

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»  
Факультет автоматизації виробництва та цифрових технологій  
Кафедра цифрових технологій та проектно-аналітичних рішень

«Допущено до захисту»  
Гарант ОПП

Павло  
САГАЙДА

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістра

за підсумками виконання  
освітньо-професійної програми  
«Комп'ютерні науки та цифровий інтелект»  
за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки

**на тему «Дослідження моделей, методів та інформаційних  
технологій автоматизації процесу обробки промислових даних  
про роботу обладнання»**

Керівник роботи

Ірина ГЕТЬМАН

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.  
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають  
посилання на відповідне джерело*

Здобувач

Денис САВЕНКОВ

Підсумкова оцінка за атестацію			
--------------------------------	--	--	--

Голова ЕК

Антон КУДРЯВЦЕВ

ЗАПОРІЖЖЯ 2026

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет цифрових технологій та автоматизації виробництва

Кафедра цифрових технологій та проєктно-аналітичних рішень

Ступень вищої освіти магістр

Спеціальність 122/F3 Комп'ютерні науки

(шифр і назва)

Освітня програма Комп'ютерні науки та цифровий інтелект

(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант ОПП

Павло САГАЙДА

«10» листопада 2025р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Савенкову Денису Олексійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи Дослідження моделей, методів та інформаційних технологій автоматизації процесу обробки промислових даних про роботу обладнання

керівник роботи Гетьман Ірина Анатоліївна, доцент, канд. техн. наук,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Університету від 10.09.2025 р. №239/10.09.2025

2. Строк подання роботи 20.01.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Навчальна література, державні стандарти, методична література з спеціальних дисциплін та дипломування, науково-дослідницькі роботи з тематики автоматизації обробки й аналізу даних та методів цифрового інтелекту, літературні джерела, технологічні інструкції тощо

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) виконати аналіз стану питання та сучасних підходів до автоматизації обробки промислових даних про роботу технологічного обладнання; розробити математичні моделі процесу обробки промислових даних та оптимізації режимів роботи обладнання; розробити методики теоретичних і експериментальних досліджень; спроєктувати та реалізувати програмний комплекс автоматизованої обробки промислових даних; провести експериментальні дослідження і аналіз результатів роботи програмного комплексу; виконати економічні розрахунки та оцінити ефективності впровадження розроблених рішень.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) мета і завдання дослідження; математичні моделі, методика дослідження; діаграми проекту програмної системи в нотації UML (діаграми прецедентів, класів, послідовностей, діяльності, потоків даних); результати експериментальних досліджень;

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Фаховий консультант</i>	І.А. Гетьман, доц., канд. техн. наук		
<i>Нормоконтроль</i>	О.С. Касьянюк, ст. викл.		
<i>Економічна частина</i>	І.А. Гетьман, доц., канд. техн. наук		

7. Дата видачі завдання 10.11.2025

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи
1.	Аналіз стану та підходів до автоматизації обробки промислових даних про роботу листоправильних машин у металургійному виробництві	20.01.2026 – 21.01.2026
2.	Розробка математичних моделей та методики дослідження процесу автоматизованої обробки промислових даних про роботу листоправильних машин	22.01.2026 – 23.01.2026
3.	Розробка програмного комплексу для автоматизованої обробки промислових даних про роботу листоправильної машини	24.01.2026 – 25.01.2026
4.	Проведення та результати теоретичних та експериментальних досліджень програмного комплексу для автоматизованої обробки промислових даних про роботу листоправильної машини	26.01.2026 – 27.01.2026
5.	Виконання економічних розрахунків доцільності розробки та впровадження системи	27.01.2026
6.	Оформлення текстової, програмної та графічної документації	28.01.2026
7.	Оформлення записки. Підготовка доповіді та презентації. Отримання відгуку та рецензії	28.01.2026
8.	Захист проєкту	29.01.2026

Здобувач вищої освіти

\_\_\_\_\_

Д.О. Савенков  
(ініціали та прізвище)Керівник роботи, доц.,  
канд. техн. наук

(підпис)

І.А. Гетьман  
(ініціали та прізвище)

## РЕФЕРАТ

***Савенков Д.О. Дослідження моделей, методів та інформаційних технологій автоматизації процесу обробки промислових даних про роботу обладнання.***

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра комп'ютерних наук за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки. – ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА» МОН України, м. Запоріжжя, 2026.

Метою роботи є дослідження та розробка моделей, методів і програмних засобів автоматизації обробки промислових даних про роботу листоправильних машин у металургійному виробництві. Об'єкт дослідження – процес автоматизованої обробки промислових даних, що формуються під час роботи листоправильного обладнання. Предмет дослідження – математичні моделі, методи аналізу даних та інформаційні технології автоматизованої обробки промислових даних про роботу листоправильних машин. Методологія дослідження включає аналіз часових рядів, статистичну обробку даних, математичне моделювання, розробку програмного забезпечення та експериментальні дослідження.

У роботі виконано аналіз предметної області та сучасних підходів до автоматизованої обробки промислових даних у металургійному виробництві. Розроблено математичну модель і методичку автоматизованої обробки даних, що забезпечують часову сегментацію сигналів та формування узагальнених параметрів процесу правки. Створено програмний комплекс для автоматизації обробки та аналізу промислових даних. Проведені дослідження підтвердили ефективність запропонованих рішень.

Результати роботи можуть бути використані на підприємствах Групи «Метінвест» для підвищення ефективності аналізу роботи листоправильного обладнання, зниження трудомісткості обробки даних і підвищення стабільності технологічних режимів та якості продукції.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ЛИСТОПРАВИЛЬНА МАШИНА, ПРОМИСЛОВІ ДАНІ, АВТОМАТИЗОВАНА ОБРОБКА ДАНИХ, ЧАСОВІ РЯДИ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС, МЕТАЛУРГІЙНЕ ВИРОБНИЦТВО, АНАЛІЗ ДАНИХ, ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ, ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ

## ABSTRACT

***Savenkov D.O. Research on models, methods, and information technologies for automation of industrial data processing related to equipment operation.***

Qualification work for obtaining the degree of Master of Computer Science in the specialty 122 Computer Science. – LLC «TECHNICAL UNIVERSITY «METINVEST POLYTECHNIC» MES of Ukraine, Zaporizhzhia, 2026.

The aim of the work is to study and develop models, methods, and software tools for automating the processing of industrial data generated during the operation of sheet leveling machines in metallurgical production. The object of the research is the process of automated processing of industrial data generated during the operation of sheet leveling equipment. The subject of the research includes mathematical models, data analysis methods, and information technologies for automated processing of industrial data related to the operation of sheet leveling machines. The research methodology includes time series analysis, statistical data processing, mathematical modeling, software development, and experimental studies.

The paper analyzes the subject area and modern approaches to automated processing of industrial data in metallurgical production. A mathematical model and a methodology for automated data processing have been developed, providing time segmentation of signals and formation of generalized parameters of the sheet leveling process. A software system for automation of industrial data processing and analysis has been created. The conducted studies confirmed the effectiveness of the proposed solutions.

The results of the work can be applied at enterprises of the Metinvest Group to improve the efficiency of analyzing sheet leveling equipment operation, reduce labor intensity of data processing, and increase the stability of technological modes and product quality.

**KEYWORDS:** SHEET LEVELING MACHINE, INDUSTRIAL DATA, AUTOMATED DATA PROCESSING, TIME SERIES, MATHEMATICAL MODEL, SOFTWARE SYSTEM, METALLURGICAL PRODUCTION, DATA ANALYSIS, PRODUCTION PROCESS EFFICIENCY

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АСУТП – автоматизована система управління технологічним процесом;

API – Application Programming Interface (прикладний програмний інтерфейс);

IDE – Integrated Development Environment (інтегроване середовище розробки);

IBA – Industrial Bus Analyzer (програмний комплекс збору та аналізу промислових даних);

IT – Information Technology (інформаційні технології);

ЛПМ – листоправильна машина;

ММ – математична модель;

ПЗ – програмне забезпечення;

ПМК – програмно-методичний комплекс;

ТП – технологічний процес;

ТЗ – технічне завдання;

SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition (система диспетчерського керування та збору даних);

SQL – Structured Query Language (структурована мова запитів);

SSMS – SQL Server Management Studio;

ТЛС – товстолистовий стан;

ЦМВ – цех металургійного виробництва;

EOL – End Of Life (кінець життєвого циклу продукту);

ПТ – приймальне тестування.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 АНАЛІЗ СТАНУ ТА ПІДХОДІВ ДО АВТОМАТИЗАЦІЇ ОБРОБКИ ПРОМИСЛОВИХ ДАНИХ ПРО РОБОТУ ЛИСТОПРАВИЛЬНИХ МАШИН У МЕТАЛУРГІЙНОМУ ВИРОБНИЦТВІ .....	12
1.1 Аналіз предметної області автоматизованої обробки промислових даних про роботу багатороликової листопрավильної машини та сучасних принципів її моделювання.....	12
1.2 Аналіз сучасних інформаційних технологій, програмних засобів та методів автоматизованої обробки промислових даних про роботу листопрավильних машин .....	19
1.3 Глосарій термінів предметної області автоматизованої обробки промислових даних та інформаційних технологій .....	25
1.4 Висновки до першого розділу .....	25
2 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ТА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ОБРОБКИ ПРОМИСЛОВИХ ДАНИХ ПРО РОБОТУ ЛИСТОПРАВИЛЬНИХ МАШИН.....	27
2.1 Обґрунтування вибору методів теоретичних та експериментальних досліджень автоматизованої обробки промислових даних роботи листопрավильної машини .....	27
2.2 Математична модель об'єкта дослідження – процесу правки листового прокату та автоматизованої обробки промислових даних роботи листопрավильної машини .....	29
2.3 Розробка методики дослідження автоматизованої обробки промислових даних про роботу листопрավильних машин .....	32
2.3.1 Характеристика листопрավильної машини як об'єкта дослідження .....	32
2.3.2 Опис процесу отримання та первинної підготовки параметрів правки з використанням програмного комплексу IBA Analyzer .....	36
2.3.3 Формування масивів промислових даних та методика їх подальшої обробки .....	39
2.3.4 Розробка технічного завдання на створення програмного комплексу автоматизованої обробки промислових даних про роботу листопрավильної машини.....	41
2.4 Висновки до другого розділу .....	43
3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ОБРОБКИ ПРОМИСЛОВИХ ДАНИХ ПРО РОБОТУ ЛИСТОПРАВИЛЬНОЇ МАШИНИ .....	44

3.1	Призначення, функції та загальна структура програмного комплексу для автоматизованої обробки промислових даних про роботу листоправильних машин .....	44
3.2	Розробка логічної моделі програмного комплексу для автоматизованої обробки промислових даних про роботу листоправильних машин .....	46
3.3	Розробка діаграми прецедентів програмного комплексу для автоматизованої обробки промислових даних про роботу листоправильних машин .....	51
3.4	Розробка діаграми класів програмного комплексу для автоматизованої обробки промислових даних про роботу листоправильних машин .....	56
3.5	Розробка діаграми послідовностей програмного комплексу для автоматизованої обробки промислових даних про роботу листоправильних машин .....	58
3.6	Висновки до третього розділу .....	60
4	ПРОВЕДЕННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ОБРОБКИ ПРОМИСЛОВИХ ДАНИХ ПРО РОБОТУ ЛИСТОПРАВИЛЬНОЇ МАШИНИ .....	61
4.1	Результати поглибленої розробки окремих модулів та інтерфейс користувача програмного комплексу для автоматизованої обробки промислових даних про роботу листоправильних машин .....	61
4.2	Елементи інтерфейсу програмного комплексу для автоматизованої обробки промислових даних про роботу листоправильних машин .....	65
4.3	Інструкція користувача для роботи з програмного комплексу для автоматизованої обробки промислових даних про роботу листоправильних машин .....	66
4.4	Аналітичний звіт за результатами статистичної обробки даних за допомогою програмного комплексу .....	69
4.5	Висновки до четвертого розділу .....	71
5	ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ .....	72
	ВИСНОВКИ .....	81
	ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	84
	ДОДАТОК А .....	86
	ДОДАТОК Б .....	88
	ДОДАТОК В .....	93

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Металургійні підприємства функціонують в умовах постійного зростання вимог до якості продукції, енергоефективності виробничих процесів та стабільності роботи технологічного обладнання. Одним із ключових напрямів підвищення конкурентоспроможності металургійного виробництва є цифровізація технологічних процесів та впровадження автоматизованих методів обробки промислових даних, що формуються безпосередньо під час роботи обладнання.

Листоправильні машини займають важливе місце у структурі прокатного виробництва, оскільки саме на етапі правки формується кінцева геометрія листового прокату та забезпечується його відповідність вимогам стандартів і споживачів. Процес правки характеризується складною взаємодією механічних, гідравлічних та електричних систем, а також розвитком пружно-пластичних деформацій металу. У ході роботи листоправильних машин формується значний обсяг промислових даних, що відображають енергосилові, кінематичні та технологічні параметри процесу правки.

**Зв'язок роботи з науково-технічними програмами, планами, темами.** На підприємствах Групи Метінвест сучасні листоправильні машини оснащені автоматизованими системами керування та промисловими діагностичними комплексами, зокрема програмним комплексом IBA Analyzer, які забезпечують реєстрацію великої кількості технологічних параметрів у вигляді часових рядів. Разом з тим на практиці ці дані використовуються переважно для оперативного моніторингу або аналізу окремих нештатних ситуацій, тоді як їх потенціал для системного аналізу роботи обладнання,

оцінки стабільності технологічних режимів і підтримки прийняття рішень залишається реалізованим лише частково.

Однією з основних проблем є відсутність спеціалізованих програмно-методичних рішень, орієнтованих саме на автоматизовану обробку промислових даних про роботу листоправильних машин. Існуючі універсальні програмні засоби не враховують специфіку процесу правки листового прокату, подієвий характер технологічних циклів та необхідність автоматичної часової сегментації сигналів для виділення параметрів правки окремих листів і партій прокату. У результаті аналіз даних часто виконується вручну, є трудомістким і не дозволяє повною мірою використовувати накопичені промислові дані.

У зв'язку з цим актуальною є задача дослідження предметної області та аналізу сучасних методів, моделей і інформаційних технологій автоматизації процесу обробки промислових даних про роботу листоправильних машин. Особливої актуальності ця задача набуває в контексті впровадження концепцій цифрової трансформації та Industry 4.0 на підприємствах Групи Метінвест.

**Метою кваліфікаційної роботи** є дослідження та розробка моделей, методів і програмних засобів автоматизації обробки промислових даних про роботу листоправильних машин у металургійному виробництві з метою підвищення ефективності аналізу технологічних процесів і якості прийняття управлінських рішень.

**Об'єкт дослідження** – процес автоматизованої обробки промислових даних, що формуються під час роботи листоправильного обладнання.

**Предмет дослідження** – математичні моделі, методи аналізу даних та інформаційні технології автоматизованої обробки промислових даних про роботу листоправильних машин. Методологія дослідження включає аналіз часових рядів, статистичну обробку

даних, математичне моделювання, розробку програмного забезпечення та експериментальні дослідження.

Для досягнення поставленої мети у роботі необхідно розв'язати такі **завдання**:

- проаналізувати предметну область та особливості формування промислових даних під час роботи листоправильних машин;

- дослідити існуючі підходи, методи та програмні засоби обробки й аналізу промислових даних у металургійному виробництві;

- обґрунтувати вибір методів аналізу часових рядів і статистичної обробки даних для автоматизації аналізу технологічних параметрів процесу правки листового прокату;

- розробити математичну модель та методику автоматизованої обробки промислових даних про роботу листоправильних машин;

- спроектувати та реалізувати програмний комплекс для автоматизації процесів збору, обробки й аналізу промислових даних;

- провести експериментальні дослідження з метою оцінювання ефективності розроблених моделей і програмного забезпечення;

- сформулювати рекомендації щодо практичного використання та подальшого розвитку розроблених рішень у виробничих умовах.

**Методи дослідження.** У процесі виконання кваліфікаційної роботи використано сукупність загальнонаукових, математичних та прикладних методів дослідження. Для аналізу предметної області, технологічних процесів та особливостей роботи листоправильних машин застосовано методи системного аналізу, узагальнення та порівняльного аналізу. Для дослідження характеристик промислових даних, що формуються під час роботи листоправильного обладнання, використано методи статистичної обробки даних, аналізу часових рядів, фільтрації та агрегації сигналів. Математичне моделювання застосовано для опису процесу обробки промислових даних та

формування узагальнених параметрів процесу правки листового прокату. Під час розробки програмного комплексу використано методи об'єктно-орієнтованого програмування, моделювання програмних систем, проєктування баз даних та розробки алгоритмів автоматизованої обробки даних. Для перевірки працездатності та оцінювання ефективності розроблених рішень застосовано методи експериментальних досліджень, тестування програмного забезпечення та аналізу результатів експериментів. Отримані результати досліджень проаналізовано із застосуванням методів логічного узагальнення та інтерпретації, що дозволило сформулювати практичні рекомендації щодо впровадження та подальшого розвитку розроблених моделей і програмних засобів у виробничих умовах.

**Практичне значення отриманих у кваліфікаційній роботі** результатів полягає в можливості їх використання для автоматизації процесів обробки та аналізу промислових даних про роботу листопробних машин у металургійному виробництві. Розроблені математичні моделі та методика автоматизованої обробки даних дозволяють зменшити трудомісткість аналізу технологічних параметрів, підвищити оперативність отримання узагальнених показників та забезпечити більш обґрунтоване прийняття управлінських рішень. Створений програмний комплекс може бути використаний у виробничих підрозділах підприємств для автоматизованої обробки масивів промислових даних, формування звітних матеріалів та аналізу режимів роботи листопробного обладнання. Використання розроблених рішень сприяє підвищенню стабільності технологічних режимів, покращенню якості листового металопрокату та зниженню часу на обробку й аналіз даних. Отримані результати можуть бути використані на підприємствах Групи «Метінвест», а також адаптовані для застосування на інших

металургійних підприємствах із подібним технологічним обладнанням. Розроблені підходи до автоматизованої обробки промислових даних можуть бути використані для подальшого розвитку інформаційних систем підтримки прийняття рішень та інтеграції з автоматизованими системами управління технологічними процесами.

**Особистий внесок магістранта** полягає у самостійному аналізі предметної області та дослідженні особливостей формування промислових даних під час роботи листоправильних машин у металургійному виробництві. Магістрантом проаналізовано сучасні підходи та методи автоматизованої обробки промислових даних, обґрунтовано вибір методів аналізу часових рядів і статистичної обробки даних для вирішення поставлених у роботі завдань. Автором розроблено математичну модель та методику автоматизованої обробки промислових даних про роботу листоправильного обладнання, а також спроектовано і реалізовано програмний комплекс для автоматизації процесів збору, обробки й аналізу промислових даних. Проведено експериментальні дослідження, виконано аналіз отриманих результатів і сформульовано практичні рекомендації щодо використання та подальшого розвитку розроблених рішень у виробничих умовах. Усі положення, результати та програмні засоби, викладені в кваліфікаційній роботі, отримані особисто магістрантом або за його безпосередньої участі.

**Апробація результатів.** Основні результати дослідження доповідались та обговорювались на наукових семінарах кафедри цифрових технологій та проектно-аналітичних рішень ТУ «Метінвест Політехніка» а також на студентській науково-технічній конференції Start in Science.

# 1 АНАЛІЗ СТАНУ ТА ПІДХОДІВ ДО АВТОМАТИЗАЦІЇ ОБРОБКИ ПРОМИСЛОВИХ ДАНИХ ПРО РОБОТУ ЛИСТОПРАВИЛЬНИХ МАШИН У МЕТАЛУРГІЙНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

1.1 Аналіз предметної області автоматизованої обробки промислових даних про роботу багатороликової листоправильної машини та сучасних принципів її моделювання

Листоправильні машини є одним із ключових видів технологічного обладнання прокатного виробництва та широко застосовуються на металургійних підприємствах для забезпечення необхідної якості листового металопрокату. Основним призначенням багатороликових листоправильних машин є усунення залишкової кривизни листів шляхом знакозмінного пружно-пластичного вигину між системою робочих роликів. Якість виконання процесу правки безпосередньо впливає на геометричні характеристики готової продукції, її подальшу технологічну придатність та відповідність вимогам споживачів [1].

Для підприємств Групи Метінвест, що здійснюють виробництво товстолистового та тонколистового прокату, питання підвищення ефективності процесу правки є особливо актуальним у зв'язку з розширенням сортаменту продукції, підвищенням вимог до точності геометричних параметрів та необхідністю зниження енергетичних витрат. Сучасні листоправильні машини, що експлуатуються на підприємствах металургійного комплексу, характеризуються складною конструкцією, наявністю гідравлічних, електромеханічних і автоматизованих систем керування, а також великою кількістю регульованих параметрів [2].

Однією з характерних особливостей експлуатації листоправильних машин на підприємствах Групи Метінвест є їх інтеграція у складні виробничі ланцюги прокатного виробництва. Таке обладнання використовується на товстолистових і тонколистових станах металургійних комбінатів та працює у безперервному режимі, обробляючи значні обсяги продукції з різноманітним сортаментом. У процесі експлуатації листоправильні машини повинні забезпечувати стабільну якість правки для листів різної товщини, ширини та марок сталі, що ускладнює налаштування технологічних режимів та підвищує вимоги до систем контролю і аналізу параметрів роботи обладнання [3].

На практиці це призводить до необхідності постійного коригування налаштувань листоправильних машин залежно від характеристик прокату та поточного технічного стану обладнання. При цьому оператори та технологи змушені приймати рішення на основі обмеженої кількості узагальненої інформації, тоді як основний масив промислових даних залишається неструктурованим і не використовується в повному обсязі. Зазначене створює передумови для впровадження автоматизованих методів обробки промислових даних з метою підвищення ефективності управління процесом правки та зниження впливу людського фактору.

Процес правки листового прокату є складним з фізичної точки зору та супроводжується розвитком пружно-пластичних деформацій металу, формуванням напружено-деформованого стану та виникненням залишкових напружень. Саме ці фактори визначають енергосилові параметри роботи листоправильної машини, зусилля правки, навантаження на ролики та гідравлічні циліндри, а також кінцеву якість виправленого листа. У зв'язку з цим значна кількість наукових досліджень присвячена моделюванню процесу правки та

аналізу впливу конструктивних і технологічних параметрів листоправильних машин [3].

У практиці інженерних розрахунків процес правки листів найчастіше розглядається з використанням аналітичних моделей, заснованих на рівняннях пружної лінії. У таких моделях лист представляється у вигляді статично невизначеної багатопрігінної балки, що спирається на систему роликів. Подібний підхід дозволяє оцінювати напружено-деформований стан металу, визначати зусилля правки та аналізувати вплив геометричних параметрів роликів і їх розташування [4–6]. Разом з тим точність таких моделей значною мірою залежить від коректності задання граничних умов і допущень щодо властивостей матеріалу.

Необхідно зазначити, що більшість існуючих математичних моделей процесу правки орієнтовані на розрахунок окремих енергосилових параметрів або оцінку напружено-деформованого стану металу за заданих умов. Такі моделі, як правило, не враховують повною мірою динаміку процесу правки у часі, а також реальні експлуатаційні фактори, зокрема коливання тиску в гідравлічних системах, зміну характеристик матеріалу по довжині листа та вплив зношування елементів обладнання [5].

У виробничих умовах підприємств Групи Метінвест значна частина цих факторів може бути зафіксована у вигляді промислових даних, що знімаються з обладнання у режимі реального часу. Проте відсутність методів інтеграції математичних моделей з фактичними даними призводить до розриву між теоретичними розрахунками та практичним аналізом роботи листоправильних машин. Це обмежує можливості використання результатів моделювання для оперативного прийняття технологічних рішень [6].

Таким чином, з позицій аналізу предметної області доцільним є поєднання класичних підходів до моделювання процесу правки з

методами автоматизованої обробки промислових даних, що дозволяє враховувати реальні умови експлуатації обладнання

Залежно від співвідношення кроку роликів і товщини металу всі процеси правки умовно поділяють на правку відносно товстих і відносно тонких листів. У першому випадку домінуючим є вплив зсувних напружень, тоді як у другому істотну роль відіграють сили тертя між листом і роликками. Зазначені особливості суттєво впливають на вибір математичної моделі та методів розрахунку енергосилових параметрів процесу правки [7].

Для більш детального аналізу процесу правки застосовуються чисельні та скінченно-елементні моделі, які дозволяють враховувати складну геометрію, нелінійні властивості матеріалу та контактні взаємодії між листом і роликками. Такі моделі забезпечують високу точність результатів, однак потребують значних обчислювальних ресурсів і, як правило, не придатні для оперативного аналізу процесу правки в умовах реального виробництва [8]. У зв'язку з цим у промислових умовах вони переважно використовуються на етапах проектування обладнання або дослідницьких робіт.

Слід зазначити, що навіть найбільш точні чисельні та скінченно-елементні моделі не враховують у повному обсязі впливу експлуатаційних факторів, характерних для реального виробництва. До таких факторів належать знос роликів, зміна характеристик гідравлічних систем, температурні коливання, відхилення механічних властивостей металу в межах однієї марки сталі та особливості фактичної роботи обладнання. У промислових умовах зазначені чинники можуть істотно впливати на енергосилові параметри процесу правки та кінцеву якість продукції, однак їх урахування в аналітичних моделях є ускладненим [3].

У зв'язку з цим дедалі більшого значення набуває підхід, орієнтований на аналіз накопичених промислових даних, які

відображають реальні режими роботи листоправильних машин. Поєднання результатів класичного моделювання з аналізом фактичних даних дозволяє отримати більш повну картину функціонування обладнання та створює основу для підвищення ефективності процесу правки.

Поряд із теоретичними та чисельними методами дедалі більшого значення набуває підхід, заснований на аналізі фактичних промислових даних, отриманих безпосередньо під час роботи листоправильних машин. Сучасні системи автоматичного керування та діагностики обладнання, що застосовуються на підприємствах Групи Метінвест, забезпечують реєстрацію великої кількості технологічних параметрів, зокрема положення роликів, тиску в гідравлічних циліндрах, зусиль правки, швидкості протягування листів, струмів і моментів електроприводів [9].

Зазначені параметри формуються у вигляді часових рядів і накопичуються у великих обсягах, що ускладнює їх обробку традиційними методами. Як показує практика, значна частина таких даних використовується лише у випадках розгляду спірних або аварійних ситуацій, тоді як потенціал їх застосування для аналізу стабільності процесу правки та оптимізації режимів роботи обладнання залишається нереалізованим. Це обумовлює актуальність задачі автоматизованої обробки промислових даних роботи листоправильних машин [10].

Окрему увагу в межах предметної області слід приділити практичним аспектам експлуатації листоправильних машин на підприємствах Групи Метінвест. У складі металургійних активів Групи Метінвест листоправильні машини використовуються на підприємствах, що спеціалізуються на виробництві товстолистого та тонколистого прокату, зокрема на прокатних станах, орієнтованих на випуск продукції для будівельної, машинобудівної та

енергетичної галузей. В умовах реального виробництва обладнання працює у широкому діапазоні товщин листів, марок сталі та схем правки, що призводить до значної варіативності технологічних параметрів процесу правки [1, 2].

Зміна сортаменту продукції, використання різних марок сталі та необхідність швидкого переналаштування обладнання обумовлюють підвищені вимоги до стабільності та керованості процесу правки. У таких умовах традиційний підхід, заснований виключно на використанні розрахункових моделей або досвіду оператора, є недостатнім. Виникає потреба у використанні фактичних промислових даних для аналізу поведінки обладнання, оцінки ефективності налаштувань та виявлення прихованих закономірностей у роботі листопробних машин.

Особливістю предметної області є також необхідність узгодження промислових даних з інформацією про сортамент прокату, марку сталі, товщину листів та налаштування обладнання. Для цього необхідно здійснювати автоматичне відокремлення корисних ділянок сигналів у часі, формувати масиви параметрів для окремих листів або партій прокату та виконувати їх статистичну обробку. Реалізація таких задач потребує розробки спеціалізованих програмно-методичних рішень, орієнтованих саме на аналіз роботи листопробних машин у промислових умовах.

Аналіз практики експлуатації листопробних машин показує, що основною проблемою є не відсутність даних, а неможливість їх ефективного використання у процесі аналізу та оптимізації роботи обладнання. Накопичені промислові дані, як правило, зберігаються у вигляді великих файлів часових рядів без прив'язки до конкретних листів, партій прокату або технологічних режимів [9].

У таких умовах технологічний персонал змушений виконувати аналіз параметрів правки вручну, що є трудомістким і не дозволяє

здійснювати систематичну оцінку стабільності процесу. Крім того, відсутність автоматизованих інструментів аналізу унеможлиблює виявлення прихованих закономірностей у роботі обладнання, що особливо важливо при виробництві прокату з підвищеними вимогами до якості [10].

З огляду на це, предметна область автоматизованої обробки промислових даних про роботу багатороликових листоправильних машин охоплює не лише фізичні процеси правки, а й задачі інформаційної підтримки технологічних рішень, аналізу стабільності виробничих процесів та формування бази даних для подальшого впровадження інтелектуальних методів оптимізації.

Таким чином, предметна область дослідження охоплює не лише фізичні процеси правки листового металу, а й комплекс задач, пов'язаних із збором, структуризацією та аналізом промислових даних про роботу листоправильних машин. Саме на стику технології, механіки та інформаційних технологій формується сучасний підхід до підвищення ефективності прокатного виробництва, який відповідає стратегії цифрового розвитку підприємств Групи Метінвест.

Таким чином, предметна область автоматизованої обробки промислових даних про роботу багатороликових листоправильних машин характеризується поєднанням складних фізичних процесів правки, великої кількості взаємопов'язаних параметрів і значних обсягів часових даних. Аналіз існуючих підходів показує, що поряд із традиційними методами моделювання процесу правки доцільним є використання методів аналізу фактичних промислових даних, що створює передумови для підвищення ефективності технологічних процесів та якості листового металопрокату на підприємствах Групи Метінвест.

## 1.2 Аналіз сучасних інформаційних технологій, програмних засобів та методів автоматизованої обробки промислових даних про роботу листопробивальних машин

Автоматизована обробка промислових даних про роботу листопробивальних машин є невід'ємною складовою сучасних систем управління металургійним виробництвом та одним із ключових елементів цифрової трансформації підприємств Групи Метінвест. У процесі роботи багатороликової листопробивальної машини формується значний обсяг різноманітних даних, що характеризують технологічні режими правки, енергосилові параметри, кінематичні характеристики, стан гідравлічних систем і часові параметри проходження листів через обладнання. Ефективне використання цих даних потребує застосування сучасних інформаційних технологій і спеціалізованих програмних засобів автоматизованої обробки [11].

Незважаючи на наявність широкого спектра інформаційних технологій і програмних засобів для збору та аналізу промислових даних, їх практичне застосування для задач аналізу роботи листопробивальних машин має низку суттєвих обмежень.

Однією з ключових проблем використання наявних інформаційних технологій у задачах аналізу роботи листопробивальних машин є їх орієнтація на загальні задачі збору та візуалізації даних, а не на специфіку технологічного процесу правки листового прокату. Більшість програмних засобів не враховує особливостей формування промислових даних у вигляді неперервних часових рядів, що містять інформацію одночасно про декілька технологічних циклів та режимів роботи обладнання. У результаті відсутня можливість автоматичного відокремлення даних, що відповідають правці окремих листів або

партій прокату, що суттєво ускладнює подальший аналіз параметрів процесу [11].

Крім того, існуючі рішення, як правило, не забезпечують зв'язку між технологічними параметрами процесу правки та характеристиками оброблюваного металу, такими як товщина листа, марка сталі або схема правки. Це призводить до того, що аналіз промислових даних виконується ізольовано від технологічного контексту, що обмежує можливості використання отриманих результатів для оптимізації режимів роботи листопробних машин та підвищення стабільності якості продукції [12].

Базовим рівнем роботи з промисловими даними є системи збору та моніторингу технологічних параметрів класу SCADA. Такі системи забезпечують безперервну реєстрацію сигналів з датчиків, їх візуалізацію та архівування у режимі, близькому до реального часу. Для аналізу роботи листопробних машин у металургійному виробництві додатково застосовуються спеціалізовані програмні комплекси збору технологічних сигналів, зокрема IBA Analyzer. Ці інструменти дозволяють фіксувати велику кількість параметрів у вигляді часових рядів з високою частотою дискретизації та детально аналізувати окремі фрагменти процесу правки [5]. Основною проблемою використання зазначених систем є відсутність механізмів автоматичної часової сегментації сигналів. У виробничих умовах листопробних машин технологічні параметри безперервно змінюються у часі, а процес правки окремого листа не має жорстко фіксованих часових меж у записаних масивах даних. Як наслідок, виділення корисних інтервалів сигналів здійснюється вручну або напівавтоматично, що є трудомістким і суб'єктивним процесом та унеможлиблює масштабну обробку даних [13].

Для подальшого аналізу отриманих масивів даних на практиці часто використовуються табличні процесори та універсальні

статистичні програмні пакети. Вони дозволяють виконувати базові операції фільтрації, сортування та розрахунку статистичних показників. Проте при роботі з великими масивами часових рядів, характерних для листоправильних машин, такі інструменти мають суттєві обмеження, пов'язані з низькою продуктивністю, складністю автоматичного відокремлення даних за часом та нестабільною роботою при обробці великих файлів [6]. Вони інструменти не забезпечують стабільної роботи з великими обсягами часових рядів, не підтримують автоматичне узгодження сигналів з технологічною інформацією про сортамент прокату та не інтегруються безпосередньо з промисловими системами керування обладнанням. У результаті значна частина промислових даних залишається невикористаною або застосовується лише для аналізу окремих нестандартних ситуацій [14].

У межах концепцій Industry 4.0 зростає роль інформаційних технологій, орієнтованих на інтелектуальний аналіз промислових даних. До них належать методи статистичної обробки, регресійного аналізу, аналізу часових рядів, а також елементи машинного навчання. Застосування цих методів дозволяє виявляти закономірності в роботі листоправильних машин, оцінювати стабільність технологічних режимів правки та формувати рекомендації щодо оптимізації налаштувань обладнання [12]. Проте їх практичне використання для аналізу роботи листоправильних машин ускладнюється відсутністю підготовлених структурованих вибірок даних. Без автоматизованого формування масивів параметрів процесу правки, прив'язаних до конкретних листів і режимів роботи обладнання, застосування інтелектуальних методів є обмеженим і потребує значних трудових витрат [5].

Саме зазначені обмеження існуючих інформаційних технологій і програмних засобів обумовлюють доцільність розробки

спеціалізованої системи автоматизованої обробки промислових даних про роботу листоправильних машин. На відміну від універсальних засобів збору та аналізу даних, така система має бути орієнтована на специфіку процесу правки, підтримувати автоматичну часову сегментацію сигналів, формування параметрів для окремих листів і партій прокату та забезпечувати статистичну обробку результатів у формі, зручній для технологічного персоналу підприємств Групи Метінвест.

Важливою особливістю промислових даних листоправильних машин є їх неоднорідність і багатовимірність. Параметри процесу правки належать до різних фізичних груп, мають різні масштаби вимірювання та частоти дискретизації. Крім того, значна частина даних має подієвий характер, оскільки початок і завершення проходження листа через машину, зміна схем правки або режимів роботи супроводжуються характерними змінами сигналів датчиків. Виявлення таких подій у часових рядах є необхідною умовою коректної автоматизованої обробки даних і не може бути ефективно реалізоване засобами стандартних систем моніторингу [13].

Для обґрунтування вибору методів автоматизованої обробки промислових даних доцільно виконати порівняльний аналіз найбільш поширених підходів, що застосовуються для аналізу роботи листоправильних машин. Результати такого аналізу наведено в таблиці 1.1.

З аналізу таблиці випливає, що для задач автоматизованої обробки даних найбільш придатними є статистичні методи та методи аналізу часових рядів, які забезпечують оптимальне поєднання точності, швидкодії та простоти реалізації.

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика методів обробки промислових даних роботи листоправильних машин

Метод обробки даних	Характеристика	Переваги	Обмеження	Придатність для ЛПМ
Статистичні методи	Узагальнення параметрів процесу	Простота, наочність	Обмежений опис нелінійностей	Висока
Регресійні моделі	Визначення залежностей	Можливість прогнозування	Чутливість до якості даних	Висока
Аналіз часових рядів	Обробка сигналів у часі	Адаптація до даних ЛПМ	Вплив шумів	Висока
Скінченно-елементні методи	Фізичне моделювання процесу	Висока точність	Значні обчислювальні витрати	Низька
Методи машинного навчання	Виявлення складних закономірностей	Адаптивність	Потреба у великих вибірках	Середня

Поряд із вибором методів важливе значення має вибір інформаційних технологій та програмних засобів, що забезпечують реалізацію автоматизованої обробки промислових даних. Порівняльна характеристика основних технологій і програмних рішень, які можуть бути використані для аналізу роботи листоправильних машин, наведена в таблиці 1.2.

Наведений аналіз інформаційних технологій і програмних засобів свідчить про відсутність універсального рішення, яке забезпечувало б повний цикл автоматизованої обробки промислових даних про роботу листоправильних машин. Існуючі системи збору та моніторингу даних орієнтовані переважно на фіксацію та візуалізацію сигналів, тоді як задачі автоматичної часової сегментації, формування структурованих масивів параметрів процесу правки та їх узагальненого аналізу залишаються невирішеними.

Таблиця 1.2 – Порівняльна характеристика інформаційних технологій та програмних засобів обробки даних роботи листоправильних машин

Технологія або засіб	Призначення	Переваги	Недоліки	Доцільність використання
SCADA системи	Збір і візуалізація даних	Надійність, реальний час	Обмежена аналітика	Висока
IBA Analyzer	Реєстрація часових рядів	Деталізація сигналів	Відсутність агрегації	Висока
Табличні процесори	Ручний аналіз	Доступність	Низька продуктивність	Низька
Статистичні пакети	Поглиблений аналіз	Потужні методи	Складність інтеграції	Середня
Спеціалізований ПМК	Автоматизована обробка	Орієнтація на ЛПМ	Потребує розробки	Висока

У зв'язку з цим виникає доцільність розробки спеціалізованого програмного комплексу, орієнтованого саме на обробку промислових даних листоправильних машин у виробничих умовах. Запропонований у даній роботі підхід передбачає поєднання методів аналізу часових рядів, статистичної обробки та інтеграції з існуючими системами автоматизації, що створює основу для подальшого впровадження інтелектуальних методів оптимізації технологічних процесів.

Проведений аналіз сучасних інформаційних технологій, програмних засобів і методів обробки промислових даних показує, що наявні рішення не забезпечують повного циклу автоматизованої обробки даних про роботу листоправильних машин. У зв'язку з цим виникає необхідність розробки спеціалізованого програмного комплексу, орієнтованого саме на автоматизовану обробку промислових даних про роботу листоправильних машин. Такий комплекс повинен забезпечувати автоматичну часову сегментацію сигналів, формування масивів параметрів процесу правки для окремих листів і партій прокату, статистичну обробку отриманих

даних та представлення результатів у вигляді зручних для технологічного персоналу звітів. Реалізація зазначеного підходу створює передумови для підвищення ефективності аналізу роботи обладнання та подальшого впровадження інтелектуальних методів оптимізації технологічних процесів на підприємствах Групи Метінвест.

### 1.3 Глосарій термінів предметної області автоматизованої обробки промислових даних та інформаційних технологій

У межах дослідження автоматизованої обробки промислових даних про роботу листоправильних машин використовується значна кількість спеціалізованих термінів, що належать як до галузі металургійного виробництва, так і до сфери інформаційних технологій та автоматизації. Для забезпечення однозначного трактування понять і термінів у подальших розділах роботи доцільно сформулювати глосарій предметної області, який узагальнює основні поняття, що застосовуються під час аналізу процесу правки листового прокату та розробки програмного комплексу автоматизованої обробки даних (додаток А).

### 1.4 Висновки до першого розділу

У першому розділі кваліфікаційної роботи виконано аналіз предметної області та сучасного стану автоматизації обробки промислових даних у металургійному виробництві. Розглянуто особливості технологічного процесу правки листового прокату та

принципи роботи листоправильних машин як джерела формування значних обсягів промислових даних.

Проаналізовано основні типи параметрів і сигналів, що реєструються під час роботи листоправильного обладнання, а також визначено їхні характерні властивості, зокрема нестаціонарність, наявність шумів і залежність від технологічних режимів. Встановлено, що ручна або напівавтоматизована обробка таких даних є трудомісткою та не забезпечує достатньої оперативності й повноти аналізу.

Досліджено існуючі методи та програмні засоби обробки промислових даних, що застосовуються у металургійній галузі. Виявлено їхні переваги та обмеження, зокрема недостатню адаптованість до специфіки даних листоправильних машин і обмежені можливості автоматизованого формування узагальнених показників.

За результатами аналізу обґрунтовано доцільність використання методів аналізу часових рядів, статистичної обробки даних та математичного моделювання для автоматизації процесів обробки промислових даних. Сформульовано вимоги до математичної моделі та програмного комплексу, що стали основою для подальших досліджень і розробок у наступних розділах роботи.

## 2 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ТА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ОБРОБКИ ПРОМИСЛОВИХ ДАНИХ ПРО РОБОТУ ЛИСТОПРАВИЛЬНИХ МАШИН

2.1 Обґрунтування вибору методів теоретичних та експериментальних досліджень автоматизованої обробки промислових даних роботи листопрямильної машини

Дослідження процесу автоматизованої обробки промислових даних про роботу листопрямильної машини потребує комплексного підходу, який поєднує методи теоретичного аналізу, математичного моделювання та експериментального дослідження на основі фактичних виробничих даних. Такий підхід обумовлений складністю предметної області, що поєднує фізичні процеси правки листового прокату, роботу механічних і гідравлічних вузлів обладнання, а також формування великих масивів часових даних у системах автоматизованого керування [1].

У межах даної роботи теоретичні методи дослідження використовуються для аналізу існуючих підходів до моделювання процесу правки листів, визначення основних параметрів, що характеризують роботу листопрямильної машини, та формалізації предметної області у вигляді взаємопов'язаних змінних і показників. При цьому враховуються результати наукових досліджень, у яких процес правки розглядається з позицій напружено-деформованого стану металу, енергосилових характеристик і впливу конструктивних параметрів обладнання [3, 4, 7].

Експериментальні методи дослідження базуються на аналізі промислових даних, отриманих безпосередньо під час роботи листоправильних машин у виробничих умовах. Джерелом таких даних є автоматизовані системи керування та діагностики обладнання, зокрема програмний комплекс IBA Analyzer, який забезпечує реєстрацію технологічних параметрів у вигляді часових рядів з високою частотою дискретизації [5]. Використання фактичних виробничих даних дозволяє досліджувати реальні режими роботи обладнання, оцінювати стабільність процесу правки та виявляти відхилення від нормативних режимів.

Для обробки експериментальних даних у роботі обрано методи статистичного аналізу та аналізу часових рядів. Зазначені методи є найбільш придатними для задач автоматизованої обробки промислових даних, оскільки дозволяють працювати з великими масивами вимірювань, виконувати агрегацію параметрів за окремими листами або партіями прокату та формувати узагальнені показники роботи обладнання [6]. Крім того, статистичні методи забезпечують прозорість результатів і можливість їх інтерпретації технологічним персоналом.

Як програмні засоби для проведення досліджень у роботі використано поєднання спеціалізованих промислових інструментів збору даних та власних алгоритмічних рішень автоматизованої обробки. Зокрема, IBA Analyzer застосовується для формування вихідних файлів вимірювань, тоді як подальша обробка даних, включно з часовою сегментацією сигналів, статистичним аналізом і формуванням звітів, здійснюється за допомогою розроблюваного програмного комплексу. Такий підхід дозволяє усунути обмеження стандартних інструментів аналізу та забезпечити повний цикл автоматизованої обробки промислових даних [17].

Обрані методи теоретичних і експериментальних досліджень забезпечують необхідну наукову обґрунтованість і практичну спрямованість роботи, а також створюють основу для побудови математичної моделі предметної області та розробки методики дослідження, що розглядаються у наступних підрозділах даного розділу.

2.2 Математична модель об'єкта дослідження – процесу правки листового прокату та автоматизованої обробки промислових даних роботи листопривальної машини

У межах даної дипломної роботи об'єктом математичного моделювання є процес правки листового прокату на багатороликовій листопривальній машині та пов'язаний з ним процес формування і обробки промислових даних про роботу обладнання. На відміну від класичних підходів, орієнтованих виключно на фізичне моделювання деформації листа, у даному дослідженні математична модель розглядається як інструмент формалізації взаємозв'язку між технологічними параметрами процесу правки та вимірюваними промисловими сигналами, що реєструються системами автоматизації [1].

Процес правки листів базується на реалізації знакозмінного пружно-пластичного вигину металу між системою робочих роликів. У результаті дії зовнішніх сил у листі формується складний напружено-деформований стан, який визначає енергосилові параметри роботи листопривальної машини. До основних параметрів, що характеризують процес правки, належать сила правки, тиск у

гідравлічних циліндрах, положення та перекриття роликів, швидкість протягування листа та температура металу [2].

У промислових умовах зазначені параметри безпосередньо вимірюються датчиками і фіксуються у вигляді часових рядів за допомогою систем збору даних, зокрема програмного комплексу IBA Analyzer. Таким чином, математична модель процесу правки у рамках даної роботи будується не лише як фізична модель деформації, а як модель перетворення і узагальнення вимірюваних сигналів у показники, придатні для аналізу та прийняття технологічних рішень [5].

Одним із ключових енергосилових параметрів процесу правки є сумарна сила правки, що створюється натискними гідравлічними циліндрами листоправильної машини. У практиці промислових вимірювань вона визначається за різницею тисків у натискних і врівноважуючих гідроциліндрах з урахуванням конструктивних параметрів обладнання [7]. Узагальнений вираз для визначення сумарної сили правки має вигляд:

$$P_{SUM} = \sum_{i=1}^n \left( \rho_i \cdot \frac{\pi D^2}{4} \right) - P_{вр} - G, \quad 2.1$$

де

$\rho_i$  – тиск робочої рідини у  $i$ -му натискному гідроциліндрі;

$D$  – діаметр плунжера гідроциліндра;

$P_{вр}$  – сила, що створюється врівноважуючими гідроциліндрами;

$G$  – вага рухомих елементів траверси з касетою роликів.

Зазначена залежність використовується для переходу від первинних вимірюваних сигналів до узагальненого показника процесу правки, який надалі застосовується для статистичної обробки та

аналізу стабільності роботи обладнання. Важливою особливістю є те, що значення сили правки змінюється у часі та залежить від товщини листа, марки сталі, налаштувань роликів і режимів роботи листопральної машини [4].

З точки зору автоматизованої обробки промислових даних процес правки доцільно розглядати як сукупність дискретних подій, що відбуваються у часі. До таких подій належать момент входу листа в зону правки, момент виходу з машини, перехід між схемами правки, а також зміна налаштувань роликів. Математична модель обробки даних у цьому випадку передбачає виділення часових інтервалів, що відповідають правці окремих листів, та формування масивів параметрів для кожного інтервалу [12].

Формально процес автоматизованої обробки промислових даних може бути представлений у вигляді функціонального відображення:

$$Y_k = F(X(t), U, C), \quad 2.2$$

де

$X(t)$  – вектор вимірюваних параметрів у часі;

$U$  – вектор керуючих впливів та налаштувань листопральної машини;

$C$  – сукупність конструктивних параметрів обладнання;

$Y_k$  – вектор узагальнених показників процесу правки для  $k$ -го листа або партії прокату.

Узагальнені показники  $Y_k$  можуть включати середні, максимальні та мінімальні значення сили правки, тиску в гідроциліндрах, температури металу, а також статистичні характеристики варіації параметрів у межах одного циклу правки.

Саме ці показники є базою для подальшого аналізу, порівняння режимів роботи та оцінки ефективності процесу правки [6].

Таким чином, математична модель об'єкта дослідження у даній роботі поєднує елементи фізичного опису процесу правки та формалізацію процедур автоматизованої обробки промислових даних. Такий підхід дозволяє перейти від аналізу окремих сигналів до системного аналізу роботи листопрямуючої машини на основі фактичних виробничих даних, що створює основу для розробки методики дослідження та програмного комплексу, описаних у наступних підрозділах.

## 2.3 Розробка методики дослідження автоматизованої обробки промислових даних про роботу листопрямуючих машин

### 2.3.1 Характеристика листопрямуючої машини як об'єкта дослідження

В якості базового технологічного процесу для дослідження методів автоматизації обробки промислових даних було обрано роботу багатороликової листопрямуючої машини товстолистового стану (ТЛС) 2850, що використовується у виробничих ланцюгах підприємств Групи Метінвест під час випуску товстолистового прокату (рис. 2.1).

Листопрямуючі машини цього класу призначені для усунення залишкової кривизни листів шляхом знакозмінного пружно-пластичного вигину між системою робочих роликів, що безпосередньо впливає на геометричні показники готової продукції та її відповідність вимогам споживачів [1; 3].



Рисунок 2.1 – Загальний вигляд багатороликової листоправильної машини товстолистого стану (ТЛС) 2850

Доцільність вибору листоправильної машини ТЛС 2850 як об'єкта для аналізу промислових даних обумовлена низкою практичних причин. По-перше, сучасні листоправильні машини цього типу підтримують індивідуальне налаштування робочих роликів, що формує багатовимірний набір технологічних параметрів і забезпечує наявність достатньої кількості даних для статистичного аналізу та побудови моделей. По-друге, система автоматичного керування обладнанням, як правило, інтегрована з діагностичними комплексами збору сигналів, що дозволяють реєструвати широкий перелік параметрів роботи машини у вигляді часових рядів з високою роздільною здатністю [3]. По-третє, процес правки є циклічним і «подієвим» (прохід конкретного листа має початок і кінець), а отже добре підходить для задач автоматизованої часової сегментації сигналів і формування структурованих вибірок «лист–параметри» для подальших досліджень.

Первинні промислові дані про роботу листоправильної машини формуються в автоматизованій системі керування та діагностики і фіксуються за допомогою програмного комплексу IBA Analyzer, який є

складовою системи промислової діагностики. У типовому випадку IBA Analyzer забезпечує запис параметрів у вигляді синхронізованих сигналів (каналів) з часовою прив'язкою, що дозволяє аналізувати динаміку процесу правки в межах одного листа, партії або зміни [5].

До переліку параметрів, що є найбільш інформативними для подальшої автоматизованої обробки та аналізу, доцільно включати:

- параметри положення та налаштувань листоправильної машини, зокрема задане і фактичне положення траверси, задані та фактичні положення (перекриття) робочих роликів;

- енергосилові параметри, зокрема тиски в натискних гідроциліндрах, сили правки (за наявності розрахункових або вимірювальних каналів), а також непрямі енергетичні показники;

- кінематичні параметри, зокрема задана та фактична швидкість протягування листа;

- параметри електроприводів, зокрема струми та моменти на двигунах приводу робочих роликів (або головних приводах протяжки, якщо це передбачено схемою);

- сигнали стану та подій (службові канали), що дозволяють визначати момент входу листа в машину, початок активної ділянки правки та момент виходу листа з машини.

Оскільки дані IBA є безперервним потоком сигналів у часі, первинна підготовка передбачає такі типові кроки:

- перевірка повноти запису (наявність усіх необхідних каналів, відсутність пропусків);

- приведення сигналів до узгодженого кроку дискретизації (за потреби ресемплінг);

- фільтрація шумів і сплесків (якщо присутні артефакти вимірювання);

- визначення меж процесу правки для окремого листа (часова сегментація);

– формування набору розрахункових показників (мінімум, максимум, середнє, медіана, стандартне відхилення, інтегральні показники) по кожному листу або по технологічних фазах правки [12].

Саме задача часової сегментації і подальшого автоматичного формування «картки листа» (узагальнених параметрів правки) є критичною, оскільки без неї промислові дані залишаються фактично непридатними для масштабного статистичного аналізу, порівняння режимів та побудови моделей.

Приклад осцилографічного представлення протоколу запису технологічних параметрів в автоматичній системі діагностики ІВА показаний на рисунку 2.2. Після розшифровки і зіставлення даних з інформацією рапортів прокатки по робочій кліті (даних про геометричний і марочний сортамент прокатаного металу) аналізувалася відповідність результатів розрахунку енергосилових параметрів і їх фактичних значень.



Рисунок 2.2 – Розподіл параметрів процесу правки на ЛПМ ТЛС 2850, відображені в системі ІВА

Оскільки достовірність і точність подальших розрахунків безпосередньо залежать від характеристик вимірювальних каналів,

наступним кроком є деталізація складу та параметрів датчиків і сигналів, що формують первинні дані в IBA Analyzer. У наступному підрозділі наведемо перелік основних датчиків (тиску, положення, швидкості, струму, моменту), їх одиниці вимірювання, типові діапазони, частоту дискретизації та відповідність каналам запису IBA, а також зазначимо, які сигнали використовуються як події для часової сегментації процесу правки.

### 2.3.2 Опис процесу отримання та первинної підготовки параметрів правки з використанням програмного комплексу IBA Analyzer

Процес отримання та первинної підготовки промислових даних про роботу багатороликової листоправильної машини ґрунтується на використанні програмного комплексу IBA Analyzer, який застосовується в автоматизованих системах керування металургійним обладнанням для реєстрації та аналізу технологічних параметрів у вигляді часових рядів. Даний програмний комплекс забезпечує зчитування сигналів з датчиків, встановлених на обладнанні, їх синхронізацію у часі та збереження у файлах вимірювань промислового формату.

Первинні дані формуються під час роботи листоправильної машини в автоматичному режимі та зберігаються у вигляді файлів вимірювань з розширенням *.dat*. Такі файли містять повну інформацію про зміну технологічних параметрів процесу правки у часі, включно з положенням робочих роликів, тиском у гідравлічних циліндрах, зусиллями правки, швидкістю протягування листа та сигналами датчиків наявності металу (рис. 2.3).

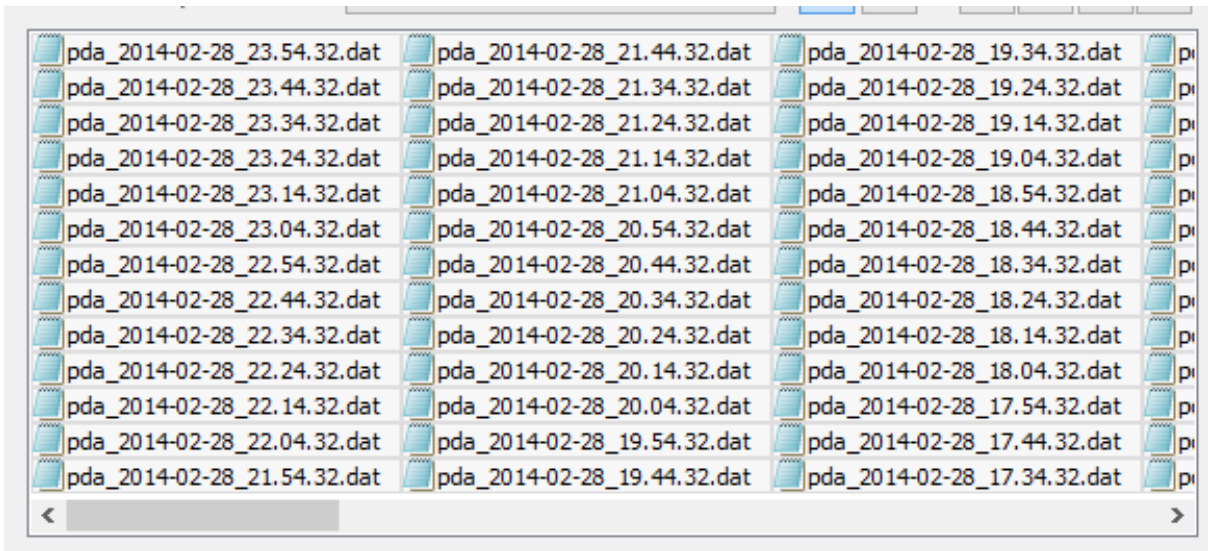


Рисунок 2.3 – Завантаження файлу вимірювань параметрів роботи листоправильної машини у програмному комплексі IBA Analyzer

Після завантаження файлу вимірювань у програмний комплекс IBA Analyzer виконується візуалізація зареєстрованих сигналів у вигляді осцилограм. Такий формат представлення даних дозволяє виконати попередній візуальний контроль коректності запису, оцінити характер зміни параметрів у часі та визначити ключові ділянки процесу правки, що відповідають проходженню листа через листоправильну машину.

Для подальшої автоматизованої обробки промислових даних виконується експорт вибраних сигналів з IBA Analyzer у текстовий формат *.txt*. На цьому етапі здійснюється відбір лише тих параметрів, які є інформативними з точки зору аналізу процесу правки та подальшого формування масивів даних для дослідження.

На етапі експорту формується набір технологічних параметрів, які надалі використовуються для автоматизованої обробки. До таких параметрів належать положення та налаштування робочих роликів, значення зусиль правки, тиск у натискних і врівноважуючих

гідравлічних циліндрах, температурні показники, а також сигнали датчиків, що фіксують наявність металу на вході та виході листоправильної машини.

Для коректної часової сегментації промислових даних особливе значення мають сигнали датчиків, що визначають момент входу та виходу листа з листоправильної машини. Зазначені датчики використовуються як подієві маркери, які дозволяють автоматично виділяти часові інтервали, що відповідають процесу правки конкретного листа. На основі аналізу станів цих датчиків здійснюється відокремлення корисних ділянок сигналів від допоміжних режимів роботи обладнання, таких як холостий хід або налаштування машини:

- 0:0: 410\_AD1/A3.1: Прилад натискний: Положення ГЦ1;
- 0:4: 410\_AD1/A3.5: Механізм налаштування роликів(верхній №1);
- 0:6: 410\_AD1/A3.6: Механізм налаштування роликів (верхній №3);
- 0:8: 410\_AD1/A3.7: Механізм налаштування роликів (верхній №5);
- 0:10: 410\_AD1/A3.8: Механізм налаштування роликів (верхній №7);
- 0:12: 410\_AD1/A3.9: Механізм налаштування роликів (верхній №9);
- 0:34: d410\_AUF1\_T1\Ix;
- 0:37: d410\_AUF1\_T1\Mx;
- 0:100: Сила правки Psum;
- 0:101: Температура за пірометром;
- 0:0: 410\_AD1/A5.2: Датчик металу на вході ЛПМ;
- 0:2: 410\_AD1/A5.2: Датчик металу на виході ЛПМ;
- 0:26: 410\_AD1/A5.4: Нижня касета: Правка 9-тьма роликками;

– 0:27: 410\_AD1/A5.4: Нижня касета: Правка 5-тьма роликами.

На основі сигналів зазначених датчиків виконується первинна підготовка промислових даних, яка включає синхронізацію параметрів у часі, виділення інтервалів правки окремих листів та формування структурованих масивів параметрів процесу правки. Отримані масиви даних використовуються на наступних етапах дослідження для статистичної обробки, побудови математичних моделей та оцінки ефективності роботи листоправильної машини.

Таким чином, описаний процес отримання та первинної підготовки параметрів правки з використанням програмного комплексу IBA Analyzer забезпечує формування достовірної та структурованої інформаційної бази для подальших етапів дослідження, що розглядаються у наступному підрозділі.

### 2.3.3 Формування масивів промислових даних та методика їх подальшої обробки

Після отримання та первинної підготовки параметрів правки листового прокату з використанням програмного комплексу IBA Analyzer, описаної у підрозділі 2.3.1, наступним етапом дослідження є формування структурованих масивів промислових даних та розробка методики їх подальшої обробки. Зазначений етап є ключовим для забезпечення коректності подальшого аналізу роботи листоправильної машини та отримання узагальнених показників процесу правки.

Промислові дані, отримані з автоматизованої системи керування листоправильною машиною, мають вигляд

багатоканальних часових рядів, що містять інформацію про положення робочих роликів, тиск у гідравлічних циліндрах, зусилля правки, швидкість протягування листа, температуру металу та сигнали стану датчиків на вході і виході машини. Для подальшої обробки такі дані необхідно привести до єдиного формату та структури, що передбачає синхронізацію сигналів у часі та видалення некоректних або неінформативних ділянок запису [6].

Формування масивів промислових даних здійснюється шляхом автоматичного відокремлення інтервалів часу, що відповідають безпосередньому процесу правки окремих листів. Для цього використовуються сигнали датчиків наявності металу на вході та виході листоправильної машини, які дозволяють визначити початок і завершення проходження листа через робочу зону обладнання. Отримані часові інтервали використовуються для виділення відповідних фрагментів сигналів технологічних параметрів та формування масивів даних для кожного окремого листа або партії прокату [5].

На наступному етапі здійснюється агрегація параметрів процесу правки. Для кожного виділеного інтервалу часу розраховуються узагальнені статистичні характеристики, зокрема середні, максимальні та мінімальні значення зусиль правки, тиску в гідравлічних циліндрах, положень роликів та температури металу. Зазначені характеристики дозволяють зменшити обсяг вихідних даних без втрати їх інформативності та створюють основу для подальшого аналізу стабільності технологічного процесу [12].

Важливим етапом методики обробки є перевірка отриманих масивів даних на наявність аномальних значень. Такі значення можуть виникати внаслідок короткочасних збоїв у роботі датчиків, перехідних процесів під час запуску або зупинки обладнання, а також у випадках зміни технологічних режимів. Виявлення та виключення

аномальних даних здійснюється із застосуванням статистичних критеріїв та аналізу меж допустимих значень параметрів процесу правки [7].

Сформовані та очищені масиви промислових даних використовуються для проведення подальшого статистичного аналізу роботи листопривальної машини. Зокрема, вони дозволяють оцінювати розподіл параметрів процесу правки, порівнювати режими роботи обладнання для різних сортamentів прокату та виявляти тенденції зміни енергосилових показників у часі. Отримані результати є основою для формування звітної інформації та підготовки даних для застосування методів оптимізації і цифрового інтелекту, що розглядаються у наступних розділах роботи [9].

Таким чином, розроблена методика формування та обробки масивів промислових даних забезпечує перехід від неструктурованих часових сигналів до узагальненої інформації про роботу листопривальної машини, що є необхідною умовою для подальшого моделювання та аналізу ефективності технологічного процесу правки листового прокату.

#### 2.3.4 Розробка технічного завдання на створення програмного комплексу автоматизованої обробки промислових даних про роботу листопривальної машини

Було розроблено технічне завдання на створення програмного комплексу автоматизованої обробки промислових даних про роботу багатороликової ЛПМ. Необхідність розробки такого комплексу обумовлена відсутністю спеціалізованих програмних засобів, які забезпечують автоматичну часову сегментацію сигналів, формування

масивів параметрів процесу правки та їх подальшу статистичну обробку в умовах реального виробництва.

Програмний комплекс призначений для обробки експериментальних і промислових даних, отриманих із системи автоматизованого контролю роботи ЛПМ, з метою підвищення ефективності аналізу технологічних режимів правки та підтримки прийняття рішень технологічним персоналом.

Основними функціями програмного комплексу є:

- завантаження та обробка файлів промислових вимірювань, отриманих з програмного комплексу IBA Analyzer;
- автоматичне відокремлення корисних інтервалів сигналів у часі відповідно до проходження листів через ЛПМ;
- формування масивів параметрів процесу правки для окремих листів і партій прокату;
- статистична обробка енергосилових і технологічних параметрів процесу правки;
- формування звітних даних у вигляді таблиць і графіків.

Вхідними даними програмного комплексу є файли вимірювань у текстовому форматі, що містять часові ряди параметрів роботи ЛПМ, зокрема положення роликів, тиск у гідравлічних циліндрах, зусилля правки, швидкість протягування листа та сигнали датчиків наявності металу.

Вихідними даними комплексу є структуровані масиви параметрів процесу правки, статистичні показники роботи обладнання, а також звітні файли, придатні для подальшого аналізу та використання у виробничій практиці.

Вимоги до функціонування програмного комплексу, структури вхідних і вихідних даних, а також обмеження та умови експлуатації детально наведені у технічному завданні, яке подано в Додатку Б.

## 2.4 Висновки до другого розділу

У другому розділі кваліфікаційної роботи розроблено математичну модель та методику автоматизованої обробки промислових даних про роботу листоправильних машин. Обґрунтовано вибір методів аналізу часових рядів і статистичної обробки даних з урахуванням особливостей формування сигналів у процесі правки листового прокату.

Запропоновано підхід до часової сегментації промислових сигналів, що дозволяє автоматично виділяти окремі етапи технологічного процесу та формувати узагальнені параметри для окремих листів і партій прокату. Розроблена математична модель забезпечує структурований опис процесу обробки даних і створює основу для подальшої програмної реалізації.

Результати другого розділу стали теоретичною базою для проєктування програмного комплексу та проведення експериментальних досліджень, описаних у наступних розділах роботи.

### 3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ОБРОБКИ ПРОМИСЛОВИХ ДАНИХ ПРО РОБОТУ ЛИСТОПРАВИЛЬНОЇ МАШИНИ

3.1 Призначення, функції та загальна структура програмного комплексу для автоматизованої обробки промислових даних про роботу листопробивальних машин

Програмний комплекс, що розробляється у межах даної дипломної роботи, призначений для автоматизованої обробки промислових даних про роботу багатороликкових листопробивальних машин, які експлуатуються у металургійному виробництві підприємств Групи Метінвест. Основною метою створення комплексу є підвищення ефективності аналізу параметрів процесу правки листового прокату шляхом автоматичної часової сегментації сигналів, формування структурованих масивів параметрів та їх статистичної обробки.

Розроблюваний програмний комплекс орієнтований на роботу з промисловими даними, отриманими з автоматизованих систем керування та діагностики обладнання, зокрема з використанням програмного комплексу IBA Analyzer. Вхідними даними для програмного комплексу є файли з часовими рядами технологічних параметрів роботи листопробивальної машини, які містять інформацію про положення робочих роликів, тиск у гідравлічних циліндрах, зусилля правки, швидкість протягування листів, струми та моменти електроприводів, а також сигнали датчиків наявності металу.

Основними функціями програмно комплексу є:

- автоматичне завантаження та попередня перевірка файлів з промисловими даними;
- автоматизована часова сегментація сигналів з метою відокремлення інтервалів, що відповідають процесу правки окремих листів;
- формування структурованих масивів параметрів процесу правки для кожного листа або партії прокату;
- статистична обробка параметрів процесу правки з визначенням узагальнених показників;
- підготовка вихідних даних у вигляді звітів, придатних для аналізу технологічним персоналом.

Загальна структура програмного комплексу побудована за модульним принципом і включає такі основні компоненти: модуль завантаження та підготовки вхідних даних, модуль часової сегментації сигналів, модуль обробки та аналізу параметрів процесу правки, а також модуль формування звітної інформації. Така структура забезпечує гнучкість програмного комплексу, можливість його розширення та адаптації до особливостей різних типів листоправильних машин і виробничих умов.

Реалізація програмного комплексу дозволяє перейти від фрагментарного аналізу окремих осцилограм до системного автоматизованого аналізу промислових даних про роботу листоправильних машин, що створює передумови для підвищення стабільності технологічних процесів, зниження впливу людського фактору та подальшого впровадження інтелектуальних методів оптимізації режимів правки листового прокату.

### 3.2 Розробка логічної моделі програмного комплексу для автоматизованої обробки промислових даних про роботу листопробивальних машин

Розроблюваний програмний комплекс призначений для автоматизованої обробки промислових даних, що формуються під час роботи багатороликової листопробивальної машини, з метою отримання узагальнених параметрів процесу правки, визначення характеристик виправленого прокату та формування аналітичних і статистичних звітів для технологічного персоналу.

Початковим етапом роботи програмного комплексу є завантаження користувачем вихідного файлу з результатами вимірювань процесу правки. Вхідні дані подаються у форматі \*.txt і формуються шляхом попередньої обробки сирих вимірювальних файлів, отриманих у програмному комплексі IBA Analyzer. Зазначений файл містить часові ряди технологічних параметрів роботи листопробивальної машини, зареєстрованих у процесі правки листового прокату.

На наступному етапі користувач задає перелік параметрів, що підлягають обробці. За замовчуванням до таких параметрів належать товщина листового металу, налаштування робочих роликів, температура прокату, сумарна сила правки, тиск у натискних гідравлічних циліндрах №1–4, а також сигнали датчиків наявності металу на вході та виході з листопробивальної машини. Зазначені параметри є базовими для аналізу енергосилових характеристик процесу правки та подальшої ідентифікації режимів роботи обладнання.

Додатково користувач вводить конструктивні параметри листопробивальної машини, зокрема кількість робочих роликів, їх крок

та діаметр. Ці дані необхідні для коректної інтерпретації технологічних параметрів і використання зовнішніх розрахункових моделей.

Після введення вихідних даних користувач ініціює процес обробки. Програмний комплекс здійснює автоматизовану обробку завантаженого файлу, зокрема виконує часову сегментацію сигналів на основі спрацьовування датчиків входу та виходу листа з листоправильної машини. У межах кожного виділеного інтервалу зберігаються значення товщини металу, положення робочих роликів, а також формується масив енергосилових параметрів процесу правки, який включає силу правки, тиск у натискних гідравлічних циліндрах №1–4 та тиск у гідроциліндрах врівноваження.

Сформовані масиви даних підлягають статистичній обробці, у ході якої визначаються узагальнені показники процесу правки для окремих листів і партій прокату. Отримані результати використовуються для подальшого аналізу стабільності технологічних режимів та оцінки ефективності роботи обладнання.

На наступному етапі програмний комплекс викликає зовнішню бібліотеку автоматизованого розрахунку налаштувань листоправильної машини. До цієї бібліотеки передаються значення температури прокату, товщини листа та фактичних налаштувань роликів для різних груп сталей. На основі результатів розрахунків виконується відбір найбільш близьких за параметрами налаштувань, що дозволяє визначити групу сталі та ширину листового прокату, який оброблявся на листоправильній машині.

Завершальним етапом роботи програмного комплексу є формування результатів у вигляді звітної документації. Програмний комплекс автоматично генерує звіт у форматі MS Excel, який містить таблиці з параметрами правки, а також окремий статистичний звіт за партією виправленого прокату. Отримані звіти можуть бути

використані для аналізу роботи обладнання, підготовки технологічної документації та підтримки прийняття виробничих рішень.

У типовому режимі роботи користувач вводить оброблений файл з вимірювальними даними процесу правки та параметри листопральної машини, після чого відбувається автоматизована обробка даних, виклик зовнішніх розрахункових модулів, визначення характеристик прокату та формування звітів. У разі некоректного введення вихідних даних програмний комплекс здійснює перевірку коректності та повідомляє користувача про помилку з можливістю повторного запуску обробки.

Для формалізації та наочного представлення описаного процесу були розроблені SADT-діаграми. SADT-діаграма нульового рівня відображає загальну структуру функціонування програмного комплексу, де на вході задаються вихідні дані процесу правки, а на виході формується статистична інформація про партію виправленого листового прокату (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Структурно-функціональна діаграма 0-го рівня процесу автоматизованої обробки даних роботи обладнання ЛПМ

У контекстній діаграмі SADT-моделі виконавцями є користувач і ПК. SADT-модель регламентується стандартами, технічними умовами (ТУ) на якість прокату і нормативами (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 - Опис контекстної структурно-функціональної моделі нульово-го рівня ПМК для автоматизованої обробки даних роботи обладнання ЛПМ

№ п/п	Вхідні данні	Управління	Виконавець	Вихідні данні
A0	*.txt з параметрами правки	Стандарт (ЄСКД), технічні умови (ТУ), Нормативи	ПК, Користувач	Статистика партії виправленого прокату

На рисунку 3.2 представлена деталізуюча SADT-діаграма першого рівня «Деталізуюча структурно-функціональна модель першого рівня ПК для автоматизованої обробки даних роботи обладнання ЛПМ», а її опис наведена в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Опис контекстної структурно-функціональної моделі першого рівня ПК для автоматизованої обробки даних роботи обладнання ЛПМ

№ п/п	Вхідні дані	Управління	Виконавець	Вихідний дані
A1	*.txt з параметрами правки	Стандарти	ПК; Користувач	Параметри правки
A2	Параметри правки	Стандарти	ПК; Користувач	Сформованні данні
A3	Сформованні данні	Стандарти	ПК; Користувач	Статистика сортаменту прокату, статистичний звіт

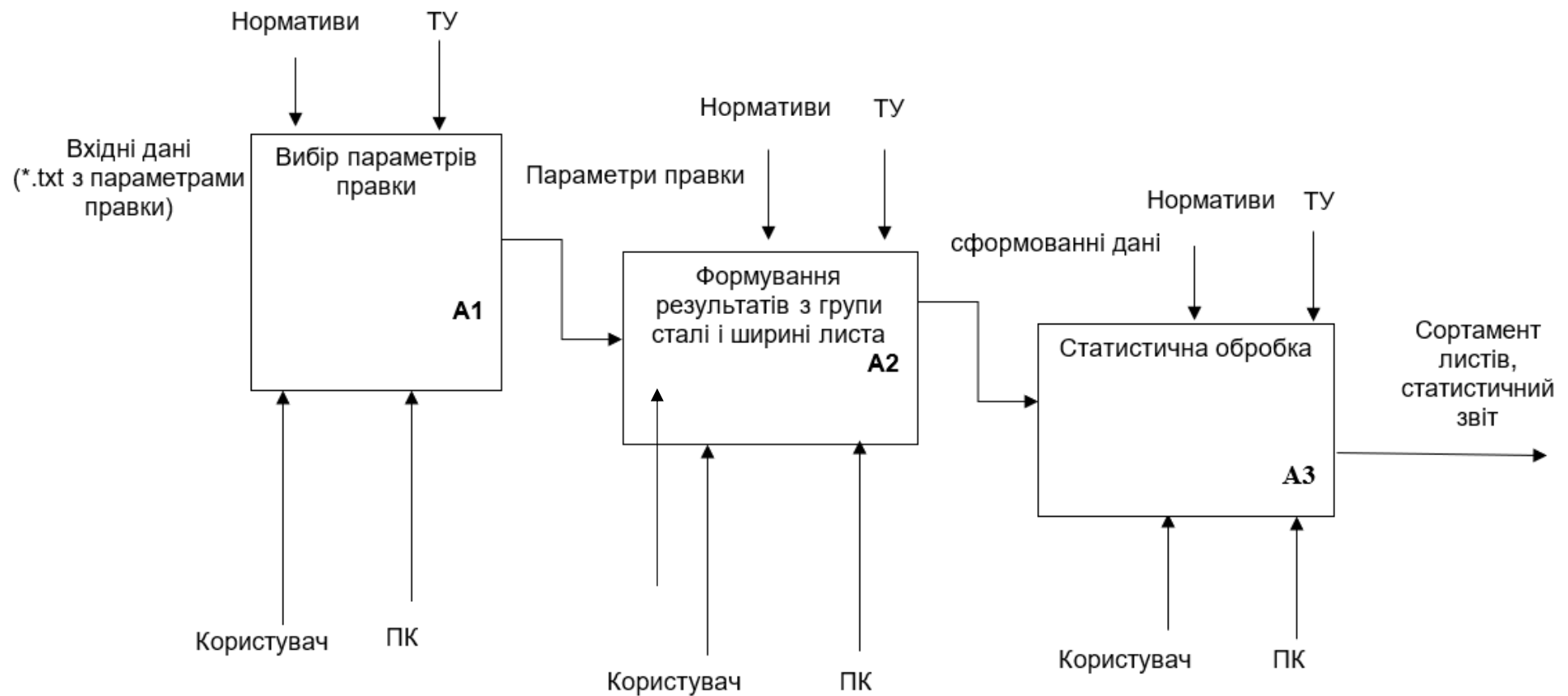


Рисунок 3.2 – Структурно-функціональна діаграма 1-го рівня процесу автоматизованої обробки анісобладнання ЛПМ

На першому етапі деталізуючої структурно-функціональної моделі першого рівня ПК для автоматизованої обробки даних роботи обладнання ЛПМ проводиться завантаження файлу з параметрами правки. Виконується вибір параметрів правки, зокрема, крок роликів, діаметр робочих роликів і їх кількість. Всі вибрані параметри перевіряються на відповідність нормативному ряду типо-розмірів згідно з документації. На виході з даного блоку видаються коректні параметри правки.

На другому етапі формується група сталі та ширина листа. Вхідними параметрами даного етапу являються параметри правки. Регламентується розрахунок відповідності якості одержуваної продукції технічним умовам. На виході з даного етапу видаються сформовані данні.

На третьому етапі проводяться формування сортаменту листів та статистичного звіту з обробленої партії.

### 3.3 Розробка діаграми прецедентів програмного комплексу для автоматизованої обробки промислових даних про роботу листоправильних машин

У розроблюваній системі автоматизованої обробки промислових даних про роботу багатороликової листоправильної машини основним актором є користувач, який ініціює всі дії, пов'язані з завантаженням, обробкою та аналізом даних. Користувач взаємодіє з програмним комплексом через графічний інтерфейс та здійснює послідовність операцій, необхідних для формування аналітичних і статистичних результатів роботи обладнання.

Для забезпечення повного циклу обробки промислових даних у системі реалізовано низку основних прецедентів використання. До них належать: «Завантаження файлу», «Обробка файлу», «Обробка марок сталі та ширини листа», «Формування статистики партії виправленого прокату» та «Формування статистичного звіту партії виправленого прокату». Кожен із зазначених прецедентів відповідає окремому функціональному етапу роботи програмного комплексу та відображає логіку обробки даних.

Прецедент «Завантаження файлу» передбачає вибір користувачем вихідного файлу з результатами вимірювань процесу правки, сформованого у програмному комплексі IBA Analyzer. У межах цього прецеденту використовується вкладений прецедент «Діалогове вікно вибору файлу», який забезпечує коректне завантаження файлу у систему.

Прецедент «Обробка файлу» відповідає етапу первинної автоматизованої обробки промислових даних. У межах цього прецеденту виконується перевірка вхідних даних на відповідність встановленим нормативам і форматам, що реалізовано через вкладений прецедент «Перевірка на відповідність нормативам». На даному етапі здійснюється відокремлення корисних ділянок сигналів у часі та формування масивів параметрів процесу правки.

Прецедент «Обробка марок сталі та ширини листа» призначений для визначення характеристик оброблюваного прокату на основі параметрів процесу правки. У його межах також виконується перевірка даних на відповідність нормативним вимогам, після чого здійснюється звернення до зовнішньої бібліотеки Pravka, яка реалізує математичну модель процесу правки. Результатом виконання даного прецеденту є визначення групи сталі та ширини листа, що відповідають фактичним параметрам роботи обладнання.

Прецедент «Формування статистики партії виправленого прокату» забезпечує статистичну обробку отриманих параметрів процесу правки. У межах цього прецеденту передбачено вкладені прецеденти «Експорт статистики в MS Excel» та «Перегляд статистики», які дозволяють користувачу аналізувати результати обробки у зручному табличному вигляді.

Прецедент «Формування статистичного звіту партії виправленого прокату» є завершальним етапом роботи програмного комплексу та призначений для формування узагальненого звіту за результатами обробки даних. Аналогічно до попереднього прецеденту, він включає можливість експорту результатів у форматі MS Excel та їх подальшого перегляду користувачем.

Діаграма прецедентів, що відображає взаємодію користувача з програмним комплексом та перелік основних функціональних можливостей системи, представлена на рисунку 3.3.

Деталізований опис кожного прецеденту використання наведено в таблицях 3.3–3.7, де визначено вхідні та вихідні дані, основні сценарії виконання та частоту використання відповідних функцій.

Таблиця 3.3 – Опис прецеденту «Завантаження файлу»

Прецедент	Завантаження файлу
Основний Виконавець	Користувач
Вхідні дані	Файл в форматі *.txt
Основний успішний сценарій (основний процес)	Отримання параметрів правки
Частота використання	При кожному запуску
Вихідні дані	Параметри правки

Таблиця 3.4 – Опис прецеденту «Обробка файлу»

Прецедент	Обробка файлу
Основний Виконавець	Користувач
Вхідні дані	Набір параметрів правки

Продовження таблиці 3.4

Прецедент	Обробка файлу
Основний успішний сценарій (основний процес)	Отримання дійсних параметрів правки
Частота використання	При кожному запуску
Вихідні дані	Дійсні параметри правки

Таблиця 3.5 – Опис прецеденту «Обробка марок сталі та ширини листа»

Прецедент	Обробка марок сталі та ширини листа
Основний Виконавець	Користувач
Вхідні дані	Параметри правки
Основний успішний сценарій (основний процес)	Отримання марки сталі та ширини листа
Частота використання	При кожному запуску
Вихідні дані	Марка сталі та ширина листа

Таблиця 3.6 – Опис прецеденту «Формування статистики партії виправленого прокату»

Прецедент	формування статистики партії виправленого прокату
Основний Виконавець	Користувач
Вхідні дані	Параметри правки
Основний успішний сценарій (основний процес)	Отримання статистики партії виправленого прокату
Частота використання	При кожному запуску
Вихідні дані	Сформована статистика, файл в форматі *.xls

Таблиця 3.7 – Опис прецеденту «Формування статистичного звіту»

Прецедент	Формування статистичного звіту
Основний Виконавець	Користувач
Вхідні дані	Параметри правки
Основний сценарій процес)	Отримання статистичного звіту партії виправленого прокату
Частота використання	При кожному запуску
Вихідні дані	Сформована статистика, файл в форматі *.xls

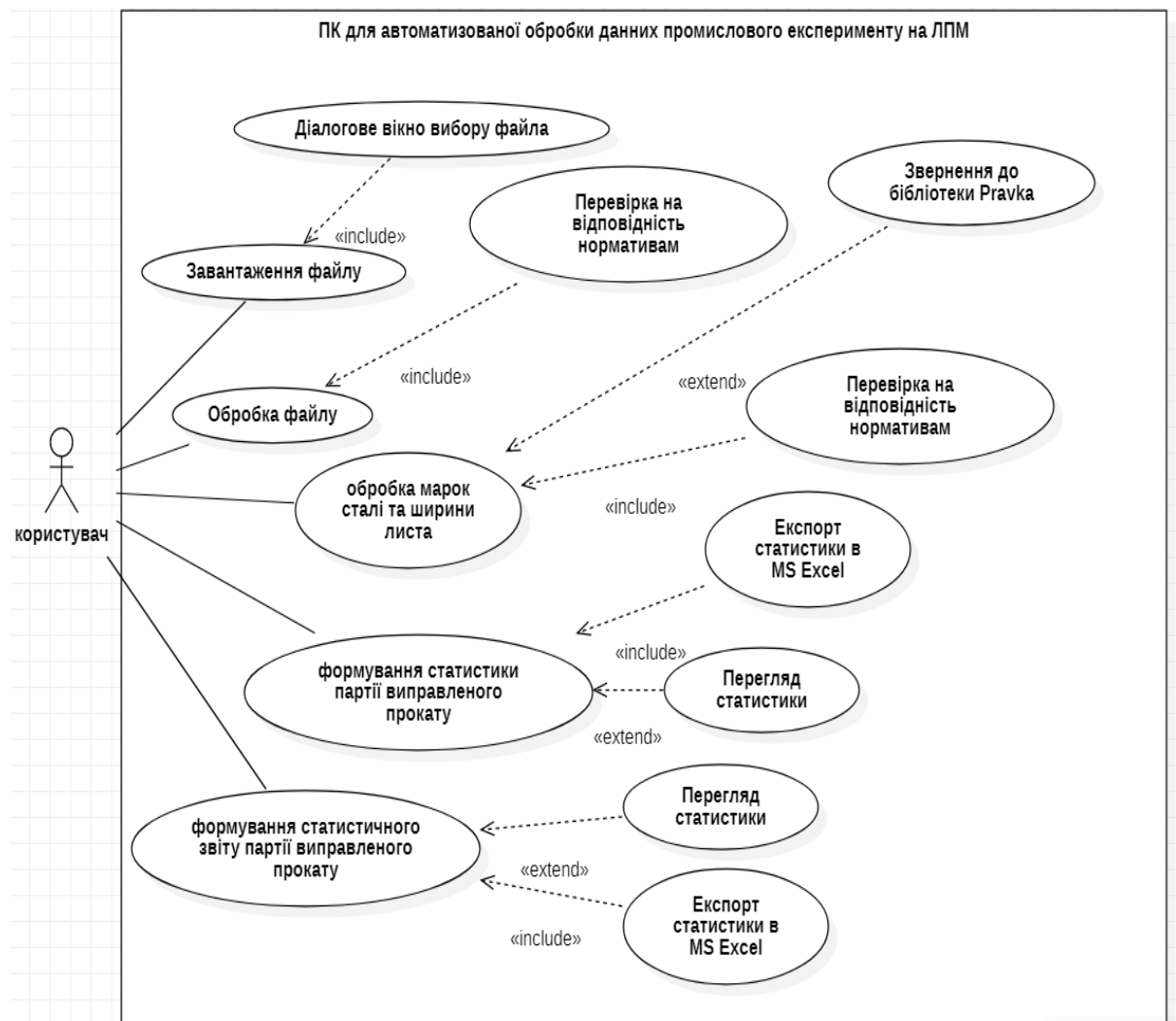


Рисунок 3.3 – Діаграма прецедентів процесу автоматизованої обробки даних роботи обладнання ЛПМ

### 3.4 Розробка діаграми класів програмного комплексу для автоматизованої обробки промислових даних про роботу листоправильних машин

Діаграма класів відображає структуру програмного комплексу та взаємозв'язок між основними програмними компонентами, що реалізують автоматизовану обробку даних роботи листоправильної машини.

Основним класом системи є клас PC, який реалізує керування процесом обробки: завантаження вхідного файлу, перевірку коректності даних, розбір записів і формування колекції об'єктів з параметрами правки. Саме в класі PC реалізується послідовність викликів процедур обробки та підготовка даних до статистичного аналізу і формування звітів.

Результати обробки зберігаються у вигляді екземплярів класу Params, який містить структурований набір параметрів правки. Після обробки файл перетворюється на масив об'єктів Params, що є базою для розрахунків, агрегації та статистичного узагальнення.

За визначення марки сталі та ширини листа на основі параметрів правки відповідає клас Steel. Він виконує логіку зіставлення отриманих параметрів з результатами зовнішнього модуля або довідковими даними та повертає визначені значення до класу PC, де вони додаються до відповідних об'єктів Params.

Формування вихідних документів здійснюється за допомогою класу Excel, який відповідає за створення звіту з параметрами правки та статистичного звіту по партії виправленого прокату у форматі MS Excel.

На рисунку 3.4 представлена діаграма класів програмного комплексу для автоматизованої обробки даних роботи обладнання ЛПМ.

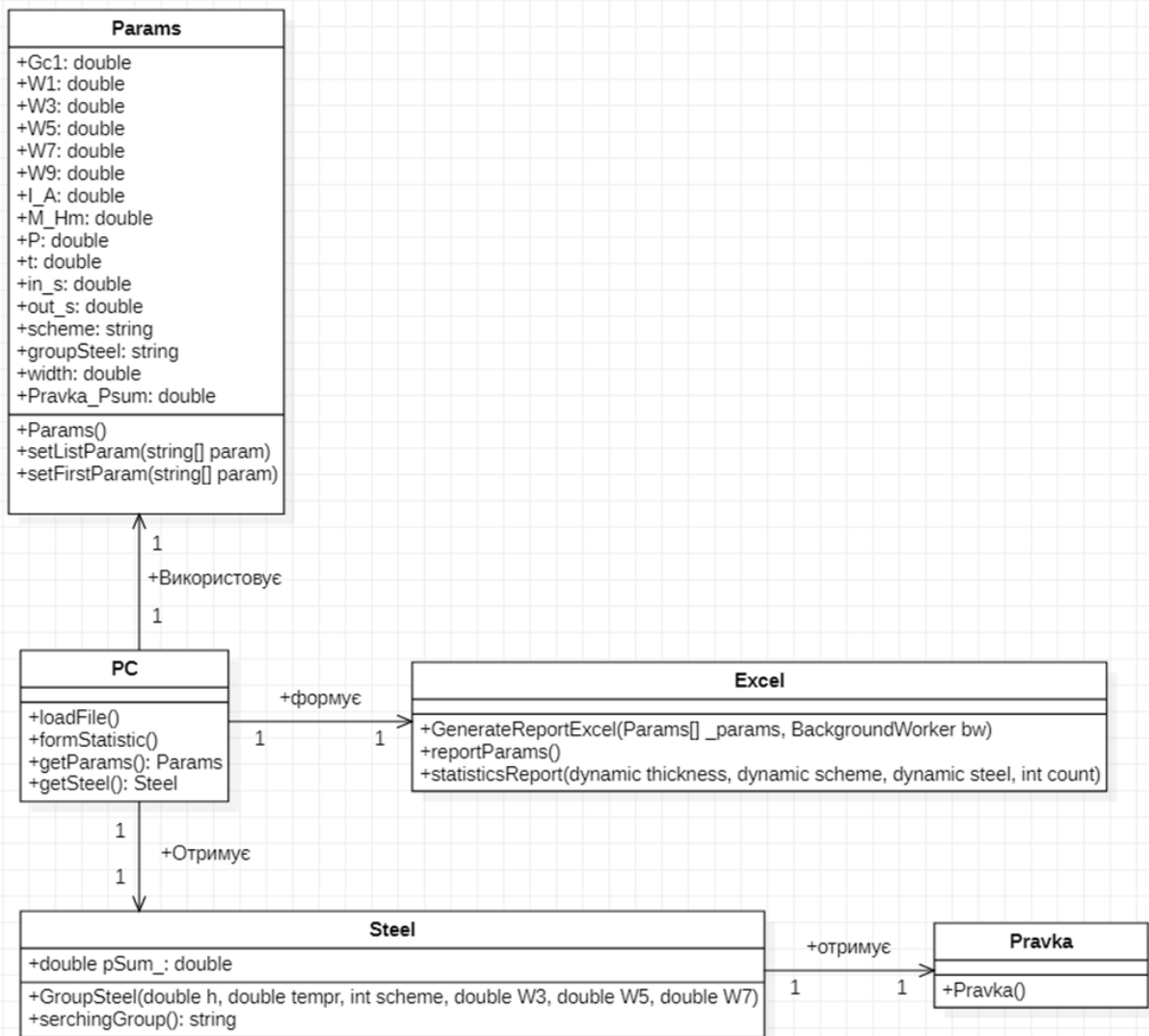


Рисунок 3.4 - Діаграма класів ПК для автоматизованої обробки даних роботи обладнання ЛПМ

### 3.5 Розробка діаграми послідовностей програмного комплексу для автоматизованої обробки промислових даних про роботу листоправильних машин

Діаграма послідовностей розроблена для прецеденту «Обробка файлу» та відображає порядок взаємодії між користувачем і програмним комплексом у процесі автоматизованої обробки промислових даних про роботу багатороликової листоправильної машини.

Ініціатором процесу є користувач, який після завантаження вихідного файлу з параметрами процесу правки запускає процедуру його обробки. Вихідний файл містить часові ряди технологічних параметрів, отриманих у результаті попередньої обробки вимірювальних даних у програмному комплексі IBA Analyzer.

Обробка файлу здійснюється у програмному комплексі, центральним елементом якого є клас PC, що відповідає за керування логікою процесу. На цьому етапі виконується зчитування вхідних даних, їх попередня фільтрація та перевірка коректності.

У процесі обробки файлу програмний комплекс формує об'єкти класу Params, у які передаються дійсні параметри процесу правки. До таких параметрів належать товщина листа, положення та налаштування робочих роликів, значення сили правки, тиск у гідравлічних циліндрах, а також сигнали датчиків наявності металу на вході та виході з листоправильної машини. Кожен об'єкт класу Params відповідає окремому листу або окремому інтервалу процесу правки.

Створені об'єкти класу Params зберігаються у масиві об'єктів для подальшого використання на наступних етапах роботи програмного комплексу. Зокрема, ці дані застосовуються для

статистичної обробки енергосилових параметрів, аналізу стабільності процесу правки та формування звітних матеріалів.

Таким чином, діаграма послідовностей відображає логічну послідовність дій при обробці вхідного файлу та демонструє, яким чином вихідні промислові дані трансформуються у структуровані об'єкти, придатні для подальшого аналізу. Зазначений підхід забезпечує модульність програмного комплексу та створює основу для розширення його функціональних можливостей.

На рисунку 3.5 представлена діаграма послідовностей для прецеденту «Обробка файлу» програмного комплексу автоматизованої обробки даних роботи обладнання листоправильної машини.

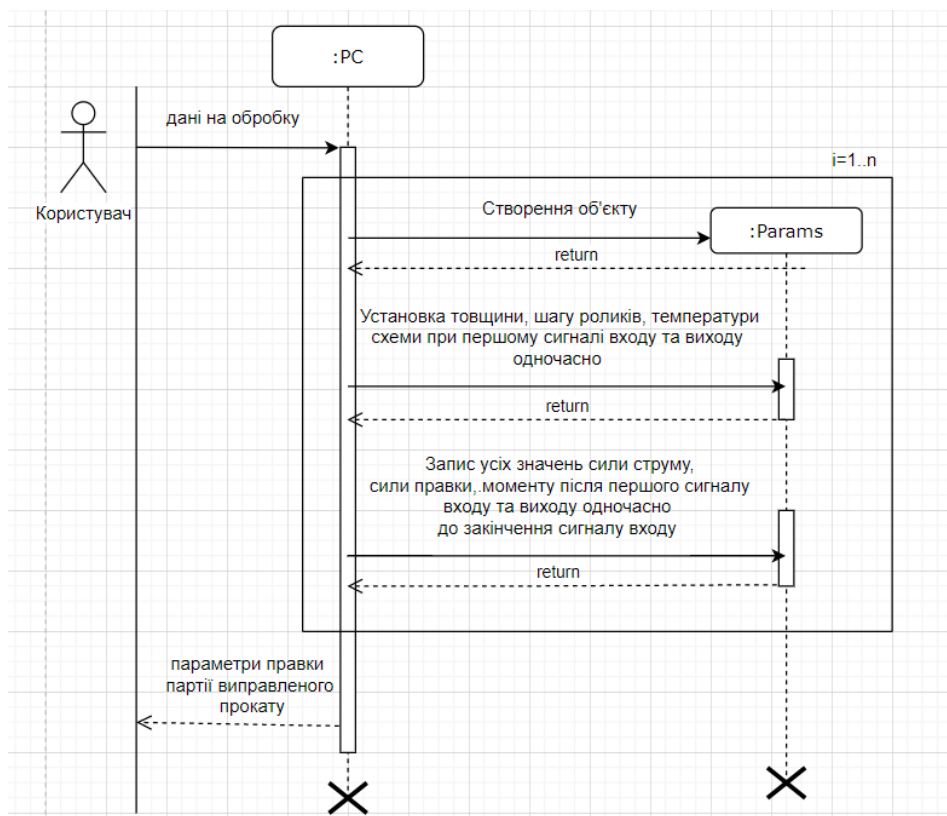


Рисунок 3.5 – Діаграма послідовностей для прецеденту «Обробка файлу» ПК для автоматизованої обробки даних роботи обладнання ЛПМ

### 3.6 Висновки третього розділу

У третьому розділі виконано проектування та реалізацію програмного комплексу для автоматизації процесів збору, обробки й аналізу промислових даних про роботу листоправильних машин. Визначено архітектуру програмного забезпечення, основні функціональні модулі та алгоритми обробки даних.

Реалізовано програмні засоби для автоматизованої обробки масивів промислових даних, виконання часової сегментації сигналів, розрахунку узагальнених параметрів та формування аналічних і звітних матеріалів. Забезпечено можливість масштабування програмного комплексу та його адаптації до умов реального виробництва.

Розроблений програмний комплекс реалізує запропоновані у другому розділі моделі та методи й створює інструментальну основу для практичного використання результатів дослідження.

## 4 ПРОВЕДЕННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ОБРОБКИ ПРОМИСЛОВИХ ДАНИХ ПРО РОБОТУ ЛИСТОПРАВИЛЬНОЇ МАШИНИ

4.1 Результати поглибленої розробки окремих модулів та інтерфейс користувача програмного комплексу для автоматизованої обробки промислових даних про роботу листоправильних машин

Приклад програмного коду з завантаження файлу вимірювань роботи обладнання ЛПМ представлено на рис. 4.1.

```
void FileSplitter(object sender, DoWorkEventArgs e)
{
    BackgroundWorker worker = sender as BackgroundWorker;
    int partNumber = 1;
    int length = 10000;
    string newDirectory = "NewDir";
    if (!Directory.Exists(newDirectory))
        Directory.CreateDirectory(newDirectory);
    using (var sr = new StreamReader(path))
        while (!sr.EndOfStream)
        {
            var buffer = new char[length * 1024];
            int lengthRead = sr.ReadBlock(buffer, 0, length *
1024);

            File.WriteAllText(newDirectory + "\\file_part" +
partNumber.ToString() + ".txt", new string(buffer, 0, lengthRead));
            partNumber++;
            worker.ReportProgress((partNumber));
        }
}
```

Рисунок 4.1 – Функція завантаження файлу

Приклад програмного коду з обробки файлу вимірювань роботи обладнання ЛПМ представлено на рисунку 4.2, в якому призводиться обробка текстових даних та формування масивів з чисельними значеннями даних роботи обладнання ЛПМ.

```

void fileProcessing(object sender, DoWorkEventArgs e)
{
    BackgroundWorker worker = sender as BackgroundWorker;
    for (int iter = 1; iter <= filesCount; iter++)
    {
        using (FileStream fstream =
File.OpenRead("NewDir/file_part" + iter + ".txt"))
        {
            byte[] array = new byte[fstream.Length];
            fstream.Read(array, 0, array.Length);
            text =
System.Text.Encoding.Default.GetString(array);
        }
        string[] test = text.Split('\n');
        tru_obj = false;
        Params elem = new Params();
        for (int i = 0; i < test.Length; i++)
        {
            string[] params_ = test[i].Split(';');
            try
            {
                if (
C_Double(params_[10]) == 1 &&
C_Double(params_[11]) == 0
||
(i == 0 && tru_obj &&
C_Double(params_[10]) == 1
&&
C_Double(params_[11]) == 1)
)
                {
                    for (int j = i; j < test.Length; j++)
                    {
                        i = j;
                        elem.setFirstParam(params_);
                        params_ = test[j].Split(';');
                        if ((C_Double(params_[10]) == 1 &&
C_Double(params_[11]) == 1))
                        {
                            tru_obj = true;
                            elem.setListParam(params_);
                        }
                        else if (C_Double(params_[10]) == 0
&& C_Double(params_[11]) == 1)
                        {
                            if (tru_obj)
                            {
                                bool schemeCondition =
elem.scheme == "5 роликів" ? elem.W3 > 0 : elem.W3 > 0 && elem.W5 > 0
&& elem.W7 > 0;

```

Рисунок 4.2 – Функція обробки файлу

На рисунку 4.3 представлено функцію з визначення групи сталі листа, що оброблявся на ЛПМ. В цьому коді є звернення до зовнішньої бібліотеки Pravka, яка є математичною моделлю процесу правки листів на ЛПМ і як вихідні дані видає налаштування роликів. Зіставлення налаштувань роликів, отриманих математичною моделлю і фактичними даними з обладнання, дає змогу визначити яка група сталі була виправлена на ЛПМ.

```

double rGs = 2.1; //metr
    rGs = rGs * 1000;
    double eGs = _h / 2 / rGs;
    double u = eGs * V * 1000 / _t;
    double Gt = SG0d * Math.Pow(u, a0Gs) * Math.Pow((10 *
eGs) , bGs) * Math.Pow((tempra / 1000) , cGs);
    Gt = Math.Round((Gt * 10), 1) / 10;
    double Tmpprt = tempra / 1000;
    E = 2.1 - 0.628 * Tmpprt + 0.83 * Math.Pow(Tmpprt, 2) -
1.458 * Math.Pow(Tmpprt, 3);
    E = E * 100000;
    Gt = Math.Round(Gt * 2 / Math.Sqrt(3), 1);
    E = E / (1 - (0.3 * 0.3));
    e.Add(E);
    Pravka pravka = new Pravka(_n, _d, _h, _B, _t, Gt, E,
_vi, Xi0, tempra);
    res.Add(pravka._pSum);
    double[] W = pravka._W;
    _W.Add(W);
    _pSum.Add(pravka._pSum);

```

Рисунок 4.3 – Фрагмент коду для отримання марки сталі та ширини листа

На рисунку 4.4 представлено функцію з отримання сортаменту листів, що були виправлені на ЛПМ. В цій функції визначаються параметри листів, налаштування роликів, матеріал листів та параметри роботи обладнання.

```

void reportParams()
{
    Excel.Application ex = new Microsoft.Office.Interop.Excel.Application();
    ex.SheetsInNewWorkbook = 1;
    Excel.Workbook workbook = ex.Workbooks.Add(Type.Missing);
    ex.DisplayAlerts = false;
    Excel.Worksheet sheet =
        (Excel.Worksheet)ex.Worksheets.get_Item(1);

    sheet.Name = "Параметри правки";
    sheet.Cells[1, 1] = "Позиція";
    sheet.Cells[1, 2] = "W3";
    sheet.Cells[1, 3] = "W5";
    sheet.Cells[1, 4] = "W7";
    sheet.Cells[1, 5] = "Тх";
    sheet.Cells[1, 6] = "Мх";
    sheet.Cells[1, 7] = "Зусилля правки";
    sheet.Cells[1, 8] = "Температура";
    sheet.Cells[1, 9] = "Марка сталі";
    sheet.Cells[1, 10] = "Схема";
    sheet.Cells[1, 11] = "Ширина";

    for (int i = 2; i < this._params.Length; i++)
    {
        sheet.Cells[i, 1] = Math.Round(this._params[i - 2].Gc1, 1);
        sheet.Cells[i, 2] = Math.Round(this._params[i - 2].W3, 2);
        sheet.Cells[i, 3] = Math.Round(this._params[i - 2].W5, 2);
        sheet.Cells[i, 4] = Math.Round(this._params[i - 2].W7, 2);
        sheet.Cells[i, 5] = Math.Round(this._params[i - 2].I_A.Average(), 1);
        sheet.Cells[i, 6] = Math.Round(this._params[i - 2].M_Hm.Average(), 1);
        sheet.Cells[i, 7] = Math.Round(this._params[i - 2].P.Average(), 1);
        sheet.Cells[i, 8] = Math.Round(this._params[i - 2].t, 1);
        sheet.Cells[i, 9] = this._params[i - 2].groupSteel;
        sheet.Cells[i, 10] = this._params[i - 2].scheme;
        sheet.Cells[i, 11] = Math.Round(this._params[i - 2].width, 1);

        bworker.ReportProgress((i));
    }

    ex.Visible = true;

    string name = DateTime.Now.ToString();
    name = name.Replace(" ", "_");
    name = name.Replace(":", "_");
    name = name.Replace(".", "_");
}

```

Рисунок 4.4 – Фрагмент коду для статистичної обробки даних

## 4.2 Елементи інтерфейсу програмного комплексу для автоматизованої обробки промислових даних про роботу листоправильних машин

Програмний комплекс для автоматизованої обробки даних роботи обладнання ЛПМ представляє собою віконний додаток, що реалізує розрахунок конструктивних параметрів ЛПМ та елементи інтерфейсу для взаємодії з користувачем. Інтерфейс з основними елементами зображений на рисунку 4.5

Пояснення елементів інтерфейсу ПК:

- «Завантаження файлу» - завантаження файлу з параметрами правки;
- «Обробка файлу» - виділення дійсних параметрів правки;
- «Обробка марок сталі» - отримання марки сталі та ширини листа;
- «Звіт за параметрами правки» - формування звіту по параметрам правки.
- «Статистичний звіт» - формування статистичного звіту.

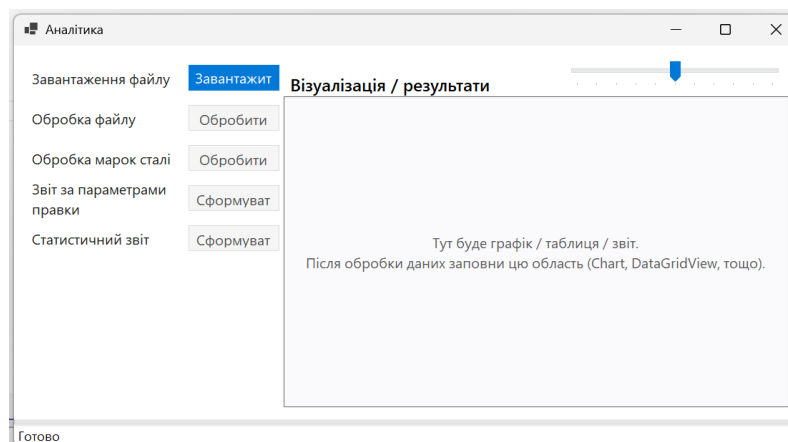


Рисунок 4.5 – Елементи інтерфейсу ПК для автоматизованої обробки даних роботи обладнання ЛПМ

#### 4.3 Інструкція користувача для роботи з програмного комплексу для автоматизованої обробки промислових даних про роботу листоправильних машин

Для роботи з програмним комплексом для автоматизованої обробки даних роботи обладнання ЛПМ, перш за все необхідно відкрити віконний додаток. Далі потрібно натиснути на кнопку «Завантажити» для «Завантаження файлу» (рис. 4.6) та відкриється вікно для вибору файлу (рис. 4.7).

Файл потрібно завантажувати з розширенням \*.txt (до цього сформований в програмному комплексі IBA Analyzer). Потім натиснути на кнопку «Обробити» для «Обробка файлу» (рис. 4.6) після чого почнеться обробка даних.

Далі натиснути на «Обробити» для «Обробка марок сталі» (рис. 4.6) де будуть отримані данні про марку сталі та ширину листа. Далі можливо переглянути статистику перетягуючи повзунок (рис. 4.8-рис. 4.10).

Також можливо експортувати статистику. Натиснувши на кнопку «Сформувати» для «Звіт за параметрами правки» (рис. 4.6) буде отримано файл у форматі xls в якому будуть параметри правки партії виправленого прокату, (відкриється вікно для перегляду файлу). Натиснувши на кнопку «Сформувати» для «Статистичний звіт» (рис. 4.6) буде отримано файл у форматі xls в якому буде статистичний звіт партії виправленого прокату, (відкриється вікно для перегляду файлу).

Для отримання параметрів правки користувачу необхідно завантажити файл з розширенням \*.txt отриманий з програмного комплексу IBA Analyzer.

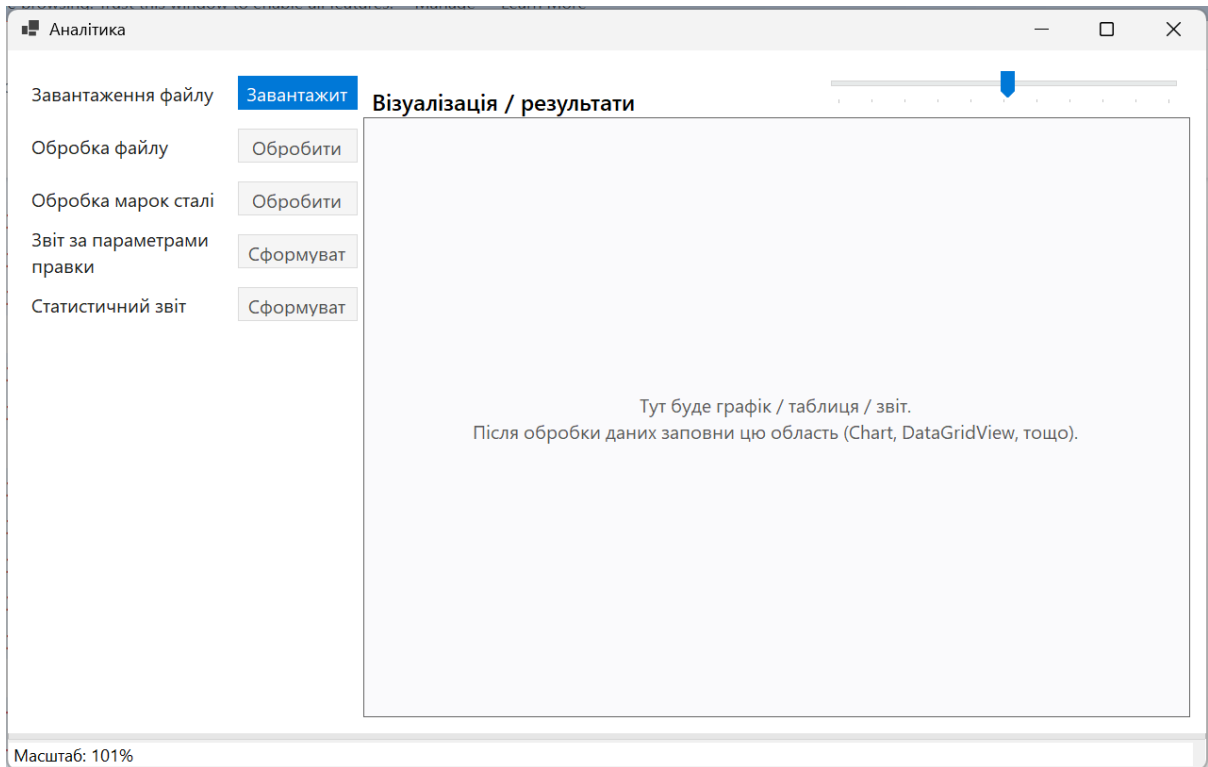


Рисунок 4.6 – Вікно програмного комплексу

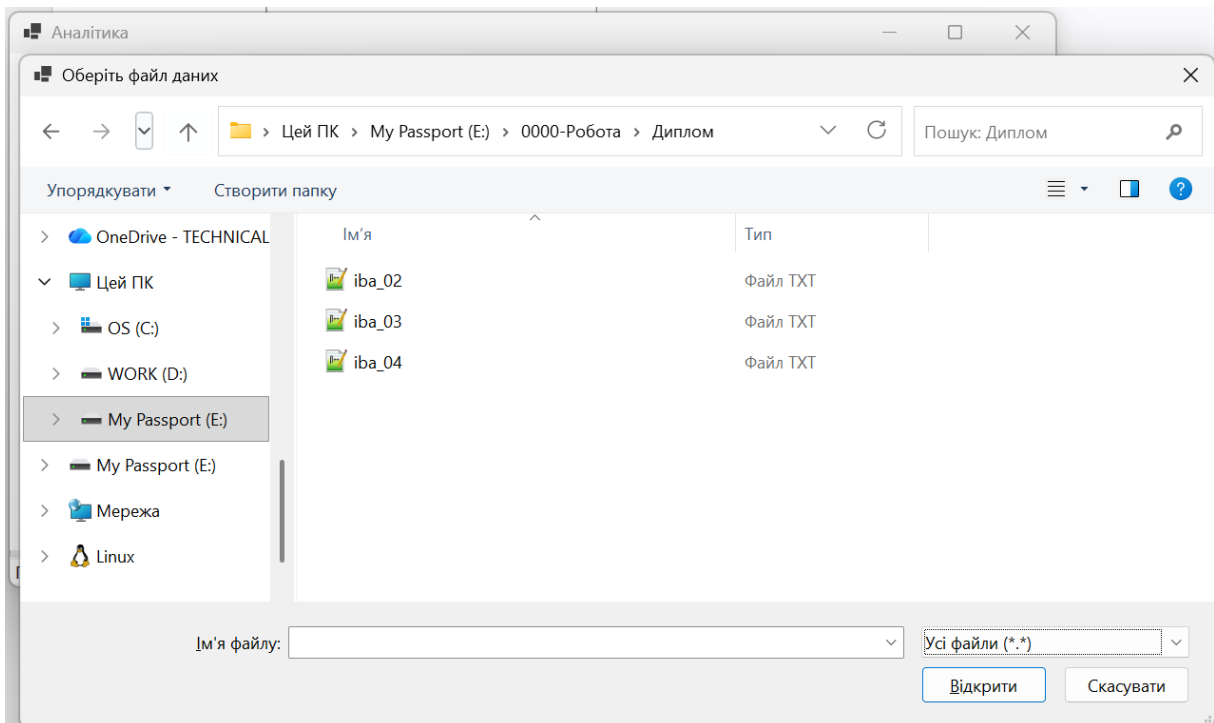


Рисунок 4.7 – Завантаження файлу для обробки

Статистика кількості листів за товщинами

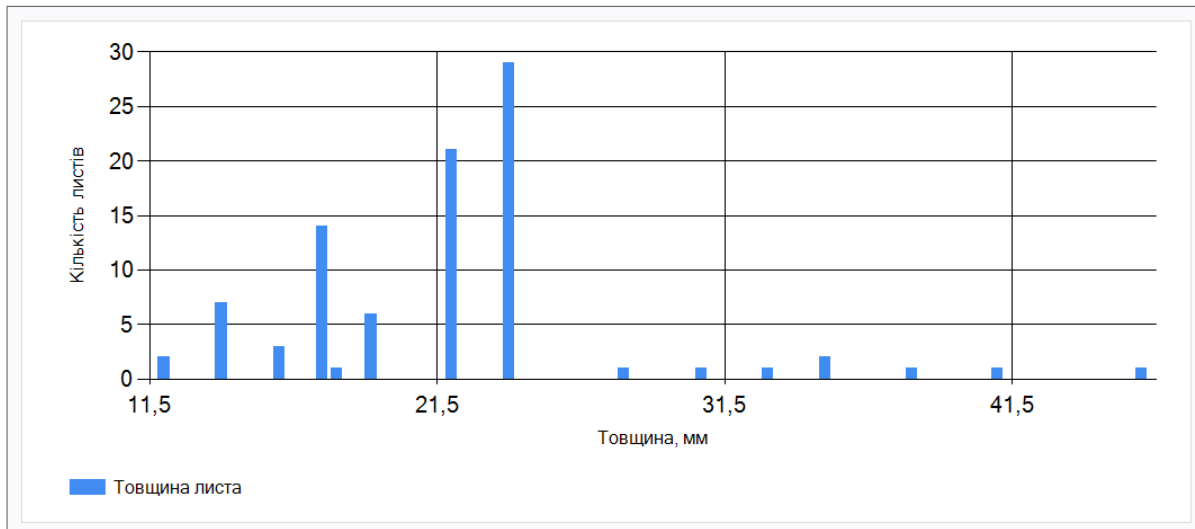


Рисунок 4.8 – Статистика кількості листів за товщинами

Статистика кількості листів за використаними

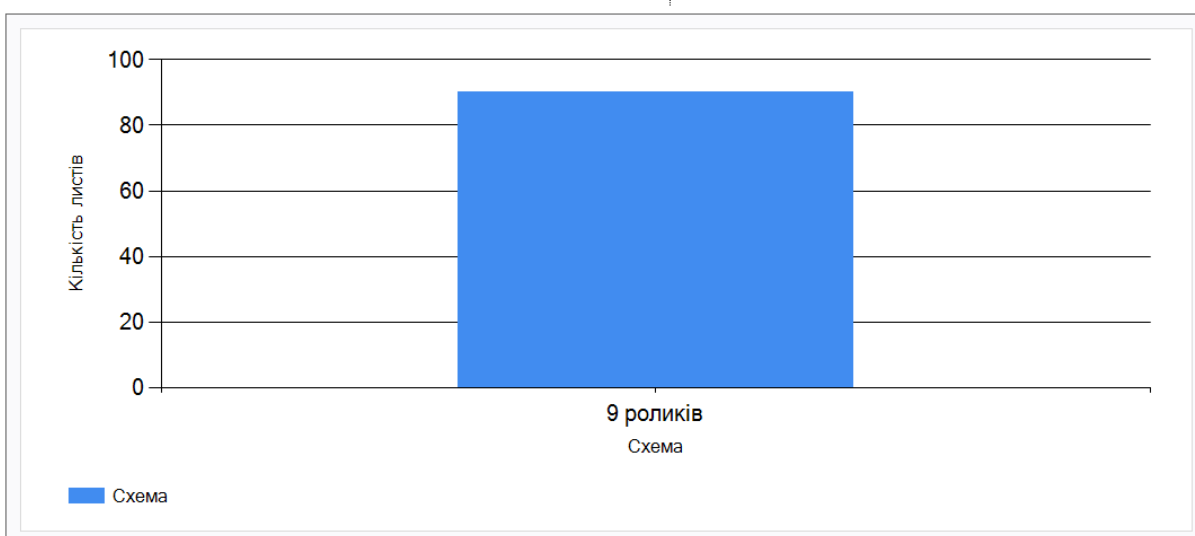


Рисунок 4.9 – Статистика кількості листів за використаною схемою

Статистика кількості листів за маркою сталі

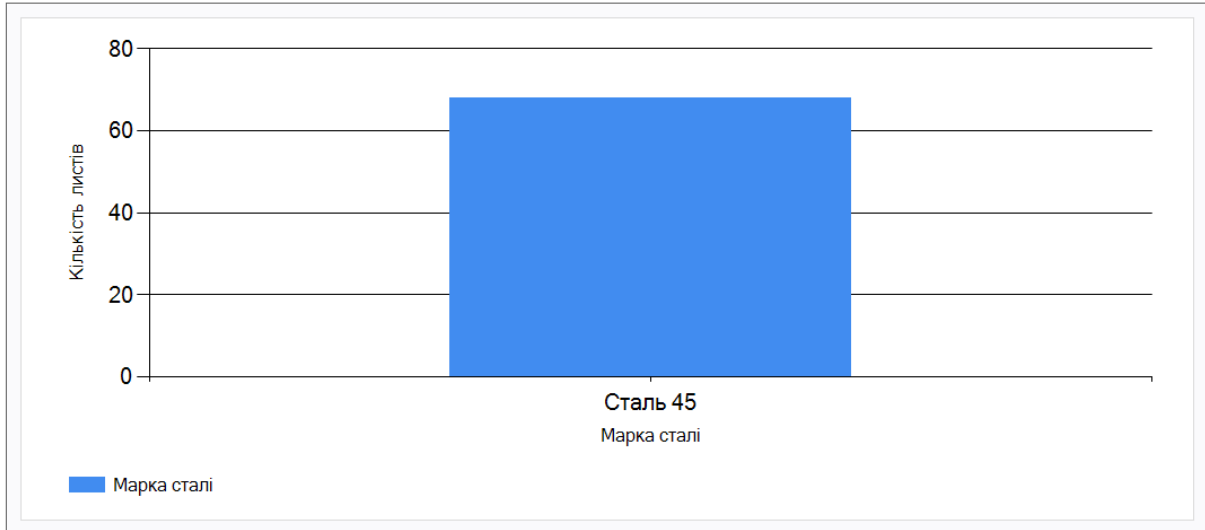


Рисунок 4.10 – Статистика кількості листів за маркою сталі

#### 4.4 Аналітичний звіт за результатами статистичної обробки даних за допомогою програмного комплексу

За результатами аналізу розподілу листів за товщиною встановлено, що основна частина продукції зосереджена у діапазоні середніх товщин (приблизно 18-25 мм). Саме в цьому інтервалі спостерігаються максимальні значення кількості листів, що свідчить про найбільшу інтенсивність виробництва або обробки листів даної товщини.

Тонкі листи (близько 11,5-15 мм), а також листи великої товщини (понад 30 мм) представлені у значно меншій кількості. Це може бути обумовлено:

- специфікою виробничого замовлення;
- технологічними обмеженнями;
- меншою потребою споживачів у даних типорозмірах.

Аналіз використаних схем правки показав, що всі або переважна більшість листів оброблялися за схемою «9 роликів».

Це свідчить про:

- універсальність та ефективність схеми з дев'ятьма роликами;
- стабільність технологічного процесу;
- стандартизацію обладнання та режимів правки.

Отриманий результат підтверджує доцільність застосування обраної схеми як основної для даного типу продукції.

Згідно з результатами аналізу марок сталі, домінуючою є марка «Сталь 45», на яку припадає переважна кількість листів. Інші марки сталі або відсутні, або представлені в незначній кількості.

Це може пояснюватися:

- широким застосуванням сталі 45 у машинобудуванні та металоконструкціях;
- її сприятливими механічними та технологічними властивостями;
- стабільним попитом на дану марку у виробництві.

На основі проведеного статистичного аналізу можна зробити такі узагальнені висновки:

- основний обсяг листів має середні значення товщини, що визначає ключовий технологічний діапазон;
- єдина схема правки (9 роликів) використовується як стандартна та найбільш ефективна;
- марка сталі 45 є основною у досліджуваному виробничому процесі.
- Отримані результати можуть бути використані для оптимізації режимів правки, планування виробничого навантаження та обґрунтування вибору обладнання і матеріалів.

#### 4.5 Висновки до четвертого розділу

У четвертому розділі проведено експериментальні дослідження з використанням реальних промислових даних про роботу листоправильних машин. Здійснено перевірку працездатності та ефективності розроблених математичних моделей і програмного комплексу.

Отримані результати експериментів підтвердили коректність реалізованих алгоритмів обробки даних, а також доцільність застосування автоматизованих методів аналізу для узагальнення технологічних параметрів процесу правки листового прокату. Показано, що використання розроблених рішень дозволяє зменшити трудомісткість обробки даних, підвищити оперативність аналізу та покращити інформаційне забезпечення процесу прийняття управлінських рішень.

Результати досліджень підтверджують можливість практичного застосування розробленого програмного комплексу на металургійних підприємствах та його подальшого розвитку і впровадження у виробничих умовах.

## 5 ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ

Метою роботи є підвищення якості продукції та розширення сортаменту багатороликових листоправильних машин за рахунок удосконалення технологій і обладнання процесів правки листів та розвитку методів їх розрахунку.

Даний підхід автоматизації дозволяє знизити час розрахунку технологічних режимів роботи листоправильної машини.

Капіталовкладення у створення ПВ носять одноразовий характер і в умовах дипломного проектування визначаються за формулою [20]:

$$K = K_1 + K_2 + K_3 \quad (5.1)$$

$$K = 8756,83 + 2585 + 66902,71 = 78244,54 \text{ грн.}$$

де  $K_1$  – витрати на обладнання, (балансова вартість обладнання), грн.;

$K_2$  – витрати на ліцензійні програмні продукти, грн.;

$K_3$  – витрати на створення ПВ, грн.

Розрахунок витрат на устаткування –  $K_1$ .

Витрати на обладнання включають вартість придбання:

– комп'ютерів;

– периферійних пристроїв;

– засобів зв'язку та іншої оргтехніки з урахуванням витрат на транспортування і установку

$$K_1 = \sum_{i=1}^n N_i \times C_i \times k_1 \times k_2 \quad (5.2)$$

$$K_1 = 8542 \times 1,01 \times 1,015 = 8756,83 \text{ грн.}$$

де  $N_i$  – кількість одиниць  $i$ -го обладнання, необхідного для реалізації ПВ (ПЕОМ, принтерів, плоттерів та ін.), шт .;

$C_i$  – ціна придбання одиниці  $i$ -го обладнання (балансова вартість), грн.;

$n$  – загальна кількість різних видів обладнання;

$k_1$  – коефіцієнт транспортно–заготівельних витрат, долі одиниць;

$k_2$  – коефіцієнт збільшення витрат на виробничо–господарський інвентар, долі одиниць.

Для реалізації заданого проекту був придбаний Ноутбук HP 250 G5 (W4N28EA)

[https://www.moyo.ua/noutbuk\\_hp\\_250\\_g5\\_w4n28ea/272177.html](https://www.moyo.ua/noutbuk_hp_250_g5_w4n28ea/272177.html)

$K_1 = 7943$  грн

Мишка A4Tech Bloody V7M

[https://www.foxtrot.com.ua/ru/shop/kompyuternue\\_myshy\\_a4tech\\_bloody\\_v7m.html?adgroup=77209194923&keyword=&utm\\_source=google&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=1\\_regular\\_Srch\\_Fox\\_DSA\\_feed\\_custom\\_label&gclid=Cj0KCQjwy6T1BRDXARIsAlqCTXpl8wAb-wYfltojOpWQYhwzCeudgg8CwiriD3K1V5cv9lci7jNrVyUaAhP6EALw\\_wcB](https://www.foxtrot.com.ua/ru/shop/kompyuternue_myshy_a4tech_bloody_v7m.html?adgroup=77209194923&keyword=&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=1_regular_Srch_Fox_DSA_feed_custom_label&gclid=Cj0KCQjwy6T1BRDXARIsAlqCTXpl8wAb-wYfltojOpWQYhwzCeudgg8CwiriD3K1V5cv9lci7jNrVyUaAhP6EALw_wcB)

$K_1 = 599$  грн.

Витрати на ліцензійні програмні продукти –  $K_2$ .

Витрати на ліцензійні програмні продукти  $K_2$  визначають за даними підприємства або з прайс-листів.

Було придбане наступне офіційне програмне забезпечення :

1. ОС: Windows 10 Pro (Ціна: 950 грн.)

Посилання: [https://global-soft.com.ua/?gclid=Cj0KCQjwy6T1BRDXARIsAlqCTXrm9exdTG0raGFY662jyks3P6DPDBVpsjswtchjRsBNJMRmrCoOHSAaAq61EALw\\_wcB](https://global-soft.com.ua/?gclid=Cj0KCQjwy6T1BRDXARIsAlqCTXrm9exdTG0raGFY662jyks3P6DPDBVpsjswtchjRsBNJMRmrCoOHSAaAq61EALw_wcB)

2. Середовище розробки: Microsoft Visual Studio 2019 (Community) (Ціна: безкоштовно)

Посилання: <https://visualstudio.microsoft.com/ru/downloads/>

3. Допоміжне ПО: MS Office 365 для бізнесу (Ціна: 1635 грн./рік)

Посилання: [https://softonline.com.ua/catalog/microsoft/microsoft-office-365-business/?gclid=Cj0KCQjwy6T1BRDXARIsAlqCTXravYB0hb77G4kc5qFyGb5Py3g7N3c85OmOusxEIk5VnS2RCWUDUuMaAqP1EALw\\_wcB](https://softonline.com.ua/catalog/microsoft/microsoft-office-365-business/?gclid=Cj0KCQjwy6T1BRDXARIsAlqCTXravYB0hb77G4kc5qFyGb5Py3g7N3c85OmOusxEIk5VnS2RCWUDUuMaAqP1EALw_wcB)

$$K_2 = 950 + 1635 = 2585 \text{ грн}$$

$$K_2 = 2585 \text{ грн.}$$

Розрахунок витрат на створення ПВ –  $K_5$ .

$$K_3 = B_1 + B_2 + B_3 \quad (5.3)$$

$$K_3 = 38137,93 + 1230,6 + 27534,18 = 66902,71 \text{ грн.}$$

де  $B_1$  – витрати праці програмістів-розробників, грн .;

$B_2$  – витрати комп'ютерного часу, грн .;

$V_3$  – непрямі (накладні) витрати, грн.

1 Витрати праці програмістів–розробників –  $V_1$ .

$$Z_1 = \sum_{k=1}^K P_k \times ZП_{год}^{розр\ k} \times T_k \times K_{зп} \quad (5.4)$$

$$V_1 = 1 \cdot 74,43 \cdot 420 \cdot 1,22 = 38137,93 \text{ грн.}$$

де  $P_k$  – кількість розробників  $k$ -ї професії, осіб;

$ZП_{год}^{розр\ k}$  – погодинна зарплата розробника  $k$ -ї професії, грн.;

$T_k$  – трудомісткість розробки для  $k$ -го розробника (кількість витраченого розробником часу), годин.

$K_{зп}$  – коефіцієнт відрахувань на фонд заробітної плати, долі одиниць;

Погодинна зарплата розробника визначається за формулою:

$$ZП_{год}^{розр} = \frac{ZП_{міс}^{розр}}{F_{міс}} \quad (5.5)$$

$$ZП_{год}^{розр} = 13100/176 = 74,43 \text{ грн.}$$

де  $ZП_{міс}^{розр}$  – місячна зарплата  $k$ -го розробника, грн.;

$F_{міс}$  – місячний фонд часу його роботи, годин.

Трудомісткість розробки включає час виконання робіт, представлених в табл. 5.1.

Розрахунок трудомісткості розробки для кожного розробника

здійснюється за формулою:

$$T_k = t_{1k} + t_{2k} + t_{3k} + t_{4k} + t_{5k} \quad (5.6)$$

де  $t_{1k}$ ,  $t_{2k}$ ,  $t_{3k}$ ,  $t_{4k}$ ,  $t_{5k}$  – час, витрачений на кожному етапі розробки  $k$ -м розробником, годин.

Таблиця 5.1 – Час виконання робіт

Етапи робіт	Зміст робіт
1 Технічне завдання	Коротка характеристика програми; основу і призначення розробки; вимоги до програми і програмної документації; стадії і етапи розробки програми; порядок контролю та приймання виконання.
2 Ескізний проект	Попередня розробка структури вхідних та вихідних даних; уточнення методу розв'язання задачі; Розробка та опис загального алгоритму рішення; розробка техніко-економічного обґрунтування та пояснювальної записки.
3 Технічний проект	Уточнення структури вхідних та вихідних даних, визначення форми їх подання; розробка детального алгоритму; визначення семантики і синтаксису мови; розробка структури програми; остаточне визначення конфігурації технічних засобів; розробка заходів по впровадженню програми.
4 Робочій проект	Опис програми на обраною мовою; налагодження; розробка методики випробувань; проведення попередніх випробувань (тестування); коригування програми; розробка програмної документації.
5 Впровадження	Підготовка і передача програми для супроводу; навчання персоналу використанню програми; внесення коригувань до програми і документацію.
РАЗОМ	420

2 Витрати комп'ютерного часу –  $B_2$ .

$$B_2 = C_k \times T_{np} \quad (5.7)$$

$$B_2 = 2,93 \times 420 = 1230,6 \text{ грн.}$$

де  $C_k$  – собівартість комп'ютерного часу, грн.;

$T_{np}$  – витрати комп'ютерного часу на розробку програми, годин.

Собівартість комп'ютерної години обчислюється за формулою:

$$C_k = B_A + B_E + B_{TO} \quad (5.8)$$

$$C_{k/ч} = 1,55 + 1,16 + 0,22 = 2,93 \text{ грн.}$$

де  $B_A$  – амортизаційні відрахування, грн.;

$B_E$  – енерговитрати, грн.;

$B_{TO}$  – витрати на технічне обслуговування, грн.

Вартість амортизаційних відрахувань визначимо наступним чином:

$$B_A = \frac{\sum_{i=1}^n K1_i \times Na}{F \text{ річн}_i} \quad (5.9)$$

$$B_a = (8756,83 \times 0,36904) / 2080 = 1,55 \text{ грн.}$$

де  $K1_i$  – балансова вартість  $i$ -го обладнання, яке використовується для створення ПВ (ПК, принтера и т.п.), грн.;

$Na$  – річна норма амортизації  $i$ -го обладнання, долі;

$$Na = 1 - T_{\text{експл}} \sqrt[5]{\frac{OZ_{\text{лікв}}}{K1_i}} \quad (5.10)$$

$$Na = 1 - (875,683/8756,83)^{(1/5)} = 0,36904$$

де  $OZ_{\text{лікв}}$  – ліквідаційна вартість обладнання (приймаємо 10% від первісної вартості);

$$OZ_{\text{лікв}} = 8756,83 * 0,1 = 875,683 \text{ грн.}$$

$T_{\text{експл}}$  – корисний термін експлуатації (приймаємо 5 років);

$F_{\text{річн}_i}$  – річний фонд часу роботи  $i$ -го обладнання, год.

$$Be = Ce \times B_{\text{кВт}} \quad (5.11)$$

$$Be = 0,5 * 231,69 / 100 = 1,16 \text{ грн.}$$

де  $Ce$  – електроенергія, яка споживається комп'ютером, год;

$B_{\text{кВт}}$  – вартість 1 кВт/ч електроенергії, грн.;

$$B_{\text{ТО}} = 3\Pi_{\text{год}}^{\text{обсл}} \times \lambda \quad (5.12)$$

$$B_{\text{ТО}} = 0,0057 * 38,07 = 0,22 \text{ грн.}$$

де  $3\Pi_{\text{год}}^{\text{обсл}}$  – годинна зарплата робітника, що обслуговує обладнання, грн.;

Годинна зарплата робітника, що обслуговує обладнання, визначається за формулою:

$$ЗП_{год}^{обсл} = \frac{ЗП_{міс}^{обсл}}{F_{міс}} \quad (5.13)$$

$$ЗП_{обсл\ годинна} = 6700/176 = 38,07 \text{ грн/годину.}$$

де  $ЗП_{міс}^{обсл}$  – місячна зарплата k-го розробника, грн.;

$F_{міс}$  – місячний фонд часу його роботи, годин.

$\lambda$  – періодичність обслуговування.

$$\lambda = \frac{N_{то}}{F_{міс}^{об}} \quad (5.14)$$

$$I = 1/176 = 0,0057$$

де  $N_{то}$  – кількість обслуговувань обладнань за місяць;

$F_{міс}^{об}$  – місячний фонд часу роботи обладнання, годин.

3 Непрямі витрати  $B_3$  визначаються за формулою:

$$B_3 = OZ_{год} + OZ_1 + OZ_2, \quad (5.15)$$

$$B_3 = 24000 + 2400 + 1134,18 = 27534,18 \text{ грн.}$$

де  $OZ_{год}$  – вартість приміщення, приймається вартість оренди на період написання ПВ, грн;

$OZ_1$  – витрати на утримання приміщень (на освітлення опалення, охорону і прибирання), грн. Складають 5–15% від вартості приміщень);

$OZ_2$  – інші витрати, грн. Складають 10% від вартості капіталовкладень в обладнання та програмне забезпечення.

Для визначення вартості приміщення скористаємося наступною формулою:

$$OZ_{\text{буд}} = S \times B_{\text{м}^2} \times t \quad (5.16)$$

$$OZ_{\text{буд}} = 20 \times 400 = 8000 \text{ грн.}$$

$$\text{кількість місяців розробки проекту} = 420/8/22 = 3 \text{ місяців}$$

$$\text{Вартість оренди} = 8000 \times 3 = 24000 \text{ грн.}$$

де  $S$  – площа будівлі, приміщення,  $\text{м}^2$ ;

$B_{\text{м}^2}$  – вартість  $1 \text{ м}^2$ , грн;

$t$  – тривалість оренди (кількість місяців).

Витрати на утримання приміщень,  $OZ_1$ , складуть:

$$OZ_1 = 8000 \times 0,1 \times 3 = 2400 \text{ грн.}$$

Витрати на утримання приміщень,  $OZ_2$ , складуть:

$$KB_{\text{до}} = 8756,83 + 2585 = 11341,83 \text{ грн.}$$

$$OZ_2 = 11341,83 \times 0,1 = 1134,18 \text{ грн.}$$

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі виконано комплексне дослідження моделей, методів та інформаційних технологій автоматизації процесу обробки промислових даних про роботу технологічного обладнання на прикладі багатороликових листопривільних машин металургійного виробництва. Актуальність дослідження зумовлена зростанням вимог до якості листового прокату, енергоефективності виробничих процесів та необхідністю впровадження цифрових рішень у межах концепції Industry 4.0 на підприємствах Групи «Метінвест».

У першому розділі роботи проведено детальний аналіз предметної області автоматизованої обробки промислових даних про роботу листопривільних машин. Встановлено, що процес правки листового прокату є складним з точки зору фізики деформації металу та характеризується великою кількістю взаємопов'язаних технологічних, енергосилових і кінематичних параметрів. Показано, що сучасні автоматизовані системи керування та діагностики забезпечують накопичення значних обсягів промислових даних у вигляді часових рядів, однак на практиці їх потенціал використовується лише частково. Основною проблемою є відсутність спеціалізованих програмно-методичних рішень, орієнтованих на автоматичну часову сегментацію сигналів та формування структурованих масивів параметрів процесу правки.

У другому розділі обґрунтовано вибір методів теоретичних та експериментальних досліджень і розроблено математичну модель процесу автоматизованої обробки промислових даних про роботу листопривільної машини. На відміну від класичних підходів, що зосереджені виключно на фізичному моделюванні деформації

металу, у роботі запропоновано підхід, який поєднує елементи фізичного опису процесу правки з формалізацією процедур перетворення первинних вимірюваних сигналів у узагальнені показники. Розроблена модель дозволяє переходити від аналізу окремих сигналів до системної оцінки режимів роботи обладнання на основі фактичних виробничих даних.

У третьому розділі розроблено програмний комплекс автоматизованої обробки промислових даних про роботу листопробних машин. Визначено його призначення, функціональні можливості та загальну архітектуру. Програмний комплекс забезпечує автоматичну обробку файлів вимірювань, сформованих у програмному середовищі IBA Analyzer, виконує часову сегментацію сигналів, формує узагальнені параметри процесу правки для окремих листів або партій прокату та забезпечує їх статистичну обробку. Розроблені UML-діаграми підтверджують логічну цілісність і масштабованість програмного рішення, а також можливість його подальшого розширення.

У четвертому розділі наведено результати теоретичних та експериментальних досліджень розробленого програмного комплексу. Дослідження виконано на основі реальних промислових даних, отриманих у виробничих умовах. Показано, що використання автоматизованої часової сегментації та узагальнення параметрів дозволяє підвищити інформативність аналізу роботи листопробної машини, виявляти нестабільні режими правки та оцінювати вплив налаштувань обладнання на енергосилові показники і якість продукції. Отримані результати підтверджують коректність запропонованих моделей і ефективність програмного комплексу.

Окрему увагу в роботі приділено економічній оцінці результатів впровадження розробленого програмного забезпечення. У п'ятому розділі виконано економічні розрахунки, які показали, що

використання автоматизованої системи обробки промислових даних дозволяє знизити витрати на енергоресурси за рахунок оптимізації режимів роботи обладнання, зменшити кількість браку та підвищити стабільність якості листового прокату. Крім того, автоматизація аналізу даних скорочує трудові витрати технологічного персоналу та зменшує час прийняття управлінських рішень. Сукупний економічний ефект від впровадження розробленої системи підтверджує доцільність її використання у виробничих умовах та свідчить про перспективність масштабування рішення на інші агрегати й підприємства.

У цілому результати виконаної кваліфікаційної роботи свідчать про досягнення поставленої мети та вирішення основних завдань дослідження. Запропоновані моделі, методи та програмний комплекс створюють науково-практичну основу для подальшого розвитку систем автоматизованої обробки промислових даних та впровадження інтелектуальних методів оптимізації технологічних процесів. Практична цінність роботи полягає у можливості безпосереднього використання отриманих результатів у виробничій діяльності металургійних підприємств, що сприяє підвищенню ефективності, енергоощадності та конкурентоспроможності виробництва.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кузьмін О. Є. Металургійне обладнання прокатних станів. Київ, Техніка, 2018. 412 с.
2. Грудзевич Ю. І., Шаповалов В. М. Технологія виробництва листового прокату. Дніпро, Ліра, 2019. 356 с.
3. Ginzburg V. B. Flat Rolling Fundamentals. New York, Marcel Dekker, 2000. 582 p.
4. Lenard J. G. Metal Forming Science and Practice. Amsterdam, Elsevier, 2002. 369 p.
5. IBA AG. IBA Analyzer. Data Acquisition and Analysis System. User Manual. Herzogenaurach, 2021. 214 p.
6. Montgomery D. C. Introduction to Statistical Quality Control. New York, Wiley, 2013. 754 p.
7. Johnson W., Mellor P. B. Engineering Plasticity. London, Van Nostrand Reinhold, 1983. 448 p.
8. Zienkiewicz O. C., Taylor R. L. The Finite Element Method. Oxford, Butterworth Heinemann, 2005. 752 p.
9. Kagermann H., Wahlster W., Helbig J. Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0. Frankfurt, Acatech, 2013. 82 p.
10. Lee J., Bagheri B., Kao H. A. A cyber physical systems architecture for Industry 4.0 based manufacturing systems. Manufacturing Letters, 2015, volume 3, pages 18–23.
11. Schroeder G. N., Steinmetz C., Pereira C. E., Espindola D. B. Digital twin data modeling with automation ML and IoT. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2016, volume 12, issue 1, pages 240–251.
12. Box G. E. P., Jenkins G. M., Reinsel G. C. Time Series Analysis. Forecasting and Control. Hoboken, Wiley, 2015. 712 p.
13. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. Cambridge, MIT Press, 2016. 775 p.
14. Altintas Y. Manufacturing Automation. Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibrations and CNC Design. Cambridge, Cambridge University Press, 2012. 366 p.

15. Totten G. E., Howes M. A. H., Inoue T. Handbook of Residual Stress and Deformation of Steel. Materials Park, ASM International, 2002. 499 p.
16. Kalpakjian S., Schmid S. Manufacturing Engineering and Technology. Boston, Pearson Education, 2014. 1152 p.
17. Qin S. J. Statistical process monitoring. Basics and beyond. Journal of Chemometrics, 2003, volume 17, issue 8–9, pages 480–502.
18. Zhang Y., Tao F., Liu Y., Kusiak A. Data driven smart manufacturing. Journal of Manufacturing Systems, 2017, volume 48, pages 146–156.
19. Siemens AG. Totally Integrated Automation in the Metals Industry. Automation Concepts and Applications. Munich, Siemens AG, 2019. 128 p.
20. Бойко В. С., Кузьмін О. Є., Кравченко В. М. Прокатне виробництво. Теорія і практика. Київ, Техніка, 2016. 528 с.
21. Кузьмін О. Є., Грудзевич Ю. І. Обладнання листопрокатних станів. Київ, НТУУ «КПІ», 2014. 402 с.
22. Грудзевич Ю. І. Теоретичні основи процесів правки листового прокату. Дніпро, Літограф, 2017. 286 с.
23. Шаповалов В. М., Крамаренко Ю. М. Автоматизація металургійних процесів. Дніпро, НМетАУ, 2015. 318 с.
24. Бондаренко О. Г., Сидоренко О. П. Інформаційні системи та технології в металургії. Запоріжжя, ЗДІА, 2018. 264 с.
25. Пилипенко С. М., Литвиненко В. А. Системи збору та аналізу промислових даних у металургійному виробництві. Харків, ХНУРЕ, 2020. 241 с.
26. Буч Г., Рамбо Дж., Джекобсон А. Мова UML. Керівництво користувача. Бостон, Addison Wesley, 2005. 512 с.
27. Росс Д. Т. Структурний аналіз та проєктування систем SADT. Нью-Йорк, McGraw Hill, 1985. 401 с.
28. Marca D. A., McGowan C. L. IDEF0 and SADT. Business Process Modeling. New York, McGraw Hill, 1988. 336 p.

ДОДАТОК А  
ГЛОСАРІЙ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

№	Термін	Визначення
1	Листоправильна машина (ЛПМ)	Машина металургійного виробництва, призначена для виправлення дефекту кривизни прокатоного листа
2	Налаштування листоправильної машини	Визначення перекриття робочих роликів листоправильної машини
3	Перекриття робочих роликів	Відстань між роликами правильної машини у вертикальній площині
4	Ролик робочий	Інструмент, що здійснює правку листового прокату
5	Крок роликів	Відстань між роликами правильної машини в горизонтальній площині
6	Гідроциліндр натискний	Гідроциліндр, що переміщує верхню траверсу і сприймає сумарну силу правки (як правило, їх чотири)
7	Гідроциліндр налаштування робочих роликів	Гідроциліндр, що переміщує, як правило, клиновий механізм для переміщення робочого ролика у вертикальному напрямку
8	Траверса	Конструктивний елемент правильної машини, в якому розміщена касета робочих і опорних роликів і який має можливість вертикального переміщення
9	Касета	Конструктивний елемент, в якому розміщені робочі і опорні ролики
10	Кривизна листів	Величина, що показує величину відхилення листа від планшетної форми (розмірність може бути різною-м, 1 / м, мм / м, Пірсон і т. п.)
11	Якість правки	Відповідність кінцевої кривизни листа після правки стандартам на листовий прокат

№	Термін	Визначення
12	Сила правки	Сила, що діє на робочий ролик при правці листів
13	Момент правки	Момент, необхідний для здійснення правки листів
14	Промислові дані	Дані, що формуються в процесі роботи промислового обладнання та характеризують технологічні, енергетичні та часові параметри
15	Часовий ряд	Послідовність значень параметра, зафіксованих у часі з певною частотою дискретизації
16	Часова сегментація	Процес автоматичного виділення інтервалів часу, що відповідають окремим технологічним подіям
17	Енергосилові параметри	Сукупність параметрів, що характеризують силові та енергетичні навантаження обладнання
18	SCADA система	Система диспетчерського управління та збору даних
19	Програмний комплекс	Сукупність програмних і алгоритмічних засобів для аналізу предметної області
20	Статистична агрегація	Процес узагальнення набору даних шляхом розрахунку статистичних показників
21	Індустрія 4.0	Концепція цифрової трансформації промислового виробництва
22	IBA (Industrial Business Applications)	Промислова система збору, реєстрації та аналізу технологічних даних, яка широко використовується на металургійних, енергетичних та машинобудівних підприємствах
23	IBA Analyzer	Спеціалізований програмний комплекс промислової діагностики та аналізу технологічних процесів, який використовується для збору, зберігання, візуалізації, аналізу часових рядів технологічних параметрів, що надходять із систем автоматичного керування обладнанням (PLC, SCADA)

## ДОДАТОК Б

### ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ НА СТВОРЕННЯ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ОБРОБКИ ПРОМИСЛОВИХ ДАНИХ ПРО РОБОТУ ЛИСТОПРАВИЛЬНОЇ МАШИНИ

#### 1 Загальні положення

Дане технічне завдання визначає вимоги до розробки програмного комплексу автоматизованої обробки промислових даних про роботу багатороликової листоправильної машини, що експлуатується на металургійних підприємствах Групи Метінвест.

Програмний комплекс призначений для автоматизованого отримання, обробки, аналізу та узагальнення промислових даних, сформованих у процесі правки листового металопрокату, з метою підвищення ефективності аналізу роботи обладнання та підтримки прийняття технологічних рішень.

#### 2 Підстава для розробки

Підставою для розробки програмного комплексу є необхідність:

- автоматизації обробки великих масивів промислових даних, що формуються системами автоматичного керування листоправильними машинами;
- усунення ручних та напівавтоматичних операцій виділення корисних ділянок сигналів у часі;
- підвищення оперативності та достовірності аналізу параметрів процесу правки;
- створення умов для подальшого впровадження методів інтелектуального аналізу та оптимізації технологічних процесів.

### 3 Призначення та цілі розробки

#### 3.1 Призначення програмного комплексу

Програмний комплекс призначений для автоматизованої обробки промислових даних про роботу листоправильної машини, отриманих з програмного комплексу IBA Analyzer, з подальшим формуванням статистичних та аналітичних звітів.

#### 3.2 Цілі розробки

Основними цілями розробки є:

- автоматичне виділення параметрів процесу правки окремих листів;
- формування масивів енергосилових та технологічних параметрів;
- статистична обробка отриманих даних;
- формування зручних для технологічного персоналу звітів;
- зменшення часу аналізу роботи листоправильної машини.

### 4 Характеристика об'єкта автоматизації

Об'єктом автоматизації є процес обробки промислових даних, що формуються під час роботи багатороликової листоправильної машини, зокрема:

- положення та перекриття робочих роликів;
- тиск у гідравлічних циліндрах;
- сумарна сила правки;
- швидкість протягування листа;
- сигнали датчиків наявності металу;

- температурні параметри.

Дані формуються у вигляді часових рядів та зберігаються у файлах, експортованих з програмного комплексу IBA Analyzer.

## 5 Вимоги до функціональних можливостей

Програмний комплекс повинен забезпечувати виконання таких функцій:

- завантаження файлів з параметрами процесу правки у форматі TXT;
- автоматичне визначення часових інтервалів проходження листів через листоправильну машину;
- формування масивів параметрів для кожного окремого листа;
- розрахунок статистичних показників параметрів процесу правки;
- формування звітів за параметрами правки та партіями прокату;
- експорт результатів у файли табличного формату.

## 6 Вимоги до вхідних та вихідних даних

### 6.1 Вхідні дані

Вхідними даними програмного комплексу є:

- текстові файли з параметрами процесу правки, експортовані з IBA Analyzer;
- технологічні параметри листоправильної машини;
- інформація про сортамент листового прокату.

### 6.2 Вихідні дані

Вихідними даними програмного комплексу є:

- масиви параметрів процесу правки для окремих листів;
- статистичні показники роботи листоправильної машини;
- звіти у табличному форматі для подальшого аналізу.

## 7 Вимоги до програмного забезпечення

Програмний комплекс повинен:

- працювати у середовищі операційних систем сімейства Windows;

- забезпечувати стабільну роботу з великими обсягами даних;

- мати модульну архітектуру для можливості подальшого розширення;

- підтримувати повторне використання результатів обробки.

## 8 Вимоги до інтерфейсу користувача

Інтерфейс програмного комплексу повинен:

- бути інтуїтивно зрозумілим для технологічного персоналу;
- забезпечувати візуалізацію основних етапів обробки даних;
- підтримувати перегляд результатів статистичної обробки;
- забезпечувати зручний експорт результатів.

## 9 Вимоги до надійності та безпеки

Програмний комплекс повинен:

- забезпечувати збереження даних при збої роботи;
- коректно обробляти помилки введення;
- не порушувати роботу промислових систем керування.

## 10 Стадії та етапи розробки

Розробка програмного комплексу передбачає такі етапи:

- 1 Аналіз вимог та уточнення структури даних
- 2 Розробка логічної моделі обробки даних
- 3 Реалізація програмних модулів
- 4 Тестування та налагодження
- 5 Підготовка експлуатаційної документації

#### 11 Порядок контролю та приймання

Контроль якості програмного комплексу здійснюється шляхом перевірки:

- коректності обробки тестових наборів даних;
- відповідності функціональних можливостей вимогам технічного завдання;
- стабільності роботи з великими обсягами промислових даних.

## ДОДАТОК В

### ПЕРЕЛІК ТА ВІДБИТКИ НАУКОВИХ ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕННЯ



#### СЕКЦІЯ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ПРОЄКТНО-АНАЛІТИЧНИХ РІШЕНЬ

- 4 Соломатіна Н. Вимоги до експлуатації та паспортизації газоочисних установок. *Екологія підприємства*. 2025. № 10. С. 94–102. URL: <https://e.ecolog-ua.com/ekolohiya-pidpryemstva-2025-10/vumohy-do-ekspluatatsiyi-ta-pasportyzatsiyi-hazoochysnykh-ustanovok> (дата звернення: 22.11.2025).

#### РОЗРОБЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ОБРОБКИ ПРОМИСЛОВИХ ДАНИХ ЛИСТОПРАВИЛЬНИХ МАШИН

**Савенков Д. О.**

студент гр. КН-24-1м

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»  
м. Запоріжжя, Україна

**Гетьман І. А.**

к.т.н., доцент кафедри ЦПАР, науковий керівник

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»  
м. Запоріжжя, Україна

Металургійне виробництво висуває підвищені вимоги до точності геометричних параметрів листового прокату. Одним із визначальних етапів підготовки продукції є правка на багатороликівих листопривільних машинах (ЛПМ), де формується остаточна геометрія листа та усуваються дефекти кривизни. На підприємствах фіксація технологічних параметрів роботи ЛПМ здійснюється за допомогою програмного комплексу IBA Analyzer, який дозволяє накопичувати великі масиви сигналів, пов'язаних зі станом механізмів, гідросистеми та параметрами процесу правки. Проте обсяг даних, який може сягати 1 Гб за добу, суттєво ускладнює оперативну роботу технологів та інженерів, а їх аналіз у табличних процесорах стає нестабільним та малоефективним. Проте відсутність формалізованої моделі, орієнтованої саме на обробку цих даних, обмежує можливості їх прикладного використання у виробничому аналізі.