншими видами. І хоча ціна на світлодіодні лампи порівняно висока, але позитивний вплив світлодіодного освітлення на людину це виправдовує.

Вплив освітлення на безпеку праці

Комфортна освітленість у приміщенні – дуже важливий показник з погляду безпеки праці. Більшість нещасних випадків на підприємствах трапляється найчастіше через недотримання норм освітленості. Погане освітлення призводить до таких негативних наслідків:

- у зв'язку з труднощами розпізнавання предметів робітники роблять помилки, які завдають шкоди їхньому здоров'ю;
- Проблеми, пов'язані з обслуговуванням устаткування.

Недостатня освітленість робочих місць може бути причиною зниження продуктивності та якості роботи, отримання виробничих травм. Тому якісне світло – запорука безпечної роботи. Він підвищує працездатність та знижує ризик травматизму на робочому місці.

Якщо Вам потрібна допомога у професійній організації системи освітлення на Вашому підприємстві, зверніться до наших фахівців , які нададуть Вам якісну консультацію.

ВИСНОВКИ

Запропоновано виявлення дефектів сталевих поверхні на основі згорткової нейронної мережі. Запропонована модель перевершує інші алгоритми неглибокого машинного навчання, тобто машину опорних векторів і логістичну регресію з точки зору точності.

Незважаючи на те, що дефекти металопрокату мають різноманітні та складні характеристики, розроблено алгоритми виявлення поверхневих дефектів сталевих смуги, що мають хорошу ефективність узагальнення. З метою виявлення поверхневих дефектів сталевих смуги ми створили імітацію дефектів холоднокатаної сталевих смуги та камеру для відтворення умов зйомки поверхні смуги під час її транспортування після прокатування.

Розроблений підхід моніторингу якості металопрокату використовує системи зору, які ґрунтуються на описі зображення та надійній класифікації. У цій кваліфікаційній роботі досліджено вплив освітленості поверхні на якість виявлення дефектів. Серед можливих шляхів розширення цього дослідження в майбутньому є інші великомасштабні набори даних про дефекти сталі, а точніше, використання вдосконаленої техніки, яка могла б класифікувати кілька категорій дефектів на зображенні.

ПРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Hannard, F.; Pardoen, T.; Maire, E.; Le Boulrot, C.; Mokso, R.; Simar, A. (2016). Characterization and micromechanical modelling of microstructural heterogeneity effects on ductile fracture of 6xxx aluminium alloys. *Acta Materialia*, 103(), 558–571. doi:10.1016/j.actamat.2015.10.008
2. Noell P.J., Carroll J.D., Boyce B.L. The mechanisms of ductile rupture, *Acta Materialia*, (2018) 161, pp. 83-98.
3. Akihiro Endo, Yoshiyuki Furuya, Kenji Nagata, Hideki Yoshikawa & Hayaru Shouno (2022) Fracture mode classification by texture analysis of fracture surface scanning electron microscope images, *Science and Technology of Advanced Materials: Methods*, 2:1, 129-138, DOI: 10.1080/27660400.2021.2065185
4. Liu P., Song Y., Chai M., Han Z., Zhang Y. Swin-UNet++: A Nested Swin Transformer Architecture for Location Identification and Morphology Segmentation of Dimples on 1.25Cr1Mo0.25V Fractured Surface. *Materials* 2021, 14, 7504. <https://doi.org/10.3390/ma14247504>
5. Sinha. A.; Suresh, K.S. Deep Learning based Dimple Segmentation for Quantitative Fractography. In *Pattern Recognition, Proceedings of the ICPR International Workshops and Challenges, Proceedings of the Lecture Notes in Computer Science*, Milan, Italy, 10–15 January 2021; Springer International Publishing: Cham, Switzerland; pp. 463–474.
6. Tatsuya Maemura, Hidenori Terasaki, Kazumasa Tsutsui, Kyohei Uto, Shogo Hiramatsu, Kotaro Hayashi, Koji Moriguchi and Shigekazu Morito Interpretability of Deep Learning Classification for Low-Carbon Steel Microstructures // *Materials Transactions*, Vol. 61, No. 8 (2020) pp. 1584 – 1591.
7. Feng Z., Li H., Yang J., Huang H., Li G., Huang D. Macro-meso scale modeling and simulation of surface roughening: Aluminum alloy tube bending, *International Journal of Mechanical Sciences*, (2018) 144 , pp. 696-702.

8. Xu, Z.T.; Peng, L.F.; Fu, M.W.; Lai, X.M. (2015). Size effect affected formability of sheet metals in micro/meso scale plastic deformation: Experiment and modeling. *International Journal of Plasticity*, 68(), 34–54. doi:10.1016/j.ijplas.2014.11.002
9. By Chen J.-S., Huang Y.-K., Chen M.-S. Feedrate optimization and tool profile modification for the high-efficiency ball-end milling process, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, (2005) 45 (9), pp. 1070-1076.
10. Hu, H.; Liu, Y.; Liu, M.; Nie, L. Surface defect classification in large-scale strip steel image collection via hybrid chromosome genetic algorithm. *Neurocomputing* 2016, 181, 86–95.
11. Zaghdoudi, R.; Bouguettaya, A.; Boudiaf, A. Steel surface defect recognition using classifier combination. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2024, 132, 3489–3505.
12. Wang, S.; Xia, X.; Ye, L.; Yang, B. Automatic Detection and Classification of Steel Surface Defect Using Deep Convolutional Neural Networks. *Metals* 2021, 11, 388. <https://doi.org/10.3390/met11030388>
13. Yang, S.; Xie, Y.; Wu, J.; Huang, W.; Yan, H.; Wang, J.; Wang, B.; Yu, X.; Wu, Q.; Xie, F. CFE-YOLOv8s: Improved YOLOv8s for Steel Surface Defect Detection. *Electronics* 2024, 13, 2771. <https://doi.org/10.3390/electronics13142771>
14. M. Lei, Q. Weimin, C. Ying, H. Xinyi, P. Hujian and H. Xinru, "Detection Method of Steel Surface Defects Based on Semi-Supervised Frame," 2024 IEEE 4th International Conference on Software Engineering and Artificial Intelligence (SEAI), Xiamen, China, 2024, pp. 128-133, doi: 10.1109/SEAI62072.2024.10674129.
15. Ibrahim, A.A.M.S.; Tapamo, J.-R. A Survey of Vision-Based Methods for Surface Defects' Detection and Classification in Steel Products. *Informatics* 2024, 11, 25. <https://doi.org/10.3390/informatics11020025>

16. Lei Jin, Siyuan Li, Guan Qin and Ke Xu Outer surface defect detection of steel pipes with 3D vision based on multi-line structured lights, Measurement Science and Technology, 2024, Volume 35, Number 6
17. Марущак П. Метод реалізації циклічного навантаження для електромеханічних випробувальних машин // Вісник ТДТУ, 2004. - Том 9. - № 1. - С. 16-21.
18. Малогабаритна установка для фізичного моделювання вібраційних процесів та умов освітлення при контролі дефектів металопрокату / П.О. Марущак, В.Р. Медвідь, О.П. Шовкун // Матеріали І-ї Міжнародної науково-технічної конференції „Прикладна механіка“, присвяченої 80-ти річчю з дня народження професора Ч.В. Пульки, 6-7 червня 2024 р. - Тернопіль: ТНТУ, 2024. - С. 308-310.
19. Кравець Василь Григорович, Романишин Олександр Богданович, Розроблення автоматизованих методів механічних випробувань та електронно-мікроскопічних досліджень сталейних зразків: дипломна робота магістра за спеціальністю „151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології“. - Тернопіль: ТНТУ, 2019. - 106 с.
20. Нові методи аналізу електронно-мікроскопічних зображень та мікропрофілю поверхонь біокородованих сталейних зразків / П. Марущак, І. Коноваленко, В. Кравець, О. Романишин // Тези доповідей VII науково-технічної конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» (11-12 грудня 2019 року), Тернопіль, ТНТУ.
21. Diahovchenko I., Kolcun M., Čonka Z., Savkiv V., Mykhailyshyn R. Progress and challenges in smart grids: Distributed generation, smart metering, energy storage and smart loads. Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Electrical Engineering, 2020. Vol. 44. P. 1319-1333. <https://doi.org/10.1007/S40998-020-00322-8>.
22. Palamar A., Pettai E., Beldjajev V. Control System for a Diesel Generator and UPS Based Microgrid. Scientific Journal of Riga Technical University. Power and Electrical Engineering. 2010. Vol. 27. P. 47-52.

23. Vasylykivskyi I., Ishchenko V., Pohrebennyk V., Palamar M., Palamar A. System of water objects pollution monitoring. International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management (SGEM 2017), Vienna, Austria, November, 27–29, 2017. Vol. 17, No. 33. P. 355-362.
24. Wieclaw L.; Pasichnyk V.; Kunanets N.; Duda O.; Matsiuk O.; Falat P. Cloud computing technologies in “smart city” projects. In Proceedings of the 2017 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS). Bucharest: Romania, 21–23 September 2017. pp. 339–342.
25. Yaskiv V. Using of High-Frequency Magnetic Amplifier in Switch Mode DC Power Supplies. Proceedings of the 35th Annual IEEE Power Electronic Specialists Conference (PESC’04), Aachen, 2004. P. 1658–1662.
26. Автоматизація виробничих процесів : навч. посіб. / Проць Я. І., Савків В. Б., Шкодзінський О. К., Ляшук О. Л. Тернопіль : ТНТУ ім. І.Пулля, 2011. 344с.
27. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / укл.: Стручок В. С. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. 156 с.
28. Букетов А. В., Стухляк П. Д., Кальба Є. М. Фізико-хімічні процеси при формуванні епоксикомпозитних матеріалів. Тернопіль: Збруч, 2005. 182 с.
29. Драган Я.П., Яворський Б. І., Яворська Є. Б. Концепції і принципи побудови моделей для означення метрологічних характеристик ритміки кардіосигналів. Вісник нац. унів. “Львівська політехніка”: зб. наук. пр. Львів: Національний університет “Львівська політехніка”, 2002. № 443. С. 200-205.
30. Коваль В. П., Івасечко Р. Р., Козак К. М. Енергетична ефективність систем позиціонування плоских сонячних панелей. Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит. 2015. № 3. С. 2-10.

31. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д. Телекомунікаційні системи та мережі. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. 384 с.
32. 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.
33. 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.
34. Паламар М. І., Стрембіцький М. О., Паламар А. М. Проектування комп'ютеризованих вимірювальних систем і комплексів : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2019. 150 с.
35. Development of Digital Platform to Identify and Monitor the Digital Business Transformation Index, Strutynska, I., Dmytrotsa, L., Kozbur, H., Dudkin, P., Dudkina, O., International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies, 2020, 2, pp. 171–175, 9322016
36. Information technology to support the digital transformation of small and medium-sized businesses, Mosiy, L., Kozbur, H., Strutynska, I., Mosiy, O., Yatsyshyn, V. CEUR Workshop Proceedings, 2024, 3742, pp. 150–165
37. Analysis of the SMEs' Digitalization State Using HIT Index and Machine Learning Technique, Strutynska, I., Kozbur, H., Dmytrotsa, L., Kozbur, I., Gashchyn, N., Proceedings - International Conference on Advanced Computer Information Technologies, ACIT, 2023, pp. 332–337
38. Working-Out of Recommendation System to Increase the Digital Maturity Level of Enterprises, Strutynska, I., Dmytrotsa, L., Kozbur, H., Hlado, O., Sorokivska, O., 2020 IEEE International Conference on Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2020 - Proceedings, 2021, pp. 147–151, 9467978
39. The Unification of Approaches to Measuring the Digital Maturity of Business Structures (International and Domestic Approaches) / Strutynska, I., Dmytrotsa,

- L., Kozbur, H., Melnyk, L., Sherstiuk, R., CEUR Workshop Proceedings, 2021, 3013, pp. 10–23
40. Стухляк П.Д., Букетов А.В. Епоксикомпозитні матеріали, модифіковані ультрафіолетовим опроміненням. Тернопіль: Збруч, 2009. 237 с.
 41. Ткачук Р., Яворський Б. Метод побудови біотехнічної системи для оцінювання електроретинограм з підвищеною вірогідністю та ефективністю. Вісник Тернопільського державного технічного університету. 2009. №3. С. 102-110.
 42. Юзьків А. В., Яворський Б. І. Математичне моделювання електроретинографічних сигналів. Вісник ТДТУ. Тернопіль, 1997. № 2. С. 40-45.
 43. Яворський Б. І. Математичні основи радіоелектроніки. Частина І. Тернопіль: ТПІ імені Івана Пулюя. 1996. 184 с.
 44. 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>.
 45. 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.
 46. Платформа .NET та мова програмування C# 8.0: навчальний посібник / Коноваленко І.В., Марущак П.О. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2020 – 320 с.
 47. 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.
 48. Медвідь В.Р., Проектування мікропроцесорних систем керування: навчальний посібник / І.Р. Козбур, В.Р. Медвідь, В.П. Пісьціо. – Тернопіль:

- Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2015. – 354 с., ISBN 978-966-305-045-4,
<http://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789/20504>.
49. Савків В.Б., Капаціла Ю.Б., Михайлишин Р.І. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». Тернопіль.: Видавництво ТНТУ. 2021. 50 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/35172>
50. 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.
51. Козбур І.Р., Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи «Дослідження частотних 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. – с. 16. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39207>
52. 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.
53. 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. – 26с.
54. Трембач Р.Б., Медвідь В.Р. Методичні вказівки до виконання до виконання лабораторних робіт з дисципліни “Електроніка і мікросхемотехніка” Модуль 4. «Мікросхемотехніка» – Тернопіль: ТНТУ, 2024. – 44с.

55. Розробка мікропроцесорної системи керування на основі мікропроцесорного комплекту КР580 та на основі ОМЕОМ К1816ВЕ51/ Методичні вказівки для виконання курсового проекту з дисципліни "Електроніка і мікропроцесорна техніка" //Медвідь В.Р, Пісьціо В.П., Микулик П.М. Тернопіль: ТНТУ - 2016. 108 с.
56. Козбур І.Р., Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи «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>
57. Лабораторний практикум з проектування та моделювання роботи електропневматичних схем у середовищі програмного пакету «FluidSIM Pneumatics» з курсу «Технічні засоби автоматизації» / укл. : О.К. Шкодзінський. - Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2020. - 32 с.
<https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/31418>
58. 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.
59. Автоматизація виробничих процесів: Навчальний посібник / Я.Проць, О.Данилюк, В.Савків - ТДТУ. 2005. -264с.
60. Методичні вказівки з виконання курсової роботи з дисципліни «Основи наукових досліджень» для здобувачів освітнього ступеня «Магістр» спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / укл. : П.О. Марущак , Ю.Б. Капаціла , Р.І. Михайлишин. - Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2018. - 75 с.
<https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/26145>
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. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/32136/>.
62. Методичні рекомендації для практичних занять з курсу «Засади провадження наукової діяльності» / укл. : Дмитрів Олена Романівна, Рогатинський Роман Михайлович. – Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2024. – 112 с., <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/44669>.