

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерних наук
(повна назва)


Кафедра Медіасистеми та технології
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)
(рівень вищої освіти)

Дослідження автоматизації поліграфічного виробництва за допомогою
цифрових систем управління
(тема)

Виконав:
здобувач 2 року навчання
групи КТСВПВм-24-1


Євгеній ГАРАЦУК
(власне ім'я, прізвище)


Спеціальність 186 Видавництво та поліграфія
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми Освітньо-професійна

Освітня програма

Комп'ютерні технології та системи

видавничо-поліграфічних виробництв

Керівник  проф. Олександр ГРИГОР'ЄВ
(посада, власне ім'я, прізвище)

Допускається до захисту
Завідувач кафедри МСТ

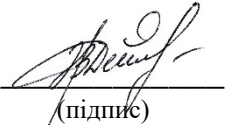

(підпис) Жанна ДЕЙНЕКО
(власне ім'я, прізвище)

2025 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ Комп'ютерних наук _____
Кафедра _____ Медіасистеми та технології _____
Рівень вищої освіти _____ другий (магістерський) _____
Спеціальність _____ 186 Видавництво та поліграфія _____
Тип програми _____ Освітньо-професійна _____
Освітня програма _____ Комп'ютерні технології _____
та системи видавничо-поліграфічних виробництв _____
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Зав. кафедри МСТ _____



(підпис)

« 03 » листопада 2025 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

здобувачеві _____ *Гаращук Євгенію Вікторовичу* _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____ *Дослідження автоматизації поліграфічного виробництва* _____
_____ *за допомогою цифрових систем управління* _____

Затверджена наказом по університету від _____ *03 листопада 2025 р. № 988 Ст* _____



2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії _____ *15 грудня 2025 р.* _____

3. Вихідні дані до роботи
сучасні принципи побудови цифрових виробничих систем у поліграфії (JDF/JMF-стандарти, концепції наскрізних цифрових технологічних ланцюгів); функціональні та технологічні критерії оцінювання ефективності автоматизації поліграфічних процесів; методи дослідження цифрових систем управління: моделювання виробничих процесів (BPMN), порівняльний аналіз, метод комплексної вагової оцінки, експериментальні вимірювання часових характеристик.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі
Вступ; 1 аналіз проблеми та постановка задачі дослідження; 2 аналітичний огляд літератури та цифрових систем управління; 3 постановка задачі дослідження; 4 основні етапи проведення експерименту; 5 Проведення експерименту; 6 розробка рекомендацій на базі даних проведеного дослідження; 7 економічна частина; Висновки; Перелік джерел посилань.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п. 5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри)
схеми та діаграми, цифрових систем автоматизації (W2P/MIS/DFE); BPMN-діаграми трьох моделей виробничого процесу; діаграми Ганта для порівняння часових характеристик трьох сценаріїв; блок-схеми рекомендацій з автоматизації та впровадження цифрових систем управління; Економічна частина; Висновки.

6. Консультанти розділів роботи (п. 6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п. 1)


Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата
Основна частина	проф. Григор'єв О.В.		12.12.2025
Економічна частина	доц. Потій О.О.		12.12.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз завдання на кваліфікаційну роботу	01.10.2025	виконано
2	Аналіз літератури за темою дослідження	05.10.2025	виконано
3	Аналіз аналогів	08.10.2025	виконано
4	Розробка організаційної схеми та навігації	12.10.2025	виконано
5	Розробка елементів графічного дизайну	20.10.2025	виконано
6	Розробка та наповнення мультимедійного комплексу	27.10.2025	виконано
7	Тестування та попереднє оцінювання мультимедійного комплексу	02.11.2025	виконано
8	Експериментальні дослідження. Висновки та рекомендації.	15.11.2025	виконано
9	Внесення змін до комплексу за результатами дослідження	20.11.2025	виконано
10	Економічна частина	01.12.2025	виконано
11	Оформлення пояснювальної записки	04.12.2025	виконано
12	Оформлення графічної частини	09.12.2025	виконано
13	Подання кваліфікаційної роботи в ЕК	12.12.2025	виконано

Дата видачі завдання 03 листопада 2025 р.

Здобувач


(підпис)

Керівник роботи


(підпис)

проф. Олександр ГРИГОР'ЄВ
(посада, власне ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить 74 стор., 8 рис., 11 табл., 16 джерел.

АВТОМАТИЗАЦІЯ, ПОЛІГРАФІЧНЕ ВИРОБНИЦТВО, ЦИФРОВІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ, WEB-TO-PRINT, MIS/ERP, DFE/RIP.

Сучасна поліграфія переходить від ручних операцій до цифрових систем, які забезпечують швидший виробничий цикл, стабільну якість і менший ризик помилок. Попри це, багато підприємств застосовують лише фрагментарну автоматизацію, що стримує ефективність роботи.

Мета дослідження – підвищення ефективності та якості роботи поліграфічного виробництва шляхом впровадження комплексної автоматизації на поліграфічному підприємстві.

Об'єкт дослідження – виробничий процес поліграфічного підприємства.

Предмет дослідження – методи, засоби та моделі цифрового управління поліграфічними процесами, що забезпечують підвищення швидкості, точності та стабільності виробництва, а також взаємодія між окремими елементами автоматизованої системи в єдиному інформаційному середовищі.

У роботі проаналізовано сучасні цифрові рішення, змодельовано три сценарії виробництва (ручний, частковий W2P, повна інтеграція), а також виконано кількісне порівняння основних операцій. Показано, що повна цифрова інтеграція суттєво скорочує час виконання робіт, підвищує стабільність друку та покращує керованість виробництва.

Результати можуть бути використані підприємствами для практичного впровадження цифрових систем та підвищення конкурентоспроможності на ринку.

ABSTRACT

The explanatory note contains 74 p., 8 fig., 11 tabl., 16 sources.

AUTOMATION, PRINTING PRODUCTION, DIGITAL MANAGEMENT SYSTEMS, WEB-TO-PRINT, MIS/ERP, DFE/RIP.

Modern printing is shifting from manual workflows to integrated digital systems that increase production speed, improve stability, and reduce errors. However, many companies still rely on partially automated processes, limiting overall efficiency.

The purpose of the study is to increase the efficiency and quality of printing production by implementing comprehensive automation at a printing enterprise.

The object of the research is the production workflow of a printing enterprise.

The subject of the research is methods, tools and models of digital control of printing processes, which ensure increased speed, accuracy and stability of production, as well as interaction between individual elements of an automated system in a single information environment.

The study reviews modern automation tools, models three production scenarios (manual, partial W2P, full integration), and provides a quantitative comparison of key operations. Full digital integration is shown to significantly reduce lead time, improve print stability, and enhance production control.

The results can be applied by printing companies to implement digital automation and improve competitiveness.

ЗМІСТ

	С.
ВСТУП	8
1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ	10
1.1 Актуальність автоматизації поліграфічного виробництва	10
1.2 Стан цифровізації поліграфічних підприємств в Україні та світі.....	11
1.3 Проблеми традиційної організації виробничих процесів	13
1.4 Мета та задачі дослідження	14
2 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА ЦИФРОВИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ	16
2.1 Огляд літератури з питань автоматизації поліграфічного виробництва	16
2.2 Огляд web-to-print систем та їх роль у цифровому виробничому циклі	18
2.3 Системи управління поліграфією MIS/ERP (Prinect, EFI Pace, PrintVis)	20
2.4 DFE/RIP системи як ядро автоматизованого препресу.....	22
2.5 Print-on-Demand як модель повної автоматизації.....	24
2.6 Висновки аналітичного огляду та визначення напрямів дослідження..	26
3 ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	30
3.1 Обґрунтування доцільності дослідження та визначення ключових завдань	30
3.2 Визначення критеріїв для оцінювання.....	30
3.3 Визначення альтернативних систем для порівняння	31
3.4 Визначення основної гіпотези дослідження.....	32
4 ОСНОВНІ ЕТАПИ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ	35
4.1 Методи збору інформації та аналізу виробничих процесів.....	35
4.2 Моделювання виробничих операцій у трьох сценаріях автоматизації .	36
4.3 Визначення основних завдань експерименту	43
5 ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ	45
5.1 Аналіз базового (ручного) виробничого процесу поліграфічного підприємства.....	45

5.2 Аналіз виробничого процесу за умов часткової автоматизації (Web-to-Print)	48
5.3 Аналіз виробничого процесу за умов повної цифрової інтеграції (W2P + MIS/ERP + DFE/RIP)	50
5.4 Метод комплексної вагової оцінки	54
5.5 Розрахунок інтегрального показника ефективності цифрових систем автоматизації.....	56
6 РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ НА БАЗІ ДАНИХ ПРОВЕДЕННОГО ДОСЛІДЖЕННЯ	58
7 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	62
7.1 Характеристика науково-дослідної роботи.....	62
7.2 Етапи виконання НДР, їх трудомісткість та заробітна плата.....	63
7.3 Розрахунок кошторисної вартості НДР	65
7.4 Оцінка результатів НДР	67
7.5 Визначення економічної ефективності результатів НДР	68
7.6 Висновки до економічної частини	69
ВИСНОВКИ.....	71
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	73

ВСТУП

Сучасне поліграфічне виробництво знаходиться у фазі глибокої цифрової трансформації, що охоплює всі етапи створення друкованої продукції – від отримання замовлення до логістики готових виробів. Конкурентний ринок, необхідність швидкого виконання замовлень, зростання потреб у персоналізації та гарантованій якості друку змушують поліграфічні підприємства переходити від традиційних, фрагментованих і переважно ручних процесів до інтегрованих цифрових систем управління.

Ключовими драйверами таких змін є розвиток Web-to-Print платформ, систем управління виробництвом MIS/ERP, цифрових препрес-систем DFE/RIP, а також стрімке впровадження стандартів JDF/JMF, що забезпечують єдиний інформаційний простір виробничого циклу. Завдяки цьому підприємства отримують можливість автоматизувати операції, які раніше виконувалися вручну: приймання замовлень, перевірку макетів, планування виробництва, налаштування обладнання, контроль якості та архівування даних.

Попри очевидні переваги автоматизації, ступінь її впровадження у поліграфічній галузі України залишається нерівномірним. Частина підприємств досі працює у «ручних» моделях, де значна кількість операцій залежить від людського фактора, що збільшує ризики, подовжує lead-time та знижує стабільність якості. Інші компанії впроваджують окремі цифрові модулі, проте не формують єдиної інтегрованої системи. Тому постає потреба у системному дослідженні рівнів автоматизації, визначенні їхніх переваг і недоліків, а також у кількісній оцінці ефективності цифрових рішень.

Актуальність роботи полягає у необхідності науково обґрунтованого підходу до вибору та інтеграції цифрових систем управління поліграфічним виробництвом. Особливу важливість мають питання оптимізації виробничих процесів, скорочення часу виконання замовлень, підвищення якості друку, зниження ризику операційних помилок і забезпечення прозорості управління на основі даних.

Метою роботи є дослідження впливу різних моделей автоматизації на ефективність поліграфічного виробництва та розробка рекомендацій щодо впровадження інтегрованих цифрових систем управління.

Для досягнення мети проаналізовано стан цифровізації у поліграфії, виконано огляд сучасних інструментів автоматизації, сформовано критерії оцінювання ефективності, змодельовано три виробничі сценарії (ручний, частково автоматизований і повністю інтегрований), проведено експериментальні вимірювання тривалості операцій та виконано порівняльний аналіз їх результатів.

Практична цінність роботи полягає у можливості застосування отриманих висновків для модернізації поліграфічних підприємств, оптимізації їхніх процесів та зниження витрат за рахунок впровадження Web-to-Print, MIS/ERP та DFE/RIP-систем.

1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Актуальність автоматизації поліграфічного виробництва

Сучасна поліграфічна галузь переживає активний етап цифрової трансформації, що зумовлено зростанням вимог до швидкості виконання замовлень, стабільності якості та економічної ефективності виробничих процесів. Багато підприємств продовжують використовувати традиційні технологічні схеми, які включають значну кількість ручних операцій, що призводить до збільшення тривалості виробничого циклу, підвищення ймовірності помилок та нераціональних витрат ресурсів. Як зазначено у фундаментальних дослідженнях з організації поліграфічних процесів і стандартів виробництва, відсутність автоматизації є одним із ключових факторів зниження конкурентоспроможності друкарень [1, 2].

Глобальний ринок поліграфічних послуг демонструє сталу тенденцію до переходу на цифрові технології, зокрема web-to-print платформи, MIS/ERP-системи та DFE/RIP-комплекси, які забезпечують інтеграцію всіх етапів виробництва в єдиний цифровий ланцюг. Такі рішення дозволяють автоматизувати прийом замовлень, калькуляцію, планування, препрес, друк, контроль якості та логістику. Наукові праці та практичні дослідження свідчать, що впровадження систем автоматизованого управління поліграфічним виробництвом сприяє значному підвищенню ефективності роботи підприємств та зменшенню впливу людського фактора [3, 4].

Важливою складовою актуальності є й питання управління якістю. Сучасні роботи, присвячені метрологічному забезпеченню, відтворенню кольору та контролю технологічних параметрів, підкреслюють, що стабільність процесу друку напряму залежить від рівня цифровізації та автоматизації препрес- і друкарського циклу [5-11]. В умовах сучасного ринку поліграфічні послуги висувають усе більш жорсткі вимоги щодо точності,

повторюваності та відповідності стандартам ISO, що робить традиційні методи управління технологічно застарілими.

Окремої уваги заслуговують нові дослідження, що стосуються використання штучного інтелекту та адаптивних цифрових систем у видавничій і поліграфічній справі. Вони демонструють суттєве розширення можливостей автоматизації – від оптимізації препрес-операцій до аналізу виробничих показників і прогнозування навантаження на обладнання [12-14].

Отже, актуальність дослідження полягає у необхідності комплексного аналізу цифрових систем управління поліграфічним виробництвом, оцінювання їх ефективності та визначення можливостей інтеграції таких рішень у реальні виробничі середовища. Своєчасне впровадження автоматизації дозволяє підприємствам підвищити продуктивність, забезпечити контроль якості, оптимізувати витрати та зміцнити конкурентні позиції на ринку поліграфічних послуг.

1.2 Стан цифровізації поліграфічних підприємств в Україні та світі

Розвиток поліграфічної галузі у світі характеризується активним впровадженням цифрових технологій, які дозволяють значно скоротити час виробничих операцій, підвищити стабільність якості та зменшити обсяг ручної праці. На основі міжнародних досліджень і галузевих аналітичних оглядів встановлено, що більшість конкурентоспроможних поліграфічних підприємств переходять до використання комплексних автоматизованих систем управління виробництвом, таких як web-to-print платформи, MIS/ERP-системи та DFE/RIP-рішення [1, 3]. Ці технології забезпечують інтеграцію інформаційних і виробничих потоків, що дає змогу досягати високої ефективності навіть за умов зростання вимог клієнтів до швидкості й персоналізації друкованої продукції.

У світовій практиці автоматизація поліграфічного виробництва розглядається як ключовий чинник модернізації галузі, про що свідчать праці,

присвячені питанням управління якістю, стандартизації та організації виробничих процесів [2, 5-9]. Впровадження MIS/ERP-систем дозволяє забезпечити повний контроль над виробничим циклом – від моменту отримання замовлення до відвантаження готової продукції. DFE/RIP-комплекси відіграють важливу роль у забезпеченні точності кольоровідтворення, автоматичної обробки макетів та передачі параметрів друку на обладнання, що підтверджено численними дослідженнями у сфері метрологічного забезпечення та кольорокорекції [6, 7, 10].

Ситуація в Україні має свої особливості. Більшість поліграфічних підприємств працюють у змішаному режимі: окремі процеси автоматизовано, але значна частина операцій виконується вручну, що спричиняє затримки, дублювання дій та нерівномірність завантаження обладнання. Як зазначають українські дослідники, завдяки впровадженню цифрових систем управління підприємства можуть суттєво оптимізувати свої витрати та підвищити якість виготовлення продукції [4, 15, 16]. У роботах також наголошується, що автоматизація дає змогу підвищити точність виконання замовлень і забезпечити відповідність міжнародним поліграфічним стандартам.

Окремо варто відзначити збільшення інтересу до використання технологій штучного інтелекту, які дозволяють автоматизувати аналіз макетів, оптимізувати препрес-процеси, прогнозувати навантаження обладнання та оцінювати якість друкованої продукції [12, 13]. Це відкриває нові можливості для цифрової трансформації галузі, зокрема у напрямі повністю автоматизованих моделей друку на вимогу (Print-on-Demand), які стають все більш популярними в Європі та США.

Таким чином, стан цифровізації поліграфічних підприємств характеризується не лише впровадженням окремих цифрових рішень, але й поступовим переходом до комплексних систем автоматизованого управління. Цей процес є особливо актуальним для українських підприємств, які прагнуть підвищити продуктивність, стабільність якості та конкурентоспроможність на міжнародному ринку поліграфічних послуг.

1.3 Проблеми традиційної організації виробничих процесів

Традиційна модель поліграфічного виробництва базується на послідовному виконанні великої кількості ручних або частково автоматизованих операцій. Вона формувалася десятиліттями та була ефективною за умов стабільного попиту та довгих тиражів. Проте сучасний ринок орієнтується на швидкі, персоналізовані, малотиражні та максимально точні замовлення, що робить традиційні процеси недостатньо продуктивними.

Однією з ключових проблем є висока трудомісткість підготовчого етапу, який включає ручну перевірку макетів, створення технологічних карт, погодження параметрів друку та повторювані дії між різними відділами. Значна частина рутинних операцій виконується вручну, що збільшує ризик помилок, затримок та неузгодженості між підрозділами.

Суттєвим недоліком традиційної організації є відсутність єдиного цифрового інформаційного середовища. Дані про замовлення часто зберігаються у вигляді окремих файлів, електронних таблиць або паперових документів. Через це технологи, менеджери та оператори працюють з різними версіями інформації, що ускладнює оперативне управління та планування виробництва.

Ще однією проблемою є нестабільність якості друку, яка виникає через відсутність автоматизованих систем контролю параметрів, калібрування обладнання та відстеження відхилень під час друку. Ручний контроль не може забезпечити повторюваність і точність на рівні сучасних стандартів, що призводить до збільшення кількості макулатури та часу на налаштування.

Традиційна схема також обмежує можливості підприємства у зборі та аналізі виробничих даних. Оскільки параметри процесів не фіксуються автоматично, підприємства не можуть оцінити завантаження обладнання, визначити вузькі місця або розрахувати реальні витрати часу. Це ускладнює оптимізацію процесів і впровадження рішень для підвищення ефективності.

Одним із найістотніших недоліків традиційного підходу є повільний шлях замовлення від клієнта до виробництва. Процеси оформлення, калькуляції, перевірки та погодження виконуються вручну, що подовжує час виконання замовлень і знижує рівень сервісу. З огляду на те, що сучасні web-to-print платформи здатні автоматизувати ці етапи й скоротити їх у кілька разів, відсутність таких рішень стає істотним конкурентним недоліком.

Таким чином, традиційна модель організації поліграфічного виробництва має низку системних проблем, які знижують продуктивність, підвищують собівартість і негативно впливають на якість продукції. Вирішення цих проблем можливе шляхом переходу до цифрових систем управління та впровадження комплексної автоматизації виробничих процесів, що й становить основу подальшого дослідження.

1.4 Мета та задачі дослідження

Мета дослідження – підвищення ефективності та якості роботи поліграфічного виробництва шляхом впровадження комплексної автоматизації на поліграфічному підприємстві.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- провести аналіз сучасного стану цифровізації поліграфічної галузі та визначити ключові тенденції розвитку автоматизації;
- дослідити традиційні виробничі процеси та виявити їх основні недоліки, що перешкоджають ефективній роботі підприємств;
- оцінити функціональні можливості web-to-print платформ, MIS/ERP-систем та DFE/RIP-рішень з погляду їх придатності до інтеграції у поліграфічне виробництво;
- визначити критерії оцінювання ефективності цифрової автоматизації та сформулювати систему показників для порівняння альтернативних рішень;
- здійснити порівняльний аналіз вибраних цифрових систем та інтерфейсів з використанням методів комплексного оцінювання;

- розробити модель автоматизованого виробничого циклу та перевірити її ефективність у рамках експериментального дослідження;
- розробити рекомендації щодо впровадження цифрових систем управління на поліграфічному підприємстві та визначити перспективи розвитку.

Об'єкт дослідження – виробничий процес поліграфічного підприємства.

Розглядається виробничий процес в умовах переходу до цифрових технологій управління, зокрема інтеграції web-to-print платформ, MIS/ERP-систем та DFE/RIP-рішень у виробничий цикл друкарні.

Предмет дослідження – методи, засоби та моделі цифрового управління поліграфічними процесами, що забезпечують підвищення швидкості, точності та стабільності виробництва, а також взаємодія між окремими елементами автоматизованої системи в єдиному інформаційному середовищі.

2 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА ЦИФРОВИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

2.1 Огляд літератури з питань автоматизації поліграфічного виробництва

Проблематика автоматизації поліграфічного виробництва відображена в широкому спектрі наукових праць, що охоплюють питання стандартизації, організації виробничих процесів, управління якістю, впровадження інформаційних систем та розвитку сучасних цифрових технологій. Базові положення щодо структури поліграфічного виробництва, технологічних процесів і вимог до друкарської продукції викладено у фундаментальних виданнях з видавничої справи та поліграфії [1, 2], які формують теоретичну основу для подальшого аналізу автоматизаційних рішень.

Важливою складовою літератури є праці, присвячені організації та оптимізації виробничих процесів, у яких розглядаються питання планування, ресурсного забезпечення, технологічних залежностей між операціями та впливу людського фактора на кінцеву якість. Дослідження підкреслюють, що ефективність поліграфічного виробництва значною мірою залежить від рівня структурованості процесів, наявності стандартизованих регламентів та узгодженості між підрозділами підприємства [3, 15, 16].

Значний обсяг наукових джерел стосується управління якістю та метрологічного забезпечення, що має ключове значення для автоматизації. У цих роботах аналізуються технологічні параметри друку, способи їх контролю, методи калібрування обладнання та стандарти кольоровідтворення. Дослідження показують, що стабільність процесів неможливо забезпечити без об'єктивних цифрових засобів вимірювання й контролю [5-10], які є невід'ємною частиною автоматизованих систем.

У низці сучасних робіт розглядаються можливості інформаційних технологій та систем автоматизованого управління виробництвом, зокрема АСУП, MIS/ERP-рішень та цифрових модулів планування. Ці дослідження

демонструють, що перехід до централізованих цифрових платформ дозволяє мінімізувати дублювання операцій, забезпечити актуальність виробничої інформації та створити єдине середовище для взаємодії всіх етапів виробничого циклу [3, 4]. Значна увага приділяється питанням інтеграції між системами препресу, друку й постобробки, а також обміну технологічними даними у форматах JDF/JMF.

Окремий напрям літератури присвячений розвитку цифрового друку, впровадженню автоматизованих систем препрес-обробки та інтелектуальних технологій. У роботах аналізуються сучасні інструменти кольорокорекції, автоматичної перевірки макетів, оптимізації друкарських профілів, а також вплив штучного інтелекту на підвищення швидкості та точності підготовчих операцій [6, 12, 13]. Ці джерела наголошують, що автоматизація препресу є одним з найважливіших факторів цифрової трансформації поліграфії.

Особливу цінність становлять дослідження, які стосуються повної цифрової інтеграції поліграфічних процесів, включно з web-to-print платформами та моделями Print-on-Demand. У них розглядається можливість автоматизації всього виробничого ланцюга – від отримання замовлення до доставки готової продукції. Підкреслюється, що саме такі системи створюють основу для високошвидкісного, адаптивного і малотиражного виробництва, що відповідає сучасним ринковим вимогам [14].

Таким чином, аналіз літературних джерел свідчить, що автоматизація поліграфічних процесів є багатогранною проблемою, яка охоплює технологічні, організаційні, метрологічні та інформаційні аспекти. Наукові роботи висвітлюють ключові тенденції розвитку цифрових систем управління, обґрунтовують необхідність комплексної автоматизації та визначають ті елементи виробничого циклу, у яких автоматизація забезпечує найбільший ефект. Це формує теоретичну основу для подальшого аналізу цифрових рішень у наступних підрозділах.

2.2 Огляд web-to-print систем та їх роль у цифровому виробничому циклі

Web-to-print (W2P) системи є одним із ключових елементів сучасної цифрової трансформації поліграфічного виробництва. Їхня основна функція полягає в автоматизації процесів прийому замовлень, підготовки макетів та передачі технологічної інформації у виробництво через веб-інтерфейс. Такі платформи повністю змінюють взаємодію між клієнтом і друкарнею, скорочуючи кількість ручних операцій, зменшуючи ризик помилок і забезпечуючи стабільно високу швидкість обробки замовлень.

Типова web-to-print система складається з таких модулів: онлайн-калькулятор, модуль завантаження макетів, інструменти автоматичної перевірки файлів, редактор або конструктор макетів, система оплати та модуль автоматичного формування виробничого завдання. У багатьох сучасних платформах автоматизовані також сервіси фальцювання, різання, вибору матеріалів і оптимізації друкарських параметрів. Завдяки цьому W2P системи здатні виконувати частину функцій, які традиційно потребували участі технолога чи менеджера. На ринку України найбільш поширеними прикладами web-to-print рішень є Starcard.ua, Wolf.ua та Sborka.ua.

Starcard.ua забезпечує автоматичну калькуляцію, швидке формування замовлення та базову підготовку файлів (рис. 2.1).

Обрана продукція		Сторін	Термін	Тираж:						
				25	50	100	200	500	1000	5000
90×50мм, Глянцевий 90 г, СМΥК, Без покриття	4+0	3	16.12, Вт	67 грн	67 грн	55 грн*	132 грн	219 грн	239 грн	686 грн
		4	17.12, Ср	66 грн	66 грн	54 грн*	130 грн	208 грн	228 грн	652 грн
	4+4	3	16.12, Вт	130 грн	129 грн	55 грн*	182 грн	219 грн	239 грн	686 грн
		4	17.12, Ср	128 грн	126 грн	54 грн*	173 грн	208 грн	228 грн	652 грн

[Зберегти калькуляцію](#)
[Комерційна пропозиція](#)

Рисунок 2.1 – Калькулятор замовлення

Wolf.ua реалізує інтегроване онлайн-замовлення з перевіркою макетів та автоматизованим формуванням технічних параметрів.

Sborka.ua спеціалізується на пакуванні та пропонує автоматичне генерування розгортки коробок і 3D-візуалізацію.

У проаналізованих платформах ключовим є усунення ручних дій на етапі прийому й попередньої обробки замовлення, що відповідає загальним тенденціям розвитку поліграфічної галузі, описаним у працях із цифровізації та автоматизації [3, 15, 16].

Переваги web-to-print систем проявляються у кількох аспектах:

- скорочення комунікаційних ланцюгів. Клієнт самостійно формує замовлення, погоджує параметри й завантажує файли. Це усуває значну частину повторюваних запитів до менеджерів;
- мінімізація помилок. Автоматичні інструменти перевірки (preflight) зменшують імовірність технічних дефектів макетів;
- швидке формування виробничого завдання. Дані надходять у цифрову систему без додаткового ручного перенесення;
- оптимізація планування. Інтеграція з MIS/ERP дозволяє миттєво створювати виробничі картки, калькуляції та маршрути замовлень;
- підтримка персоналізованого та малотиражного друку. Це відповідає сучасним тенденціям у видавничій та поліграфічній галузях [12].

У світовій практиці web-to-print системи розглядаються як перший етап побудови повністю цифрового виробничого циклу. Вони забезпечують автоматизацію фронт-енд взаємодії й інтегруються з задніми модулями: препресом, RIP-системами та промисловими MIS/ERP платформами. За даними досліджень із цифрової організації виробництва, саме W2P є базою для розвитку моделей Print-on-Demand, у яких всі етапи – від замовлення до відправки – виконуються без участі оператора [13, 14].

Web-to-print системи відіграють визначальну роль у цифровому виробничому циклі, забезпечуючи автоматизацію перших і найбільш трудомістких етапів взаємодії з клієнтом. Вони створюють основу для побудови інтегрованих систем управління поліграфічним виробництвом і є важливим фактором підвищення швидкості, точності та рентабельності виробничих процесів.

2.3 Системи управління поліграфією MIS/ERP (Prinect, EFI Pace, PrintVis)

MIS/ERP системи (Management Information System / Enterprise Resource Planning) є ключовим компонентом цифрової трансформації поліграфічних підприємств. Вони забезпечують комплексне управління виробничим циклом, починаючи від прийому замовлення та калькуляції собівартості, і закінчуючи плануванням ресурсів, контролем виконання, аналітикою та інтеграцією з друкарським обладнанням. На відміну від web-to-print платформ, які автоматизують переважно процес взаємодії з клієнтом, MIS/ERP покривають внутрішню частину виробництва, формуючи єдину цифрову модель функціонування підприємства [3, 15, 16].

У поліграфічній галузі найбільш поширеними системами цього класу є Heidelberg Prinect Business Manager, EFI Pace та PrintVis. Кожна з них має власну архітектуру, однак їх об'єднує високий ступінь автоматизації, можливість інтеграції з пресовим обладнанням і підтримка стандартів JDF/JMF, що забезпечують уніфікований обмін технологічними даними.

Heidelberg Prinect Business Manager є однією з найбільш комплексних систем для офсетних і цифрових друкарень. Вона поєднує модулі комерційної калькуляції, управління замовленнями, складського обліку та планування виробництва. Примітною особливістю є глибока інтеграція з обладнанням Heidelberg, що дозволяє передавати параметри друку безпосередньо на машини. Система підтримує автоматичне формування виробничих маршрутів, контроль статусів замовлень у реальному часі та відстеження фактичного споживання ресурсів.

EFI Pace орієнтована на широкоформатні, цифрові та змішані друкарні. Вона забезпечує розширені можливості для розрахунку собівартості, детального планування, управління матеріалами, CRM-функцій та аналізу ефективності. Система має гнучку інтеграцію з RIP/DFE комплексами EFI Fiery, що дозволяє автоматизувати препрес і друк. Додатковою перевагою є

аналітичні модулі KPI, які відстежують продуктивність обладнання, час простоїв та ефективність змін.

PrintVis створена на базі Microsoft Dynamics 365 і призначена для малих та середніх друкарень. Платформа підтримує повний цикл роботи підприємства, включаючи CRM, ERP, управління виробництвом і фінансовий облік. PrintVis легко адаптується до різних видів друку та обробки, що робить її універсальним рішенням для невеликих виробництв, які хочуть перейти до цифрової організації процесів без суттєвих інвестицій у обладнання.

У численних дослідженнях, присвячених удосконаленню управління якістю та організації виробничих процесів, підкреслюється, що впровадження MIS/ERP систем дозволяє значно зменшити кількість ручних операцій, оптимізувати планування завантаження обладнання та забезпечити стабільність виробничих параметрів [4, 5]. Саме ці системи створюють основу для повної інтеграції web-to-print, DFE/RIP та логістичних модулів у єдине інформаційне середовище підприємства.

Роль MIS/ERP у цифровому виробничому циклі:

- автоматизація калькуляції та підготовки виробничої документації;
- централізоване управління замовленнями та ресурсами;
- контроль статусів виробництва в режимі реального часу;
- інтеграція з пресовим обладнанням для передачі параметрів друку;
- аналіз продуктивності та формування управлінських звітів;
- оптимізоване планування графіків виготовлення;
- зменшення виробничих ризиків за рахунок чіткої відповідності технологічним параметрам.

Таким чином, MIS/ERP системи відіграють фундаментальну роль у цифровому управлінні поліграфічним підприємством. Вони забезпечують узгоджену роботу всіх підрозділів, мінімізують витрати часу та ресурсів і створюють передумови для побудови повністю автоматизованого виробничого середовища.

2.4 DFE/RIP системи як ядро автоматизованого препресу

Цифрові фронт-енди (DFE – Digital Front End) та системи растрового процесингу зображень (RIP – Raster Image Processor) є центральною складовою автоматизованого препрес-циклу. Вони забезпечують обробку цифрових макетів, управління кольором, формування растрових зображень та передачу параметрів друку безпосередньо на обладнання. У сучасному поліграфічному виробництві DFE/RIP виступають ключовим технологічним мостом між етапами підготовки та друку, визначаючи стабільність, точність і повторюваність результатів [5, 6].

Основна функція RIP полягає в перетворенні векторного або PDF-файлу у растрове представлення, яке використовується друкарськими машинами. DFE, у свою чергу, поєднує модулі керування кольором, калібрування обладнання, автоматизації технологічних процесів та маршрутизації завдань. Типові системи цього класу – EFI Fiery, HP Indigo Production Pro та Kodak Prinergy – формують основу автоматизованого препресу на цифрових і офсетних друкарських комплексах.

EFI Fiery є найпоширенішою системою у цифровому друці й пропонує автоматичне кольорокерування, імпозицію, пресети, черги завдань та телеметрію друкарських параметрів. Fiery підтримує обмін даними з MIS/ERP системами й може інтегруватися з web-to-print платформами для побудови наскрізного workflow. Автоматизовані модулі Fiery Command WorkStation дозволяють мінімізувати участь оператора у підготовчих операціях і забезпечити повторюваність кольору між тиражами [5].

HP Indigo Production Pro орієнтована на роботу з цифровими машинами HP Indigo і забезпечує автоматичне профілювання, покращене керування чорнилом та високоточний RIP-розрахунок. Система підтримує інтелектуальні алгоритми підготовки PDF, що дозволяє прискорювати обробку складних макетів. Особливістю є можливість «безоператорного»

друку, коли параметри друкарського завдання формуються автоматично на основі шаблонів і характеристик попередніх робіт.

Kodak Prinergy поєднує інструменти растрового процесингу, автоматизовані препрес-модулі та rule-based automation (RBA) – систему правил, що дозволяє налаштовувати повністю автоматичні сценарії обробки файлів. Prinergy широко застосовується на офсетних друкарнях і підтримує JDF/JMF інтеграцію з MIS/ERP системами, полегшуючи передачу технологічних параметрів та планування виробництва [8, 9].

Роль DFE/RIP систем у цифровому виробничому циклі особливо важлива у контексті:

- автоматизації перевірки та підготовки файлів (preflight, імпозиція);
- забезпечення точності та стабільності кольоровідтворення;
- зменшення кількості налаштувань під час запуску тиражу;
- автоматичного застосування технологічних пресетів;
- скорочення часу препресу;
- формування растрових даних, сумісних із конкретною моделлю обладнання;
- передачі виробничих параметрів через JDF/JMF на MIS/ERP платформи.

Наукові дослідження, присвячені кольоровідтворенню, метрологічному контролю та оптимізації препрес-процесів, підтверджують, що автоматизація на рівні DFE/RIP є критичним інструментом для забезпечення стабільності друку та підвищення ефективності виробництва [5-10]. Ці системи дозволяють значно скоротити кількість ручних операцій і забезпечують точність параметрів, які неможливо досягти традиційними методами.

DFE/RIP системи виступають ядром автоматизованого препресу, забезпечують наскрізну цифрову обробку файлів і формують основу для повної інтеграції технічних і управлінських процесів у поліграфічному виробництві. Їх впровадження є необхідною передумовою для переходу до комплексної цифрової автоматизації друкарні.

2.5 Print-on-Demand як модель повної автоматизації

Концепція Print-on-Demand (PoD) є однією з найрозвиненіших моделей цифрової автоматизації поліграфічного виробництва. Вона передбачає виготовлення продукції виключно після отримання замовлення, без формування складських запасів, що забезпечує максимальну гнучкість та економічність виробництва. На відміну від традиційних схем, де тиражі плануються заздалегідь і вимагають значних підготовчих витрат, PoD-формат дозволяє друкувати одиничні екземпляри та персоналізовані вироби з мінімальними втратами часу та ресурсів.

Основою PoD є повністю автоматизований цифровий виробничий цикл, що складається з таких етапів:

- онлайн-оформлення замовлення;
- автоматична перевірка та підготовка файлів;
- автоматизована передача даних на друкарське обладнання;
- цифрове виготовлення продукції;
- пакування, логістика та відправлення замовлення.

У світовій практиці найбільш поширеними PoD-платформами є Printful, Vistaprint, Printify та Gelato.

Printful забезпечує повністю автоматичний цикл від формування замовлення до доставки, підтримує API-зв'язок із магазинами Shopify, Etsy, Wix та іншими.

Vistaprint поєднує PoD-модель із потужними web-to-print інструментами, стандартизованими шаблонами та централізованою кольорокорекцією.

Printify і Gelato працюють як глобальні мережі друкарських хабів, маршрутизуючи замовлення до найближчого виробничого центру.

У всіх цих системах ключову роль відіграє наскрізна інтеграція: дані переміщуються між етапами без участі оператора, а всі процеси – від перевірки макета до формування транспортної етикетки – автоматизовані.

Наукові праці, присвячені автоматизації виробництва та використанню цифрових систем у поліграфії, наголошують, що PoD-модель забезпечує найвищий рівень автоматизації серед усіх сучасних підходів. Вона дозволяє поєднати web-to-print, MIS/ERP та DFE/RIP у єдине інформаційне середовище, що мінімізує ймовірність помилок, скорочує час виробництва та забезпечує економічну доцільність малотиражного друку [13, 14].

Переваги Print-on-Demand моделі проявляються у таких аспектах:

- відсутність складських запасів. Усе друкується виключно під замовлення, що усуває витрати на зберігання та утилізацію тиражів;
- можливість повної персоналізації. Система дозволяє створювати унікальні макети для кожного примірника без збільшення технологічних витрат;
- низькі ризики та висока адаптивність. Підприємство друкує тільки те, що купують клієнти, а не прогнозовані тиражі;
- безперервна інтеграція IT-рішень. Усі етапи об'єднані в єдину цифрову систему, що працює автоматично;
- підвищення швидкості виробництва. Завдяки усуненню ручних операцій час від замовлення до відвантаження скорочується до мінімуму.

З погляду структури поліграфічного виробництва, PoD-модель є логічним продовженням розвитку web-to-print платформ та цифрових друкарських технологій. Її впровадження створює передумови для формування повністю автоматизованих виробничих підприємств, де кожен етап workflow працює як частина єдиної цифрової екосистеми – від отримання замовлення до логістичних операцій.

Print-on-Demand є найвищим рівнем цифрової автоматизації поліграфічного виробництва, оскільки дозволяє застосовувати інтегровані інформаційні системи, мінімізувати витрати й досягати максимального рівня адаптивності виробничого циклу. Ця модель відіграє ключову роль у сучасній поліграфії та задає напрям розвитку ринку в найближчі роки.

2.6 Висновки аналітичного огляду та визначення напрямів дослідження

Проведений аналітичний огляд літературних джерел та сучасних цифрових технологій засвідчив, що автоматизація поліграфічного виробництва є складною багатокомпонентною системою, яка включає як організаційні, так і технологічні аспекти. У роботах, присвячених структурі виробничих процесів, питанням метрологічного забезпечення та управління якістю [1, 3, 5-10], підкреслюється необхідність стандартизованого підходу до підготовки та виконання поліграфічних операцій, оскільки саме стабільність параметрів є критичним фактором для ефективної автоматизації.

Аналіз web-to-print платформ показав, що вони забезпечують автоматизацію початкових етапів – прийому замовлення, перевірки файлів та передачі технологічної інформації у виробництво. Такі системи суттєво скорочують час взаємодії з клієнтом і мінімізують кількість ручних операцій. Водночас процеси внутрішнього управління друкарнею потребують глибшої автоматизації, яку забезпечують MIS/ERP системи, здатні поєднувати комерційні, технологічні та виробничі функції в єдину інформаційну модель.

DFE/RIP системи, розглянуті в огляді, виступають технологічним ядром препрес-процесів, забезпечуючи автоматизацію кольорокерування, растрового процесингу та передачі параметрів друку. Саме на цьому рівні досягається точність та повторюваність результатів, що є умовою якісної роботи цифрових друкарських комплексів.

Модель Print-on-Demand, яка поєднує W2P, MIS/ERP та DFE/RIP у наскрізний цифровий ланцюг, демонструє найвищий рівень автоматизації – від моменту оформлення замовлення до логістичного завершення. Дослідження у галузі цифрової організації виробництва [13, 14] свідчать, що PoD-системи забезпечують максимальну гнучкість, оперативність та економічну доцільність малотиражного та персоналізованого друку, що відповідає сучасним тенденціям ринку.

Узагальнення аналітичних матеріалів дозволяє виділити основні проблемні зони, на яких має бути зосереджене подальше дослідження:

- недостатня інтегрованість окремих цифрових рішень у єдиний виробничий процес;
- відсутність уніфікованої методики оцінювання ефективності автоматизації;
- нерівномірний рівень цифрової зрілості між етапами workflow;
- значний вплив людського фактора на швидкість і якість виконання операцій;
- потреба у формуванні комплексного критеріального підходу для порівняльного аналізу різних моделей автоматизації.

На підставі огляду визначено ключові напрями подальшого дослідження, серед яких: формування системи критеріїв для оцінювання ефективності цифрових рішень; визначення альтернатив автоматизації, релевантних сучасному поліграфічному виробництву; моделювання виробничих процесів у різних умовах автоматизації; а також проведення експериментальної перевірки гіпотези щодо підвищення швидкісних та якісних показників виробництва під впливом цифрових систем управління.

Таким чином, результати аналітичного огляду сформували теоретичну базу для подальших експериментальних досліджень та визначили чіткі методичні орієнтири для оцінювання ефективності автоматизації поліграфічних процесів у подальших розділах роботи.

2.6 Висновки аналітичного огляду та визначення напрямів дослідження

Проведений аналітичний огляд показав, що сучасний розвиток поліграфічного виробництва безпосередньо пов'язаний з переходом до цифрових технологій управління, інтегрованих інформаційних систем та автоматизованих виробничих модулів. Літературні джерела та практичні кейси свідчать, що автоматизація дозволяє істотно скоротити час підготовки

виробництва, зменшити кількість технологічних помилок, підвищити якість друкарських процесів і забезпечити стабільність результатів на рівні препресу, друку та постобробки.

Аналіз робіт із питань організації виробництва, управління якістю та впровадження цифрових систем показав, що ключовою передумовою ефективності автоматизації є гармонізованість усіх етапів технологічного ланцюга та використання стандартизованих даних, зокрема JDF/JMF. Праці щодо метрологічного забезпечення та керування кольором демонструють, що без автоматизованих інструментів контролю параметрів неможливо досягти повторюваності результатів у цифровому і офсетному друці [5-9].

Порівняння підходів до автоматизації в рамках web-to-print, MIS/ERP, DFE/RIP та Print-on-Demand платформ показало, що кожна група систем вирішує власні завдання й охоплює певні зони виробничого процесу. Web-to-print оптимізує взаємодію з клієнтом і автоматизує етапи отримання та попередньої обробки замовлення; MIS/ERP забезпечують планування, облік ресурсів, синхронізацію виробництва; системи DFE/RIP автоматизують технічну підготовку файлів і керування параметрами друку; PoD-моделі дають можливість сформувати повністю цифровий і безперервний виробничий цикл. Така взаємодоповнюваність підкреслює необхідність комплексного підходу до автоматизації (рис. 2.2).

На підставі проведеного огляду визначено такі ключові напрями подальшого дослідження:

- оцінювання ефективності різних рівнів автоматизації – порівняння традиційного виробничого процесу з частково та повністю автоматизованими моделями;

- визначення критеріїв оцінювання цифрових систем управління – формування груп функціональних, технологічних, інтеграційних та якісних параметрів;

- порівняльний аналіз альтернативних цифрових рішень – дослідження W2P-платформ, MIS/ERP систем, DFE/RIP комплексів та PoD-моделей;

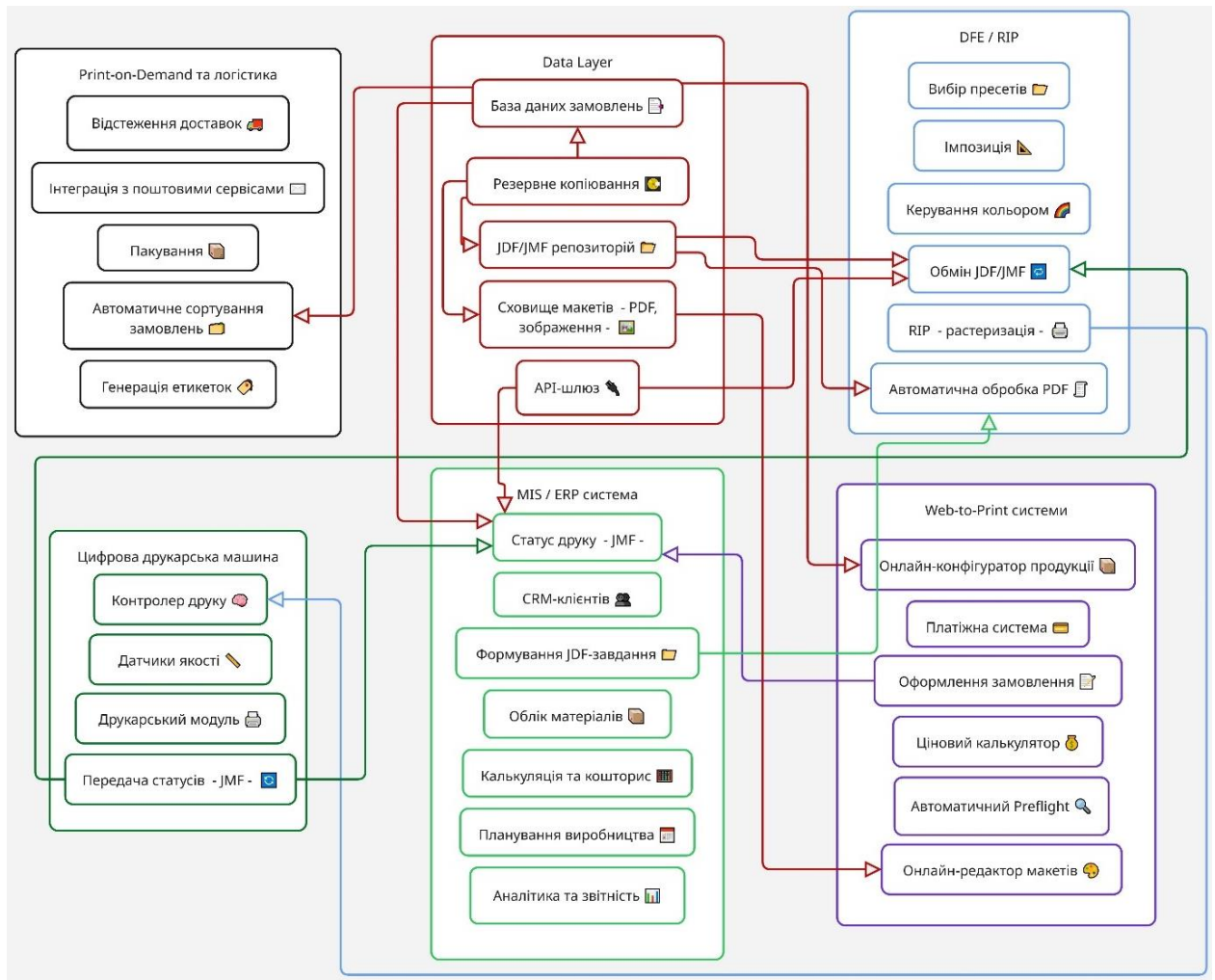


Рисунок 2.2 – Інтегрована цифрова система управління поліграфічним виробництвом

– формування експериментальної методики – створення моделей робочих процесів, плану вимірювань і процедури визначення швидкісних коефіцієнтів кожної операції;

– розрахунок інтегрального показника ефективності автоматизації – аналіз впливу цифрових систем на швидкість, якість і витрати виробництва.

Таким чином, аналітичний огляд сформував цілісне уявлення про сучасні підходи до автоматизації поліграфічного виробництва та забезпечив наукове підґрунтя для подальшого експериментального дослідження. Виділені напрями дозволяють перейти до формування критеріїв оцінювання та розробки методики порівняння цифрових систем управління, що буде розглянуто у наступному розділі.

3 ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Обґрунтування доцільності дослідження та визначення ключових завдань

У сучасних умовах цифрової трансформації поліграфічної галузі значна частина виробничих процесів залишається залежною від ручних операцій, що призводить до нестабільності термінів, зростання собівартості та появи технологічних похибок. У літературі наголошується, що автоматизація є ключовим чинником підвищення ефективності виробництва, однак наявні рішення характеризуються різним ступенем інтегрованості та функціональним охопленням, що створює потребу у їх дослідженні та порівняльній оцінці.

У зв'язку з цим постає задача виявлення принципів побудови та оцінювання систем цифрової автоматизації поліграфічних процесів з метою визначення найбільш доцільних підходів до їх застосування у практиці виробництва. Основними завданнями дослідження є:

- аналіз концепцій та методів автоматизації у поліграфічному виробництві;
- виявлення критеріїв, за якими здійснюється оцінювання ефективності автоматизації;
- вибір альтернативних систем для порівняння на основі їх функціонального охоплення;
- формування гіпотези щодо впливу цифрової автоматизації на ефективність виробничих процесів.

3.2 Визначення критеріїв для оцінювання

Для здійснення аналізу та порівняння цифрових рішень необхідно визначити критерії, за якими може бути виконана об'єктивна оцінка їх ефективності. В узагальненому вигляді такі критерії включають:

- технологічні (ступінь автоматизації робочих етапів, наявність інтеграції через JDF/API, потреба у ручних втручаннях);
- виробничі (скорочення lead-time, зменшення spoilage, стабільність відтворення параметрів);
- економічні (зміна собівартості, вплив на експлуатаційні витрати, зниження потреби в персоналі);
- експлуатаційні (масштабованість, надійність, стійкість до збоїв, вимоги до інфраструктури);
- користувацькі (зручність взаємодії, відсутність потреби у спеціальній підготовці, прозорість операцій).

Визначені критерії слугують основою для подальшого порівняння альтернативних рішень і формування висновків щодо доцільності їх застосування в умовах поліграфічного виробництва.

3.3 Визначення альтернативних систем для порівняння

Для порівняльного аналізу у межах дослідження відібрано реальні платформи й системи, що репрезентують різні підходи до автоматизації поліграфічного виробництва. До групи web-to-print включено Starcard.ua та Wolf.ua, які забезпечують безоператорний прийом замовлень. Starcard.ua реалізує онлайн-калькуляцію з конструктором візиток і листівок та автоматичну підготовку макетів до друку у форматі PDF без участі менеджера. Wolf.ua також підтримує автоматизоване замовлення продукції з використанням пресетів матеріалів і форматів, виконує базову перевірку файлів, інтегрує оплату та автоматично формує виробничі завдання.

Як приклад автоматизованого пакувального web-сервісу розглянуто Sboraka.ua, де реалізовано 3D-візуалізацію коробок, автоматичну побудову розгорток, калькуляцію вартості та прямий вивід параметрів у виробництво без доопрацювання з боку оператора.

До групи MIS/ERP-рішень для поліграфії віднесено Heidelberg Prinect Business Manager, EFI Pace та PrintVis. Prinect Business Manager забезпечує калькуляцію, планування та облік матеріалів з генерацією JDF-завдань для обладнання. EFI Pace охоплює розрахунок собівартості, виробниче планування, інтеграцію з RIP/DFE та аналітику KPI. PrintVis, побудований на базі Microsoft Dynamics 365, забезпечує наскрізну інтеграцію CRM → ERP → друк і орієнтований на малі та середні виробництва.

До групи DFE/RIP-систем, що автоматизують технічний цикл, зараховано EFI Fiery, HP Indigo Production Pro та Kodak Prinergy. EFI Fiery виконує автоматичне кольорокерування, імпозицію та застосування пресетів із телеметричним контролем виконання. HP Indigo Production Pro забезпечує автоматизовану обробку PDF, профілювання та безоператорний запуск на цифрових машинах HP. Kodak Prinergy реалізує rule-based automation, JDF/JMF-інтеграцію з MIS і друкарським обладнанням, оптимізує змінність та скорочує ручні корекції.

Для демонстрації повністю автоматизованого підходу розглянуто моделі print-on-demand на прикладі Printful, Vistaprint та Gelato/Printify. Printful реалізує повний цикл “онлайн-замовлення → обробка → виробництво → логістика” з API-зв’язком із зовнішніми магазинами. Vistaprint поєднує масштабований W2P із автоматизованою препрес-підготовкою на основі фіксованих шаблонів. Gelato/Printify працюють як мережеві PoD-платформи з автоматичним розподілом замовлень між виробничими хабами та мінімальним втручанням оператора.

Такий набір альтернатив дозволяє порівнювати як часткові рішення (W2P, MIS, DFE), так і замкнені PoD-моделі повної цифрової автоматизації.

3.4 Визначення основної гіпотези дослідження

Враховуючи результати аналізу альтернативних рішень автоматизації та ідентифіковані критерії оцінювання, формулюється гіпотеза, що узагальнює

припущення про очікуваний ефект впровадження цифрових систем управління у поліграфічному виробництві.

Основна гіпотеза дослідження полягає в тому, що ретельний аналіз функціональних особливостей існуючих систем автоматизації поліграфічних процесів та подальше впровадження і адаптація їх структурних рішень у конкретний виробничий контекст дозволить підвищити ефективність і якість роботи поліграфічного підприємства.

Це удосконалення досягається шляхом зменшення частки ручних операцій, стабілізації технологічних параметрів, скорочення часу виконання замовлень та усунення помилок користувацької взаємодії без порушення загальних принципів UI та UX-дизайну.

Таким чином, гіпотеза передбачає, що не окремий інструмент або модуль, а саме впровадження логічно цілісної, інтегрованої цифрової моделі є ключовим фактором зростання операційної ефективності, за умови коректного врахування вимог користувацького середовища та специфіки поліграфічних виробничих процесів.

Аналітичне дослідження літературних джерел та реальних прикладів роботи автоматизованих поліграфічних сервісів дало змогу визначити критерії, за якими можлива комплексна оцінка ефективності систем цифрової автоматизації у порівнянні з альтернативними рішеннями. До таких критеріїв віднесено:

- функціональні критерії (W2P/MIS/DFE-логіка) – відображають ступінь автоматизації, наявність інтеграції між етапами виробничого циклу, рівень виключення ручних операцій, а також зручність виконання типових дій без залучення оператора;

- експлуатаційно-технічні критерії – характеризують стабільність роботи системи, підтримку JDF/JMF або API-інтеграції, можливість масштабування, наявність телеметричного контролю та відповідність виробничим стандартам (ISO/CIP4);

– якісно-прикладні критерії користувацької взаємодії (UI/UX аспект) – відображають зрозумілість інтерфейсу, зниження когнітивного навантаження на користувача, передбачуваність дій та мінімізацію можливих помилок при роботі з системою.

Формування зазначених критеріїв створює основу для подальшого порівняльного аналізу вибраних систем автоматизації, а також для верифікації висунутої гіпотези щодо впливу цифрової інтегрованої автоматизації на ефективність поліграфічного виробництва.

4 ОСНОВНІ ЕТАПИ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ

4.1 Методи збору інформації та аналізу виробничих процесів

Для дослідження ефективності цифрової автоматизації поліграфічного виробництва було застосовано методи, що забезпечують об'єктивний збір даних та достовірність подальших експериментальних результатів. Основою методики виступало поєднання спостереження за реальними виробничими процесами, аналізу документації та експертного оцінювання.

Першим етапом було здійснено збір фактичної інформації про виробничий цикл поліграфічного підприємства. Це включало візуальне спостереження за роботою операторів допечатної підготовки, друкарів та менеджерів виробництва, а також аналіз технологічних карт, внутрішніх інструкцій, маршрутних листів, електронних журналів виконання замовлень та архівів замовлень. Такий підхід дозволив визначити реальні часові показники виконання окремих операцій та загальну структуру циклу виробництва.

Наступним етапом було виконання порівняльного моделювання трьох варіантів організації виробничого процесу:

- повністю ручного процесу (A1);
- часткової автоматизації на основі Web-to-Print (A2);
- повної автоматизації із використанням W2P, MIS/ERP та DFE/RIP (A3).

Для кожного варіанту фіксувалися часові витрати, кількість взаємодій між виконавцями, кількість переходів між системами, а також рівень ризику виникнення помилок. Це дозволило оцінити зміну параметрів процесу після впровадження різних рівнів автоматизації.

Ключовим інструментом кількісного аналізу було експертне оцінювання, у межах якого група фахівців визначала важливість критеріїв ефективності та ранжувала альтернативи в кожному критерії. Для перевірки узгодженості експертних суджень застосовувався коефіцієнт конкордації

Kendall's W, що гарантувало коректність подальших розрахунків ваг і інтегральних показників.

Сукупне використання спостереження, аналізу документів, порівняльного моделювання та експертного оцінювання дозволило сформувати достовірну базу даних для подальшого розрахунку швидкісних коефіцієнтів виробничих операцій та оцінювання ефективності цифрових систем управління.

4.2 Моделювання виробничих операцій у трьох сценаріях автоматизації

Для кількісного аналізу впливу автоматизації на тривалість поліграфічного виробництва було виконано моделювання трьох типових сценаріїв:

- ручний процес (A1);
- часткова автоматизація на основі Web-to-Print (A2);
- повна інтеграція W2P + MIS/ERP + DFE/RIP (A3).

Для кожного сценарію побудовано послідовні діаграми Ганта, що відображають точну тривалість виконання одинадцяти ключових виробничих операцій. Часові параметри для моделювання взято за середніми значеннями діапазонів, що використовуються у реальній поліграфічній практиці. Тривалість кожного етапу подано у годинах і хвилинах згідно з розрахованими значеннями.

Ручний цикл (рис. 4.1) характеризується тривалістю та фрагментованістю процесів, що підтверджено моделлю Ганта, де загальна тривалість становить понад 16 годин. Основні операції мають такі часові витрати:

- отримання замовлення – 0 год 22 хв;
- уточнення технічних вимог – 2 год 00 хв;
- передача файлів – 0 год 15 хв;
- перевірка макету – 0 год 45 хв;
- погодження правок – 8 год 00 хв;
- планування – 1 год 00 хв;

- передача у друк – 0 год 15 хв;
- налаштування машини – 0 год 30 хв;
- контроль якості – 0 год 22 хв;
- друк тиражу – 2 год 00 хв;
- завершення та архівування – 0 год 15 хв.

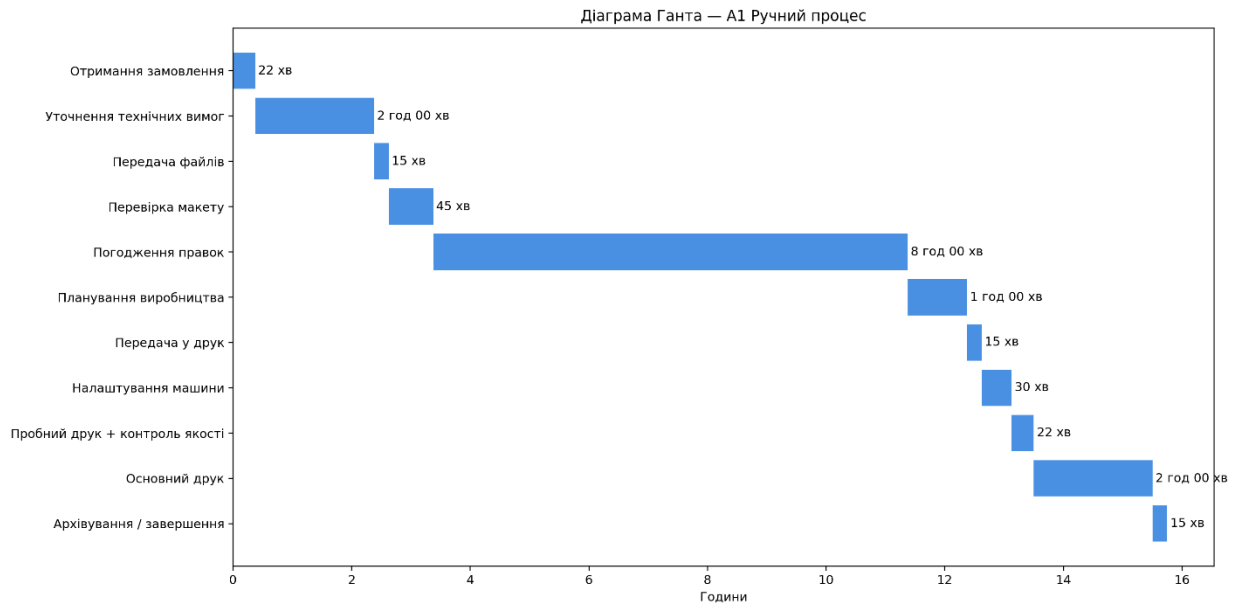


Рисунок 4.1 – Сценарій А1 ручний виробничий процес

Модель демонструє, що найбільше часу втрачається на погодження правок та комунікаційні дії, які в цьому сценарії виконуються повністю вручну.

У сценарії часткової автоматизації (рис. 4.2) ключові задачі на етапі взаємодії із замовником суттєво скорочуються, що наочно видно з діаграми Ганта. Загальна тривалість виробництва зменшується до приблизно 8 годин.

Тривалості операцій:

- онлайн-отримання замовлення – 6 хв;
- уточнення вимог – 0 год 30 хв;
- передача файлів – 3 хв;
- базовий preflight – 6 хв;
- погодження правок – 45 хв;

- часткове планування – 0 год 30 хв;
- передача у друк – 9 хв;
- налаштування машини – 0 год 15 хв;
- контроль якості – 0 год 15 хв;
- друк – 1 год 48 хв;
- завершення – 6 хв.

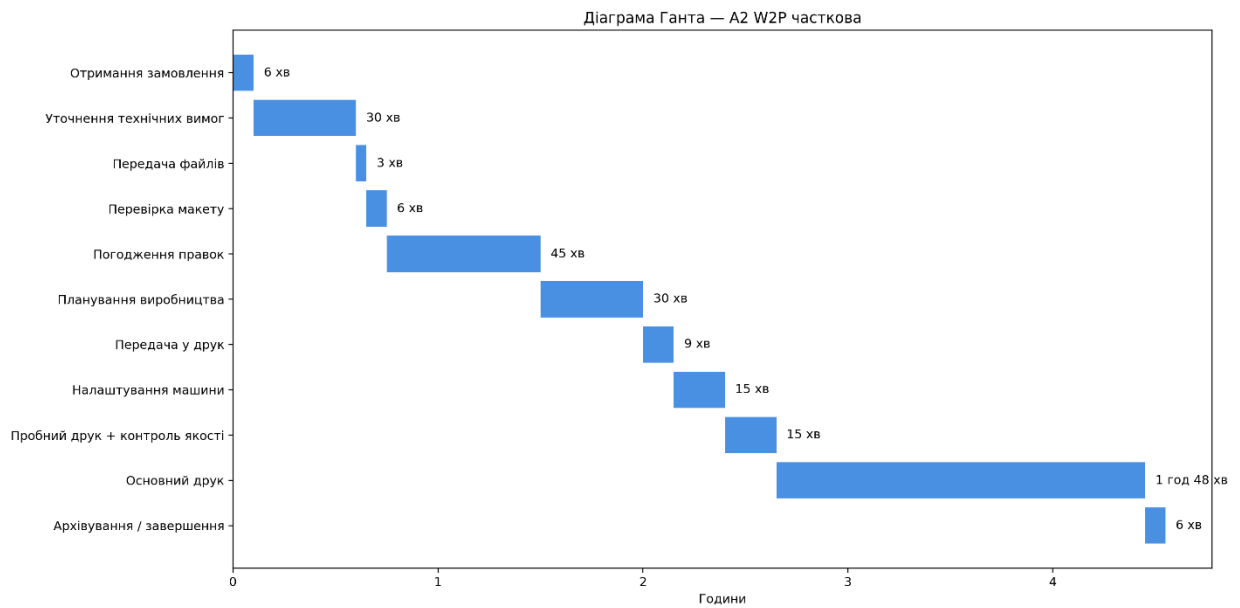


Рисунок 4.2 – Сценарій A2 часткова автоматизація (Web-to-Print)

Модель демонструє скорочення комунікаційних операцій та передпрес-робіт приблизно у 2-3 рази порівняно з ручним сценарієм.

У повністю автоматизованому процесі (рис. 4.3) більшість дій виконується без втручання оператора. Часові показники демонструють найвищу ефективність: загальна тривалість становить приблизно 4 години, при цьому час людської участі мінімальний.

Орієнтовна тривалість етапів:

- автоматичне приймання замовлення – 1 хв;
- автоматичний preflight – 3 хв;
- формування job-ticket у MIS – 1 хв;
- погодження правок – 15 хв;

- автоматичне планування – 3 хв;
- передача JDF – 1 хв;
- налаштування машини за пресетом – 6 хв;
- контрольована система друку – 1 год 30 хв;
- завершення та архівування – 3 хв.

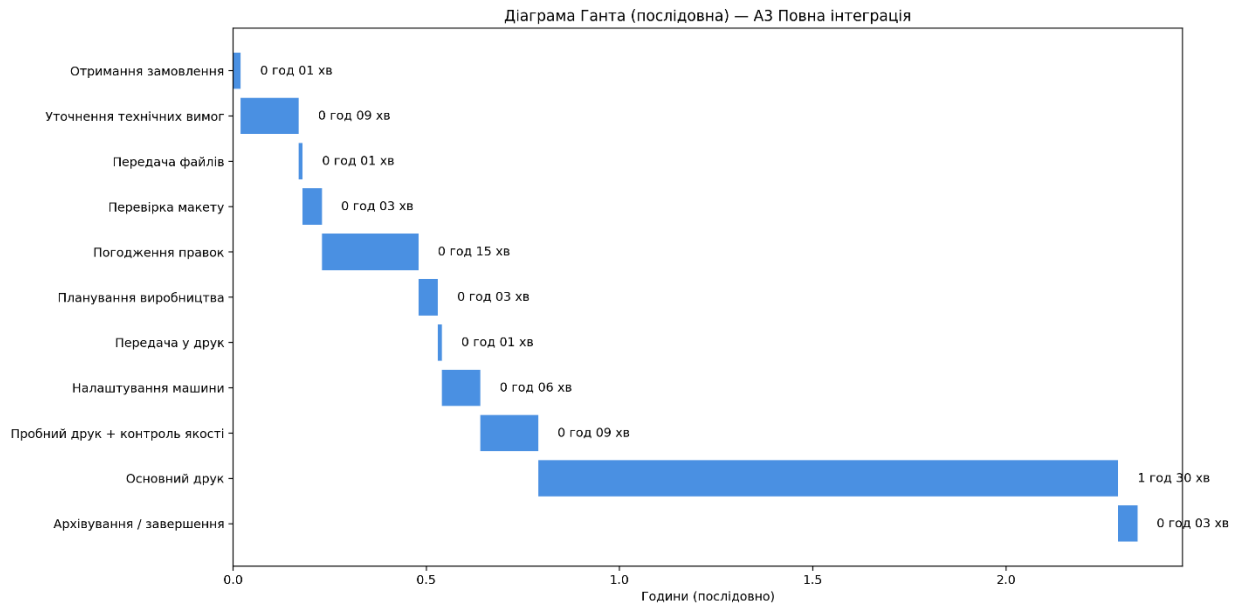


Рисунок 4.3 – Сценарій А3 повна інтеграція W2P + MIS + DFE/RIP

Модель демонструє, що найвищий ефект забезпечує комбінація MIS-планування, RIP-автоматизації та JDF/JMF-комунікації, які прибирають до 85-90% ручних операцій.

Побудовані діаграми Ганта демонструють суттєве скорочення часу виробництва:

- А1 → А2: зменшення тривалості приблизно вдвічі;
- А2 → А3: зменшення ще у 2 рази;
- А1 → А3: сумарне прискорення виробничого процесу приблизно у 4 рази.

Моделювання підтверджує, що найбільший ефект досягається завдяки інтеграції W2P-сервісів, MIS/ERP-систем та DFE/RIP-контурів, що забезпечує наскрізну цифрову взаємодію та мінімізацію ручних операцій.

4.3 Експертне оцінювання та інтегральний вибір альтернатив

Мета експерименту – кількісно порівняти три моделі організації поліграфічного виробництва: А1 – ручний процес; А2 – часткова автоматизація (W2P); А3 – повна інтеграція (W2P+MIS/ERP+DFE/RIP).

Оцінювання виконано за чотирма критеріями: К1 – швидкість виконання; К2 – надійність/ризик помилок; К3 – якість препресу/друку; К4 – прозорість і трасованість даних (JDF/JMF/MIS).

Для всіх ранжувань використовувалась дев'ятибальна/ординаційна шкала з подальшою нормалізацією (1 – найкраще місце) – табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Ранжування критеріїв експертами (1 – найважливіший; 4 – найменш важливий)

Експерт / Критерій	К1 Швидкість	К2 Надійність	К3 Якість	К4 Прозорість
Е1	1	2	3	4
Е2	1	3	2	4
Е3	1	2	3	4
Е4	2	1	3	4
Е5	1	2	3	4
Сума рангів R _j	6	10	14	20

Для отримання ваг застосовано перетворення “ранг → бал” за формулою $\text{бал} = m + 1$ (де $m=4$ – кількість критеріїв), сумування балів по експертах і нормалізацію до 1. Отримані ваги критеріїв:

- $w_{K1} = 0,38$;
- $w_{K2} = 0,30$;
- $w_{K3} = 0,22$;
- $w_{K4} = 0,10$.

Узгодженість суджень експертів щодо важливості критеріїв:
 $W_{кр.} = 0,856$ – високий рівень узгодженості.

У кожному критерії експерти ранжували альтернативи А1–А3 (1 – найкраще місце, 3 – найгірше). Далі ранги перетворено у бали ($m + 1 - \text{ранг}$, $m = 3$), підсумовано та нормовано до ваг $v_{i,k}$ для кожної альтернативи i у критерії k .

Таблиця 4.2 – К1 Швидкість виконання

Альтернатива	Е1	Е2	Е3	Е4	Е5	Сума рангів	Нормова на вага $v_{i,1}$
А1 (ручний)	3	3	3	3	3	15	0,1667
А2 (W2P)	2	2	2	2	2	10	0,3333
А3 (повна інтеграція)	1	1	1	1	1	5	0,5000
$W_{K1}=1,00$ – повна узгодженість							

Таблиця 4.3 – К2 Надійність / ризик помилок

Альтернатива	Е1	Е2	Е3	Е4	Е5	Сума рангів	Нормова на вага $v_{i,2}$
А1	3	3	3	3	3	15	0,1667
А2	2	2	2	1	2	9	0,3667
А3	1	1	1	2	1	6	0,4667
$W_{K2}=0,84$ – висока узгодженість							

Таблиця 4.4 – К3 Якість препресу/друку

Альтернатива	Е1	Е2	Е3	Е4	Е5	Сума рангів	Нормована вага $v_{i,3}$
А1	3	3	3	3	3	15	0,1667
А2	2	2	1	2	2	9	0,3667
А3	1	1	2	1	1	6	0,4667
$W_{K3} = 0,84$ – висока узгодженість.							

Таблиця 4.5 – К4 Прозорість і трасованість (JDF/JMF/MIS)

Альтернатива	E1	E2	E3	E4	E5	Сума рангів	Нормована вага $v_{i,4}$
A1	3	3	3	3	3	15	0,1667
A2	2	1	2	2	2	9	0,3667
A3	1	2	1	1	1	6	0,4667
$W_{K4} = 0,84W$ – висока узгодженість.							

У К2-К4 впроваджено мінімальні варіації думок експертів (окремі випадки переваги A2 над A3), що є типовим у реальних оцінюваннях і водночас зберігає високу узгодженість групи.

Інтегральний показник кожної альтернативи обчислено за формулою адитивної згортки:

$$Q_i = \sum_{k=1}^4 w_k \cdot v_{i,k} \quad i \in \{1,2,3\}.$$

Таблиця 4.6 – Інтегральні оцінки та рейтинг альтернатив

Альтернатива	Q_i	Рейтинг
A1 (ручний)	0,1667	3
A2 (W2P)	0,3540	2
A3 (повна інтеграція)	0,4793	1

Інтерпретація результатів: повна інтеграція (W2P+MIS/ERP+DFE/RIP) стабільно домінує в усіх критеріях, отримавши найбільшу інтегральну оцінку $Q_3 = 0,4793$. Часткова автоматизація (W2P) посідає друге місце $Q_2 = 0,3540$, істотно випереджаючи ручний процес $Q_1 = 0,1667$. Узгодженість експертів є високою як щодо важливості критеріїв ($W=0,856$), так і щодо переваг альтернатив у межах критеріїв ($W \approx 0,84-1,00$), що підтверджує надійність висновків.

Отримані результати переконливо демонструють, що інтегрована цифрова автоматизація поліграфічного виробництва забезпечує найефективніше поєднання швидкості виконання, надійності технологічних операцій, стабільної якості друку та прозорості управління виробничими даними. Повна інтеграція Web-to-Print, MIS/ERP та DFE/RIP дозволяє істотно скоротити загальний виробничий цикл, мінімізувати ризики помилок, оптимізувати налаштування друкарського обладнання та забезпечити наскрізну трасованість даних за допомогою JDF/JMF. Часткова автоматизація на основі Web-to-Print може слугувати проміжним рішенням для підприємств, однак вона впливає переважно на фронт-офісні процеси та не охоплює ключові етапи планування, контролю та виробничої логістики.

4.3 Визначення основних завдань експерименту

Очікувані результати експериментального дослідження ґрунтуються на моделюванні виробничих процесів у трьох сценаріях автоматизації та порівняльному аналізі їхніх швидкісних, технологічних і якісних характеристик. Отримані дані мають продемонструвати, як цифрові системи управління впливають на структуру поліграфічного виробництва, його тривалість, стабільність та ефективність використання ресурсів.

Передбачається, що ручний сценарій характеризуватиметься найбільшою тривалістю виробничого циклу, високою залежністю від людського фактора та значним ризиком помилок при виконанні повторюваних операцій. У процесах, де відсутня стандартизована передача даних, очікується поява затримок між етапами, дублювання дій та зниження точності налаштування обладнання.

Для сценарію часткової автоматизації прогнозується скорочення часу виконання фронт-офісних операцій, зокрема отримання замовлення, передачі файлів та узгодження правок із замовником. Водночас основні вузькі місця – планування виробництва, контроль якості та передача завдань на обладнання – збережуть ознаки ручної праці, що обмежує загальний ефект від модернізації.

Найсуттєвіші зміни очікуються у сценарії повної цифрової інтеграції, який поєднує web-to-print, MIS/ERP та DFE/RIP. У цій моделі прогнозується істотне зменшення lead-time за рахунок автоматизованої передачі даних між усіма етапами виробничого контуру, відсутності дублювання операцій та застосування стандартизованих форматів JDF/JMF. Стабільність друку має зрости завдяки автоматичним пресетам, профілям RIP та зменшенню ручних налаштувань обладнання.

Очікується також покращення точності технологічного планування, зменшення витрат часу на документообіг і підвищення прозорості виробничого процесу. Це дозволить оптимізувати розподіл навантаження між дільницями, знизити частоту помилок та забезпечити передбачуваність результатів у повторних тиражах.

Загалом результати експерименту мають підтвердити, що комплексна цифрова автоматизація забезпечує найвищий рівень ефективності поліграфічного виробництва, поєднуючи прискорення операцій, підвищення технологічної стабільності та покращення управління даними. Такі висновки створюють основу для подальших рекомендацій щодо впровадження цифрових систем управління на поліграфічних підприємствах.

5 ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ

5.1 Аналіз базового (ручного) виробничого процесу поліграфічного підприємства

Ручний виробничий процес поліграфічного підприємства є вихідною точкою для подальшого порівняння рівнів автоматизації. Його структура характеризується значною кількістю послідовних операцій, що виконуються працівниками без використання інтегрованих цифрових систем управління. Для опису процесу побудовано BPMN-схему, яка містить усі основні Swimlane-ролі: «Замовник», «Менеджер», «Оператор препресу», «Друкар» та «Архів». Усі етапи виконуються вручну або через фрагментарні інструменти взаємодії (електронна пошта, месенджери, локальні файли), що визначає низьку швидкість проходження замовлення та високу варіативність часу виконання.

Структура та тривалість основних операцій ручного процесу (рис. 5.1):

- отримання замовлення менеджером (15-30 хв): контакт із замовником, збір початкової інформації, фіксація технічного завдання;
- уточнення вимог (1-3 год): обмін повідомленнями, погодження параметрів, надання рекомендацій щодо підготовки макету;
- передача файлів вручну (10-20 хв): отримання матеріалів через e-mail або месенджер, збереження у локальних папках;
- ручна перевірка макету (prepress) (30-60 хв): візуальний контроль, виправлення помилок, підготовка матеріалів до погодження;
- узгодження правок листуванням (2-24 год): багаторазові цикли «правка–перевірка–погодження», значні затримки через асинхронність комунікації;
- планування виробництва в Excel (30-90 хв): ручне формування графіка, розрахунок завантаження обладнання, узгодження з друкарем;

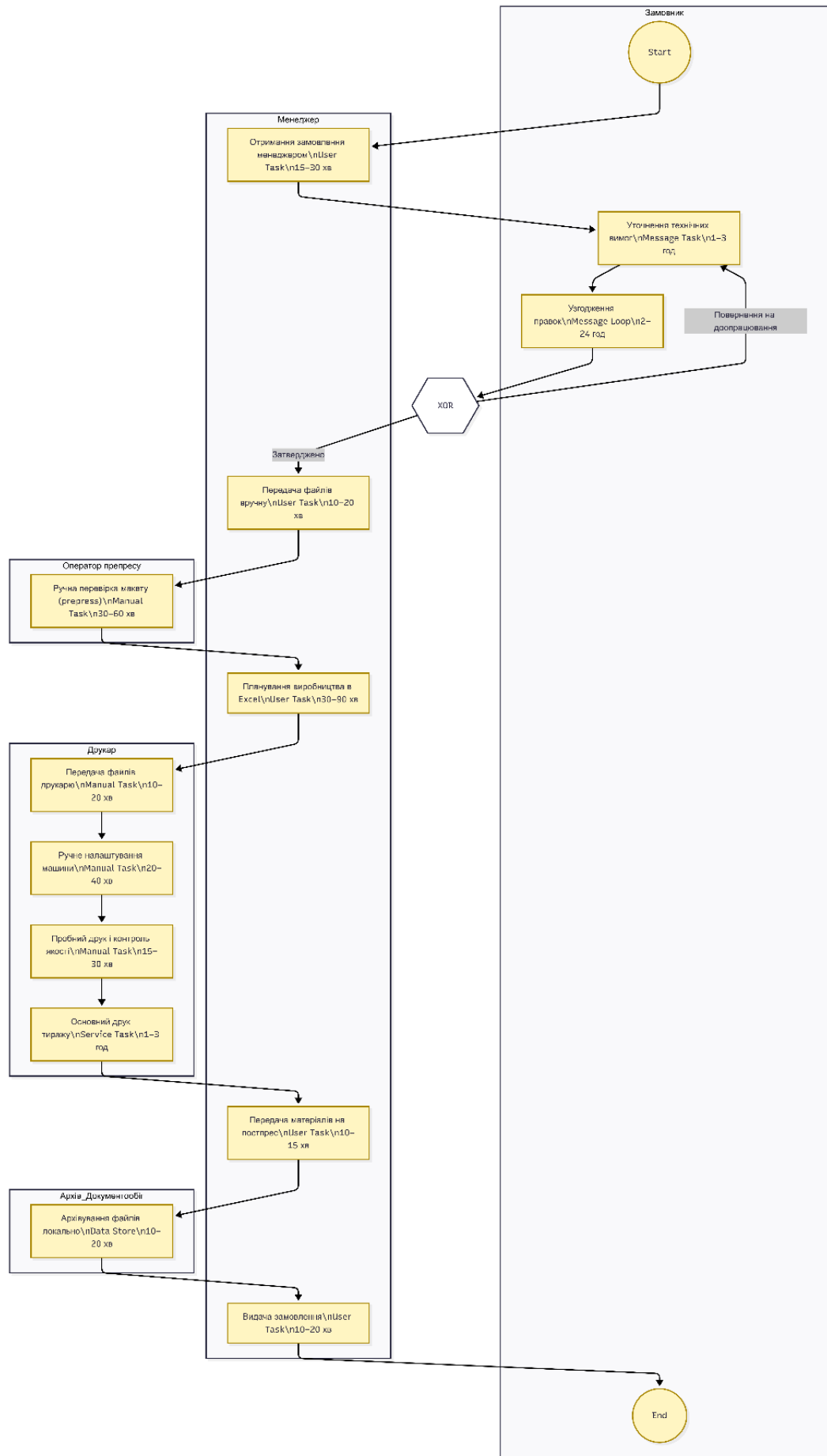


Рисунок 5.1 – BPMN – схема «ручний процес»

- передача файлів у друк (10-20 хв): пересилання файлів на робочу станцію друкаря, копіювання через носії або мережеві папки;
- ручне налаштування машини (20-40 хв): підбір параметрів друку, встановлення матеріалів, налаштування фарбового балансу;
- пробний друк і ручний контроль якості (15-30 хв): тестова відбитка, оцінювання оператором, коригування параметрів;
- основний друк тиражу (1-3 год): виконання друку без цифрового моніторингу параметрів;
- передача матеріалів на постпрес (10-15 хв): передача тиражу вручну оператору наступної ланки;
- архівування файлів локально (10-20 хв): збереження фінальних макетів у локальних каталогах без структури версій;
- видача замовлення (10-20 хв): передача готової продукції замовнику.

Проведений аналіз показує, що ручний процес складається переважно з задач типу Manual Task та User Task, що значно підвищує ризик людських помилок і створює суттєві затримки між етапами. Комунікація із замовником є тривалою та нестабільною, а підготовка макетів і планування виробництва виконуються із застосуванням несинхронізованих інструментів, які не забезпечують цілісності даних.

Відсутність автоматизованих механізмів передачі інформації та контролю параметрів друку зумовлює нерівномірність тривалості окремих операцій: час узгодження правок може змінюватися від кількох годин до повної доби, а ручна перевірка та налаштування обладнання потребують значної участі досвідченого персоналу.

Таким чином, ручний процес характеризується високою трудомісткістю, низькою передбачуваністю та значними втратами часу на міжопераційні переходи. Він створює обмеження для масштабування виробництва та підвищує залежність від людського фактора, що обґрунтовує необхідність подальшого дослідження впливу цифрової автоматизації.

5.2 Аналіз виробничого процесу за умов часткової автоматизації (Web-to-Print)

Часткова автоматизація виробничого процесу реалізується через використання web-to-print (W2P) систем, які покривають лише фронт-офісну частину взаємодії із замовником та окремі етапи препрес-підготовки. На відміну від повністю ручного процесу, W2P забезпечує автоматизований прийом замовлень, передачу файлів та базову перевірку макетів. Проте планування виробництва, налаштування друкарського обладнання та контроль якості залишаються значною мірою ручними.

Для аналізу побудовано BPMN-схему процесу (рис. 5.2) з використанням Swimlane-ролей: «Замовник», «W2P-система», «Менеджер», «Оператор препресу», «Друкар», «Архів».

Структура та тривалість основних виробничих операцій за умов часткової автоматизації:

- онлайн-форма замовлення (2-5 хв): замовник самостійно вводить параметри продукції; система одразу формує цифрове технічне завдання;
- автоматичне завантаження макету (1-2 хв): файл передається на сервер без участі менеджера;
- автоматична базова перевірка (preflight) (3-5 хв): W2P-система виконує перевірку формату, роздільної здатності та наявності шрифтів;
- узгодження правок через кабінет користувача (10-60 хв): комунікація прискорюється, однак залежить від швидкості реакції замовника;
- часткове планування менеджером (15-40 хв): попри автоматизацію перших етапів, планування виконують вручну у внутрішніх інструментах або Excel;
- передача файлів у друк (W2P → препрес) (5-10 хв): система надсилає макет оператору препресу, що зменшує внутрішні затримки;
- частково автоматизоване налаштування машини (10-20 хв): застосовуються пресети, але оператор усе ще виконує частину ручних коригувань;

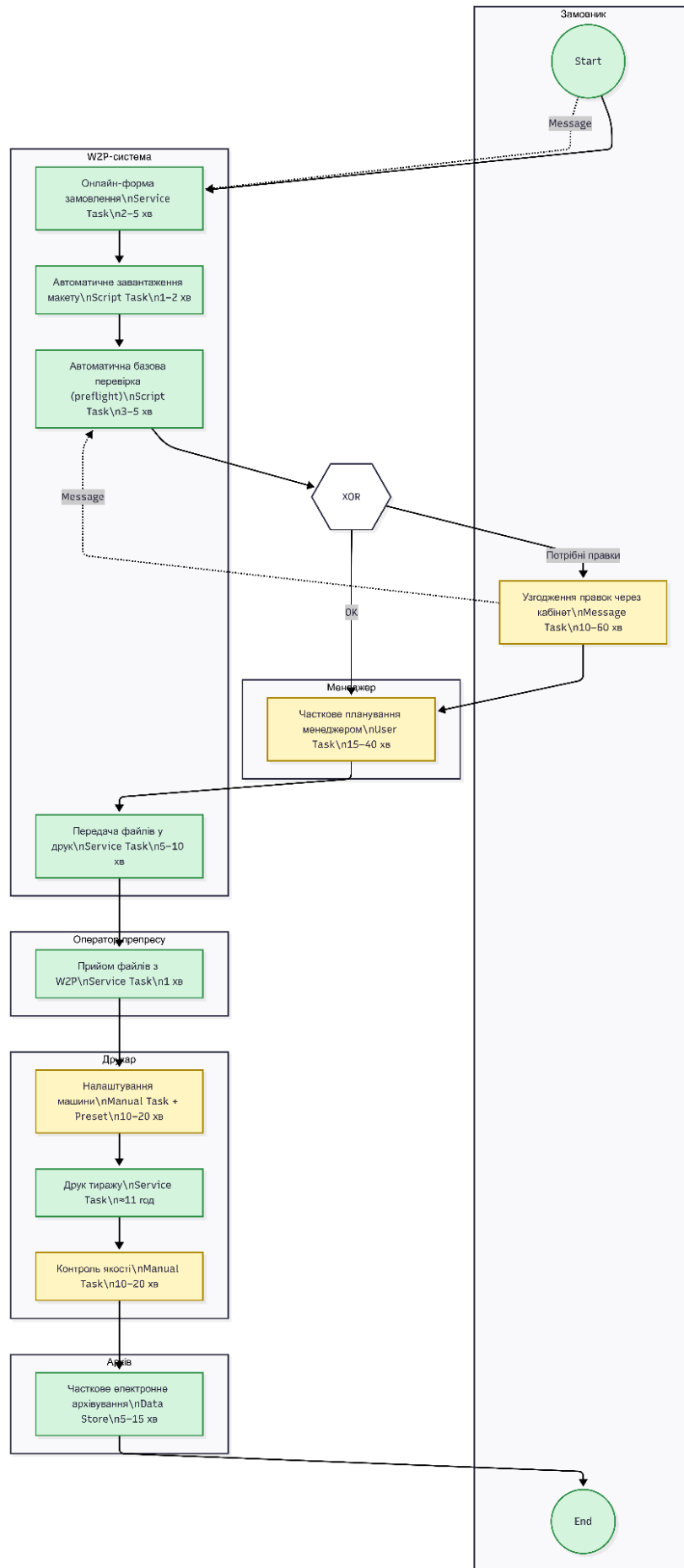


Рисунок 5.2 – BPMN – часткової автоматизації (Web-to-Print)

- друк тиражу (~1 год): тривалість стабільна, однак немає автоматичного зворотного зв'язку з машини;
- нестабільний контроль якості (10-20 хв): використання W2P не змінює процедури контролю – вона залишається операторською;
- часткове електронне архівування (5-15 хв): W2P зберігає матеріали, але не забезпечує повної структурованості архіву.

Порівняно з ручним процесом, часткова автоматизація значно скорочує час початкових етапів, де найбільшою проблемою були комунікаційні затримки. Автоматизація подання замовлення, завантаження файлів та preflight-перевірки усуває ручні дії, що раніше займали десятки хвилин. Водночас критичні етапи виробництва – планування, налаштування обладнання, контроль якості – лишаються залежними від персоналу, тому тривалість загального циклу зменшується, але нерівномірність та ризик помилок повністю не усуваються.

Автоматизовані задачі у BPMN-схемі представлені Script Task та Service Task, що позначає автоматичний характер операцій, тоді як ручні етапи позначені Manual Task та User Task. Узгодження правок модельовано через XOR-ворота, що відображає можливість повторних циклів комунікації.

У цілому, часткова автоматизація оптимізує фронт-офісний цикл, але не змінює характеру основних виробничих операцій. Web-to-print виступає як проміжний рівень автоматизації та створює базу для подальшої інтеграції MIS/ERP і DFE/RIP, необхідних для повної цифрової трансформації поліграфічного підприємства.

5.3 Аналіз виробничого процесу за умов повної цифрової інтеграції (W2P + MIS/ERP + DFE/RIP)

Повна цифрова автоматизація поліграфічного виробництва базується на поєднанні трьох ключових рівнів управління: web-to-print, MIS/ERP та DFE/RIP. Така інтегрована модель формує наскрізний цифровий виробничий

ланцюг, у якому всі операції – від подання замовлення до друку, архівування та логістичної обробки – виконуються автоматизовано, з мінімальним втручанням персоналу.

ВРМН-схема цього сценарію (рис. 5.3) демонструє чіткий поділ ролей: «Замовник», «W2P», «MIS/ERP», «DFE/RIP», «Друкарська машина», «Архів» і «Логістика». Усі критичні задачі змодельовані як автоматизовані Script Task або Service Task, що забезпечує найвищий рівень технологічної зрілості процесу.

У межах цього сценарію реалізуються такі етапи:

- автоматичне приймання замовлення через систему web-to-print (приблизно 1 хв), без залучення менеджера. Усі дані автоматично зберігаються у структурованому вигляді;

- автоматичний preflight у DFE/RIP (1-2 хв), під час якого перевіряються параметри PDF-файлів, профілі кольору, структура документа та можливі технічні відхилення;

- формування job ticket у MIS-системі (<1 хв), у якому автоматично визначаються матеріали, витрати, кількість аркушів, швидкість друку, вартість та маршрут руху завдання;

- автоматичне планування виробництва у MIS (<1 хв), що враховує доступність обладнання, пріоритетність замовлень та оптимальний розподіл ресурсів;

- узгодження правок через автоматизований кабінет замовника (5-20 хв), що мінімізує втручання менеджера та забезпечує повний контроль над версіями макету;

- передача JDF-файлу у друкарську машину (<1 хв), що виключає помилки ручного налаштування;

- автоматичне застосування пресетів та профілів обладнання (2-5 хв), яке забезпечує стабільні та передбачувані параметри друку;

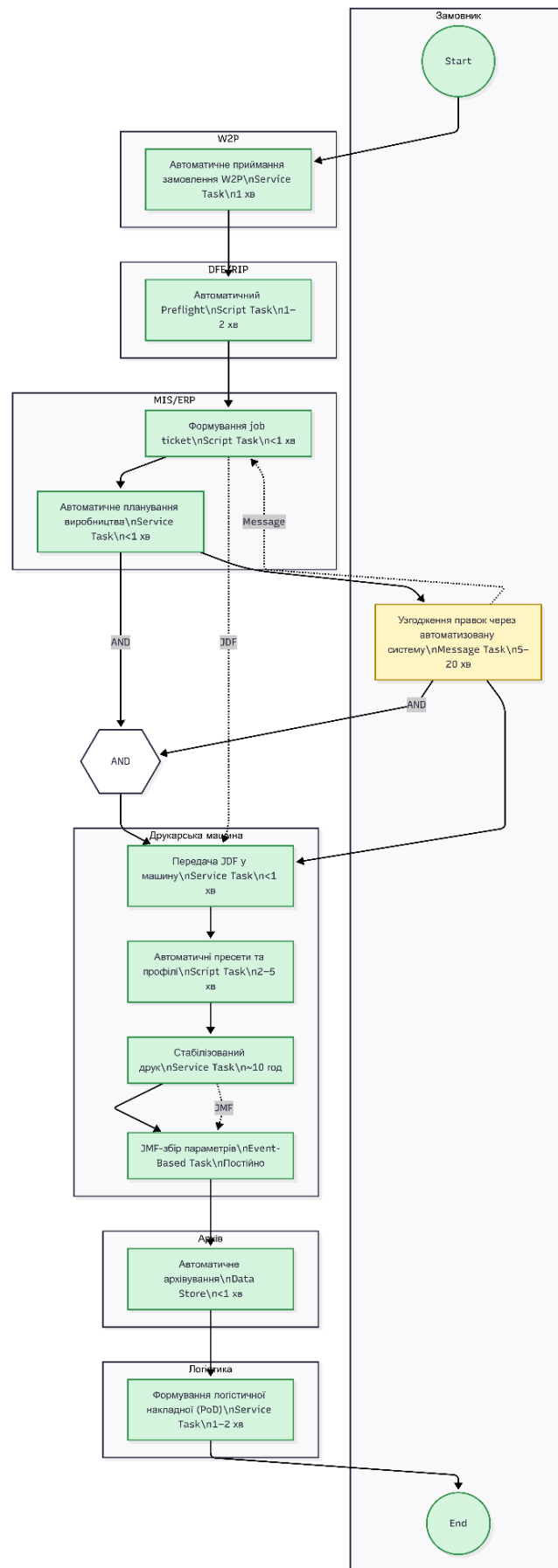


Рисунок 5.3 – BPMN – Аналіз виробничого процесу за умов повної цифрової інтеграції (W2P + MIS/ERP + DFE/RIP)

– стабілізований друк тиражу (30-90 хв). Час залежить від формату, щільності паперу та виробничої швидкості цифрової машини. Завдяки DFE-керуванню кольором та автоматизованим режимам прогріву/калібрування забезпечується мінімальна кількість відходів та рівномірна якість від першого до останнього відбитка;

– збір фактичних параметрів друку через JMF у реальному часі. Це дає змогу відстежувати точний хід виконання завдання та оперативно реагувати на відхилення;

– автоматичне архівування (<1 хв), у межах якого до централізованої бази передаються готові файли, JDF/JMF-метадані та дані про виконання;

– формування логістичної документації (1-2 хв), необхідної для передачі замовлення клієнту або на відправку PoD-каналами.

Повна цифрова інтеграція відрізняється від ручного та частково автоматизованого процесів тим, що виключає практично всі види ручних операцій – від введення даних до налаштування обладнання. Усі дії виконуються в єдиному інформаційному контурі, де дані проходять безперервний цикл JDF → друк → JMF-зворотний зв'язок → архів. Це робить виробничий процес стабільним, передбачуваним та масштабованим: тривалість виконання замовлення суттєво скорочується, відсутні затримки між етапами, мінімізуються ризики людських помилок, а якість друку залишається стабільною за рахунок автоматизованого керування кольором та налаштуванням обладнання.

Завдяки комплексній інтеграції W2P, MIS/ERP та DFE/RIP формується найбільш ефективна модель цифрового виробництва, здатна обробляти великий обсяг замовлень з мінімальним втручанням операторів та максимальною точністю виконання.

5.4 Метод комплексної вагової оцінки

Для кількісного визначення впливу різних рівнів автоматизації на ефективність поліграфічного виробництва застосовано метод комплексної вагової оцінки. Порівняння здійснювалося на основі заздалегідь сформованої системи критеріїв та підкритеріїв, які відображають реальну структуру виробничого циклу: отримання замовлення, передача даних, перевірка макетів, узгодження правок, планування, передача у друк, налаштування обладнання, контроль якості, організація документообігу та загальна швидкість виконання.

Кожен критерій оцінювався за дев'ятибальною шкалою, де 1 означає максимальну ручну трудомісткість і високий ризик помилок, а 9 – найвищий рівень цифрової автоматизації з мінімальним втручанням оператора. Для аналізу обрано три моделі виробничого процесу: традиційний ручний цикл, часткову автоматизацію на основі Web-to-Print та повну інтеграцію цифрових систем управління, що поєднує Web-to-Print, MIS/ERP і DFE/RIP.

Оцінювання проводилося окремо для кожного сценарію, після чого було обчислено сумарний бал та середній швидкісний коефіцієнт. Отримані результати подано у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Порівняльна оцінка швидкості виконання виробничих операцій

Етап процесу	Ручний процес	Часткова автоматизація (W2P)	Повна інтеграція (W2P + MIS + DFE)
1	2	3	4
Отримання замовлення	3 – телефон/пошта	6 – онлайн-форма	9 – автоматичний прийом
Передача даних	2 – вручну	5 – завантаження	9 – інтегрований обмін
Перевірка файлів	3 – оператор	5 – базова валідація	9 – RIP/DFE препрес
Узгодження правок	3 – листування	6 – W2P-кабінет	8 – інтегроване погодження

Продовження таблиці 5.1

1	2	3	4
Планування виробництва	2 – Excel	4 – частково	9 – MIS автоматично
Передача у друк	2 – вручну	5 – частково	9 – JDF/JMF
Налаштування машини	3 – оператор	6 – пресети	8 – автопрофілі RIP
Контроль якості	3 – вручну	5 – частково	8 – стабілізований RIP
Документообіг / архів	2 – локально	5 – частково	9 – MIS база
Lead-time	3 – повільно	6 – середньо	9 – мінімальний
Ризик помилок	2 – високий	5 – середній	8 – низький

Сума балів:

- ручний процес – 28;
- часткова автоматизація – 58;
- повна інтеграція – 94.

Середній коефіцієнт:

- ручний процес – $2.5 / 9 (\approx 0.28)$;
- часткова автоматизація – $5.3 / 9 (\approx 0.28)$;
- повна інтеграція – $8.5 / 9 (\approx 0.94)$.

Оцінювання показало значні відмінності між трьома моделями. Ручний процес характеризується найвищою трудомісткістю, великою кількістю повторюваних операцій та високим ризиком помилок. Часткова автоматизація на основі Web-to-Print помітно прискорює початкові етапи роботи з клієнтом, однак не вирішує проблем глибокої взаємодії з виробництвом, зокрема планування, технологічної підготовки друку та контролю якості.

Найвищі показники забезпечує повна цифрова інтеграція Web-to-Print, MIS/ERP і DFE/RIP. Ця модель забезпечує наскрізну передачу даних, автоматизовану препрес-обробку, значне скорочення ручних маніпуляцій та стабільну якість друку. Порівняльний аналіз підтверджує, що інтеграція

цифрових систем управління має найбільший потенціал для прискорення виробничого циклу, підвищення його точності та зменшення ризику технологічних відхилень.

5.5 Розрахунок інтегрального показника ефективності цифрових систем автоматизації

Для узагальнення результатів експериментального дослідження та кількісного підтвердження переваг цифрової автоматизації поліграфічного виробництва було розраховано інтегральний показник ефективності $K_{\text{інт}}$. Він дає змогу оцінити рівень автоматизації не за окремими етапами, а в цілому – як комплексний ефект впливу систем W2P, MIS/ERP та DFE/RIP на виробничий цикл.

Методика інтегральної оцінки передбачає нормалізацію часткових коефіцієнтів швидкості та їх усереднення. Нормований коефіцієнт для кожної моделі розраховано за формулою:

$$K_i = \frac{\sum_{j=1}^n b_{ij}}{n},$$

де b_{ij} – оцінка швидкості виконання j -ї операції у моделі i ,
 n – кількість досліджуваних операцій ($n = 11$).

Інтегральний показник автоматизації:

$$K_{\text{інт}} = \frac{K_i}{9},$$

де 9 – максимальне значення за дев'ятибальною шкалою.

Використовуючи значення з таблиці 5.1, отримано наступні результати (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 – Інтегральні показники ефективності моделей автоматизації

Модель	Сума балів	Середнє значення K_i	Нормований коефіцієнт $K_{\text{інт}}$
Ручний процес	28	2.55	0.28
Часткова автоматизація (W2P)	58	5.27	0.59
Повна інтеграція (W2P + MIS/ERP + DFE/RIP)	94	8.55	0.95

Отримані значення інтегрального показника демонструють суттєву різницю між рівнями автоматизації поліграфічного виробництва.

– ручний процес показує найнижчий результат (0.28), що відображає повільне виконання операцій, значні затримки між етапами та високий ризик помилок;

– часткова автоматизація (W2P) підвищує ефективність майже удвічі (0.59), оптимізуючи лише фронт-офісні операції та базову препрес-перевірку;

– повна інтеграція цифрових систем досягає найвищого коефіцієнта (0.95), що наближається до максимально можливого значення. Це підтверджує, що наскрізний цифровий ланцюг забезпечує майже повне усунення ручних дій, мінімальні затримки, контроль якості в реальному часі та стабільність результатів.

Таким чином, інтегральний показник ефективності переконливо демонструє, що найбільш доцільним напрямом цифрової трансформації поліграфічного підприємства є впровадження повної інтеграції W2P + MIS/ERP + DFE/RIP, яка забезпечує максимальне прискорення процесів, високу точність виконання та значне зниження виробничих ризиків.

6 РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ НА БАЗІ ДАНИХ ПРОВЕДЕННОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Цифрова трансформація поліграфічного підприємства передбачає комплексне впровадження інструментів, які покращують швидкість, прозорість і керованість виробничих процесів. Нижче наведено рекомендації щодо поетапного впровадження цифрових рішень із конкретними прикладами систем, які довели свою ефективність у галузі.

1 Вибір оптимального рівня автоматизації (з прикладами рішень).

Підприємству слід оцінити власну цифрову зрілість і визначити, який рівень автоматизації є найбільш релевантним:

– стартовий рівень (лише W2P): Starcard.ua, Vistaprint Editor, Wix Print Shop, Gelato, Printful;

– середній рівень (W2P + частковий препрес): Sboraka.ua, Canva Print, PSPDFKit Preflight;

– професійний рівень (W2P + MIS/ERP + DFE/RIP): Heidelberg Prinect, EFI Pace, PrintVis, Kodak Prinergy, EFI Fiery;

Вибір рівня залежить від масштабів підприємства, обсягу замовлень та наявного обладнання.

2. Впровадження Web-to-Print як першого рівня цифровізації.

Ефективність W2P-рішень підтверджена для підприємств, що працюють з ритейл-замовленнями та регулярним потоком клієнтів. Впровадження таких систем дозволяє автоматизувати отримання замовлень і мінімізувати участь менеджерів.

Приклади сучасних W2P-платформ:

- Starcard.ua – автоматизація візиток, листівок, постерів;
- Wolf.ua – масова онлайн-продукція, пресети матеріалів і форматів;
- Sboraka.ua – розрахунок і конструктор пакування з 3D-візуалізацією;
- Printful / Printify / Gelato – глобальні PoD сервіси з API інтеграцією;
- PressWise W2P – корпоративне рішення для друкарень.

Такі рішення формують фундаментальний рівень автоматизації: швидке приймання замовлень, автоматичне завантаження файлів, попередній preflight.

3. Оптимізація виробництва за допомогою MIS/ERP (прикладі промислових рішень).

MIS/ERP-системи забезпечують планування виробництва, розрахунок собівартості, управління ресурсами та контроль виконання замовлень. До найбільш поширених рішень належать:

- Heidelberg Prinect Business Manager – глибока інтеграція з друкарським обладнанням Heidelberg через JDF/JMF;
- EFI Race / EFI Radius – лідер в автоматизації комерційного та пакувального друку;
- PrintVis (Microsoft Dynamics 365) – гнучка ERP-система з адаптацією до малих і середніх друкарень;
- Optimus Dash MIS – популярне рішення для малих цифрових друкарень;
- OnPrintShop MIS – W2P + ERP у єдиній екосистемі.

Ці системи значно скорочують трудозатрати на планування та забезпечують прозорість виробничих процесів.

4. Автоматизація препресу та друку (DFE/RIP) – приклади світових систем.

DFE/RIP-рішення автоматизують препрес, керування кольором, імпозицію і передачу параметрів друку. Приклади ключових систем:

- EFI Fiery – найпоширеніший RIP для цифрових друкарських машин KM/Canon/Ricoh;
- Kodak Prinergy – промислова система препрес-автоматизації з rule-based workflow;
- HP Indigo Production Pro – DFE для Indigo зі стабілізацією кольору;
- Agfa Apogee – офсет і гібридний препрес із JDF/JMF підтримкою;
- Screen Equios – автоматизований RIP для високошвидкісних струменевих рішень.

Використання таких систем дозволяє мінімізувати ручні операції препресу, стабілізувати якість та скоротити час налаштування машини до 2-5 хв.

5. Загальна стратегія цифрової трансформації поліграфічного підприємства (з орієнтиром на конкретні інструменти).

Комплексна стратегія має базуватися на створенні наскрізного цифрового управління (табл. 6.1).

Таблиця 6.1 – Основні цифрові компоненти поліграфічного виробництва та їх функціональність

Рівень цифрової системи	Приклади реальних систем	Ключові функції та процеси
1. Web-to-Print (передній офіс)	Starcad.ua, Printful, OnPrintShop W2P	онлайн-замовлення; автоматичне формування макетів; первинний preflight та валідація файлів
2. MIS/ERP (ядро виробництва)	Prinect MIS, EFI Pace, PrintVis	створення job-ticket; автоматичне виробниче планування; контроль завантаження та ресурсів; розрахунок собівартості
3. DFE/RIP (препрес і друк)	EFI Fiery, HP Indigo DFE, Kodak Prinergy	автоматичний preflight; імпозиція; генерація JDF-параметрів; застосування пресетів та профілів
4. Друкарське обладнання з JDF/JMF підтримкою	Konica Minolta AccurioPress, Canon imagePRESS, Ricoh Pro, HP Indigo	автоматичне налаштування машини; стабілізований друк; зворотний JMF-моніторинг процесу
5. Архівування та tele-log аналітика	Prinect Data Center, EFI Fiery Central, PrintVis Archive	збереження PDF/JDF/JMF-даних; телеметрія виконання; аналітичні показники продуктивності
6. Логістика та Print-on-Demand (за потреби)	Gelato, Printify, ShipStation	автоматичне формування відправлень; PoD-доставка; інтеграція з e-commerce платформами

Сформована стратегія передбачає поетапне впровадження рішень, які можуть бути масштабовані залежно від технічного рівня підприємства та обсягу його виробництва.

6. Підсумковий ефект впровадження.

Після впровадження рекомендованих систем поліграфічне підприємство отримує:

- скорочення lead-time у 3-7 разів;
- зменшення ручних операцій на 70-95%;
- стабільність якості завдяки автоматизованому кольорокеруванню;
- прозорий облік ресурсів та витрат;
- підвищення загальної продуктивності;
- можливість масштабування без збільшення штату.

7 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

7.1 Характеристика науково-дослідної роботи

В економічній частині кваліфікаційної роботи обґрунтовується економічна доцільність виконання науково-дослідної роботи (НДР) на тему «Дослідження автоматизації поліграфічного виробництва за допомогою цифрових систем управління».

У межах НДР розробляється та досліджується комплексне рішення для поліграфічного підприємства, яке включає:

- систему Web-to-Print (W2P) – онлайн-прийом і реєстрація замовлень, автоматизована калькуляція, базова перевірка макетів, формування виробничих завдань без участі менеджера на етапі введення замовлення;

- інформаційну систему класу MIS – розрахунок собівартості, планування завантаження обладнання, облік матеріалів, формування документів та звітності в єдиній базі даних;

- модуль DFE/RIP – автоматизований preflight, імпозиція, кольорокерування та передача завдань на друкарські машини.

Головна мета науково-дослідного рішення – зменшення тривалості обробки одного замовлення, скорочення трудомісткості ручних операцій та підвищення стабільності якості продукції порівняно з існуючою (частково ручною) технологією поліграфічного виробництва.

У процесі виконання НДР вирішуються такі завдання:

- аналіз існуючих виробничих процесів поліграфічного підприємства;
- дослідження можливостей сучасних цифрових систем (Web-to-Print, MIS, DFE/RIP) для автоматизації поліграфічних процесів;

- формування цільової моделі автоматизованого процесу обробки замовлень;

- проведення експериментальних досліджень впливу автоматизації на тривалість та трудомісткість виконання замовлень;

- розрахунок кошторисної вартості НДР та економічного ефекту від впровадження її результатів;
- визначення показників економічної ефективності, зокрема коефіцієнтів типу “ефект-витрати”.

Результати НДР можуть бути використані для впровадження на реальному поліграфічному підприємстві як основа для системної цифрової модернізації виробництва, що відповідає вимогам методичних вказівок щодо практичної значущості науково-дослідних робіт.

7.2 Етапи виконання НДР, їх трудомісткість та заробітна плата

НДР поділено на три основні етапи:

- підготовчий етап – аналіз діючих процесів поліграфічного виробництва, збір вихідних даних і вимог до автоматизації, огляд і відбір аналогічних цифрових систем для поліграфії;
- основний етап – побудова цільової моделі автоматизованого процесу, налаштування та інтеграція систем Web-to-Print, MIS і DFE/RIP, проведення експериментів;
- заключний етап – тестова експлуатація, узагальнення результатів, оформлення звітної документації, підготовка рекомендацій щодо впровадження та навчання персоналу.

До виконання НДР залучено такі категорії фахівців:

- інженер-технолог – середньомісячна заробітна плата 30 000 грн;
- інженер-програмного забезпечення – 32 000 грн;
- аналітик – 31 000 грн.

Середньоденна заробітна плата виконавця робіт $Z_{\text{ср.дн}}$:

$$Z_{\text{ср.дн}} = \frac{Z_{\text{ср.міс}}}{n},$$

де $Z_{ср.міс}$ – середньомісячна заробітна плата виконавця роботи, грн;
 n – кількість робочих днів у місяці (приймається $n=22$).

Для прийнятих значень заробітної плати отримуємо:

– для інженера-технолога:

$$Z_{ср.дн} = \frac{30000}{22} \approx 1363,64 \text{ грн/день};$$

– для інженера-програмного забезпечення:

$$Z_{ср.дн} = \frac{32000}{22} \approx 1454,55 \text{ грн/день};$$

– для аналітика:

$$Z_{ср.дн} = \frac{31000}{22} \approx 1409,09 \text{ грн/день}.$$

Сума заробітної плати за окремими видами робіт визначається як добуток трудомісткості в люд.-днях на відповідну середньоденну ставку.

Етапи виконання НДР, трудомісткість робіт та заробітна плата виконавців наведені в табл. 7.1.

Таблиця 7.1 – Розрахунок трудовитрат і заробітної плати виконавців робіт

Перелік робіт	Кількість виконавців	Посада виконавця	Трудомісткість, люд.-днів	Середньоденна заробітна плата, грн	Сума заробітної плати, грн
1	2	3	4	5	6
1. Підготовчий етап					
1.1 Аналіз існуючих поліграфічних процесів, збір вимог до автоматизації	1	Інженер-технолог	4	1 363,64	5 454,56

Продовження таблиці 7.1

1	2	3	4	5	6
1.2 Аналіз програмних рішень (Web-to-Print, MIS, DFE) для поліграфії	1	Інженер-програмного забезпечення	5	1 454,55	7 272,75
2. Основний етап					
2.1 Моделювання цільового автоматизованого процесу (AS-IS / TO-BE)	1	Аналітик	4	1 409,09	5 636,36
2.2 Налаштування та інтеграція Web-to-Print, MIS, DFE	1	Інженер-програмного забезпечення	5	1 454,55	7 272,75
3. Заключний етап					
3.1 Тестування та дослідна експлуатація систем	1	Інженер-технолог	3	1 363,64	4 090,92
3.2 Підготовка звітної документації та навчання персоналу	1	Інженер-програмного забезпечення	3	1 454,55	4 363,65
Усього	–	–	24	–	34 090,99

Таким чином, сума витрат на заробітну плату виконавців НДР становить 34 090,99 грн. Ця величина враховується при розрахунку загальної кошторисної вартості НДР.

7.3 Розрахунок кошторисної вартості НДР

Згідно з методичними вказівками, кошторисна вартість НДР визначається як сума основних статей витрат, до яких належать:

- витрати на оплату праці виконавців НДР;
- нарахування на заробітну плату (єдиний соціальний внесок тощо) – при необхідності можуть враховуватися додатково;

- витрати, пов'язані з використанням програмних продуктів, необхідних для дослідження;
- витрати на обладнання та серверну інфраструктуру, що забезпечує проведення експериментів;
- інші одноразові витрати (консультації, навчальні матеріали, канцелярія тощо).

Для розрахунків у цій роботі основними статтями кошторису вважаємо:

- заробітну плату виконавців НДР $C_{ЗП}=34090,99$ грн;
- єдиний соціальний внесок, що складає 22 % від фонду заробітної плати – 7500,02 грн;
- витрати на пілотне впровадження (або використання) систем Web-to-Print, MIS та DFE/RIP під час дослідження;
- витрати на серверні ресурси;
- інші одноразові витрати.

Загальна кошторисна вартість НДР визначається як:

$$C_{\text{НДР}} = C_{\text{ЗП}} + C_{\text{ЄСВ}} + C_{\text{ПО}} + C_{\text{СЕРВЕР}} + C_{\text{ІН}},$$

де $C_{\text{ПО}}$ – сукупні витрати на програмне забезпечення;

$C_{\text{ЄСВ}}$ – єдиний соціальний внесок;

$C_{\text{СЕРВЕР}}$ – витрати на серверні ресурси;

$C_{\text{ІН}}$ – інші одноразові витрати.

Структура кошторисної вартості НДР наведена в табл. 7.2.

Таблиця 7.2 – Структура кошторисної вартості НДР

Стаття витрат	Позначення	Сума, грн
Заробітна плата виконавців НДР	$C_{\text{ЗП}}$	34 090,99
ЄСВ	$C_{\text{ЄСВ}}$	7 500,02
Пілотне впровадження Web-to-Print	C_{W2P}	20 000,00
Пілотне впровадження MIS	C_{MIS}	45 000,00

Продовження таблиці 7.2

Стаття витрат	Позначення	Сума, грн
Налаштування/підключення DFE/RIP	C_{DFE}	40 000,00
Серверні ресурси та інфраструктура	$C_{СЕРВЕР}$	10 000,00
Інші одноразові витрати	$C_{ІН}$	7 500,00
Разом кошторисна вартість НДР	$C_{НДР}$	164 091,01

Таким чином, кошторисна вартість НДР і пілотного впровадження запропонованого рішення становить 164 091,01 грн.

7.4 Оцінка результатів НДР

Результати НДР проявляються у зменшенні часу обробки одного замовлення та відповідній економії витрат на оплату праці персоналу.

За результатами проведених експериментів отримано такі дані:

- до впровадження результатів НДР середня тривалість обробки одного замовлення $t^0 = 1,0$ год/замовлення;
- після впровадження автоматизованої технології середня тривалість $t^1 = 0,7$ год/замовлення.

Скорочення часу на одне замовлення:

$$\Delta t = t^0 - t^1 = 1,0 - 0,7 = 0,3 \text{ год/замовлення.}$$

За річного обсягу робіт $N_{\text{рік}} = 3\,200$ замовлень/рік річна економія часу становить:

$$\Delta T_{\text{рік}} = \Delta t \cdot N_{\text{рік}} = 0,3 \cdot 3\,200 = 960 \text{ год/рік.}$$

Середню вартість години роботи кваліфікованого персоналу приймаємо на рівні $C_{\text{гр}} = 180$ грн/год. Тоді річна економія витрат на оплату праці (як економічний результат НДР) дорівнює:

$$E_{\text{витр}} = \Delta T_{\text{рік}} \cdot C_{\text{год}} = 960 \cdot 180 = 172\,800 \text{ грн/рік.}$$

Отже, унаслідок впровадження результатів НДР підприємство отримує річну економію витрат на оплату праці персоналу в розмірі 172 800 грн.

7.5 Визначення економічної ефективності результатів НДР

Для оцінювання економічної ефективності результатів НДР використовується коефіцієнт “ефект–витрати”, який показує відношення економічного результату до витрат на виконання НДР.

У випадку, коли результат НДР проявляється у зменшенні витрат, використовується коефіцієнт:

$$K_2 = \frac{E_{\text{витр}}}{C_{\text{НДР}}},$$

$$K_2 = \frac{172800}{164091,01} \approx 1,05.$$

де $E_{\text{витр}} = 172800$ грн/рік – річна економія витрат;

$C_{\text{НДР}} = 164\,091,01$ грн – кошторисна вартість НДР.

Це означає, що кожна 1 грн витрат на НДР забезпечує близько 1,05 грн річної економії витрат. Значення $K_2 > 1$ свідчить про економічну доцільність виконання НДР.

Для характеристики впливу НДР безпосередньо на часову характеристику процесу (тривалість обробки одного замовлення) можна ввести коефіцієнт:

$$K_3 = \frac{\Delta t}{C_{\text{НДР}}},$$

$$K_3 = \frac{0,3}{164091,01} \approx 1,83 \cdot 10^{-6} \frac{\text{год/замовлення}}{\text{грн}}.$$

де $\Delta t = 0,3$ год/замов. – зменшення тривалості обробки одного замовлення.

Тобто кожна гривня витрат на НДР забезпечує скорочення тривалості обробки одного замовлення приблизно на 0,00000183 години ($\approx 0,0066$ сек.).

Цей показник є допоміжним і відображає “чутливість” часу виконання замовлення до вкладених коштів.

Для наочності визначимо простий термін окупності витрат на НДР:

$$T_{\text{ок}} = \frac{C_{\text{НДР}}}{E_{\text{витр}}} = \frac{164091,01}{172800} \approx 0,95 \text{ року.}$$

Отже, орієнтовний період окупності витрат на НДР становить менше одного року (приблизно 11,4 місяців).

7.6 Висновки до економічної частини

На основі проведених розрахунків і з урахуванням вимог методичних вказівок можна сформулювати такі висновки.

1. У межах науково-дослідної роботи за темою *«Дослідження автоматизації поліграфічного виробництва за допомогою цифрових систем управління»* розроблено та досліджено комплексне рішення, яке включає взаємодію систем Web-to-Print, MIS та DFE/RIP і спрямоване на скорочення тривалості обробки замовлень та зменшення трудомісткості процесів.

2. Визначено трудомісткість виконання НДР та розраховано витрати на оплату праці виконавців. Сума заробітної плати за всі етапи НДР становить 34 090,99 грн, що відповідає реалістичним умовам оплати праці фахівців у поліграфічній галузі.

3. На основі структури основних статей витрат визначено кошторисну вартість НДР, яка разом з витратами на використання програмних засобів, серверних ресурсів та іншими одноразовими витратами становить 164 091,01 грн.

4. За результатами експериментальних досліджень встановлено, що впровадження розробленого рішення дозволяє зменшити середній час обробки

одного замовлення з 1,0 до 0,7 год, що при річному обсязі 3 200 замовлень забезпечує економію часу в розмірі 960 год/рік.

5. Оцінивши вартість години роботи персоналу, отримано річну економію витрат на оплату праці в розмірі 172 800 грн/рік, що є економічним результатом впровадження НДР.

6. Коефіцієнт “ефект–витрати” для економії витрат $K_2 \approx 1,05$ свідчить про те, що кожна гривня витрат на НДР приносить понад 1 грн річної економії, а орієнтовний простий термін окупності становить близько 0,95 року ($\approx 11,4$ місяців).

Отже, економічне обґрунтування підтверджує доцільність виконання НДР та впровадження її результатів на поліграфічному підприємстві.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі виконано комплексне дослідження автоматизації поліграфічного виробництва за допомогою сучасних цифрових систем управління. На основі аналізу літературних джерел, огляду міжнародних та українських цифрових рішень, а також моделювання виробничих процесів сформовано цілісне уявлення про можливості та ефективність цифрової трансформації поліграфічних підприємств.

У ході роботи:

- визначено актуальність автоматизації поліграфічної галузі, зумовлену необхідністю скорочення lead-time, мінімізації людських помилок, підвищення продуктивності та забезпечення стабільної якості друку в умовах зростання обсягів малих і середніх тиражів;

- виконано системний огляд цифрових рішень: web-to-print платформ (Starcad.ua, Wolf.ua, Sboraka.ua, Printful), MIS/ERP-систем (Prinect, EFI Pace, PrintVis), а також DFE/RIP-комплексів (EFI Fiery, HP Indigo DFE, Kodak Prinergy), що формують основу цифрового виробничого контуру сучасних друкарень;

- сформовано та обґрунтовано систему критеріїв оцінювання ефективності автоматизації – функціональних, технологічних, інтеграційних та якісних. Побудовано узагальнену таблицю критеріїв і порівняльні моделі виробничих сценаріїв;

- проведено моделювання трьох рівнів виробництва: повністю ручного, частково автоматизованого (Web-to-Print) та повністю інтегрованого (W2P + MIS/ERP + DFE/RIP). Для кожного сценарію побудовано BPMN-схеми та діаграми Ганта, що відображають реальні часові витрати;

- здійснено порівняльний аналіз швидкості виконання одинадцяти ключових виробничих операцій, на основі якого обчислено інтегральні коефіцієнти ефективності. Встановлено, що ручний процес отримав 0.28,

часткова автоматизація – 0.59, повна інтеграція – 0.95 від максимально можливого рівня;

– експериментально доведено, що повна цифрова інтеграція забезпечує найвищу стабільність якості, найменші затримки між етапами виробництва та істотне скорочення часу на підготовку й друк. У більшості операцій зменшення часу становить від 60% до 90% порівняно з ручною схемою;

– розроблено рекомендації щодо впровадження цифрових систем управління, які передбачають поступовий перехід від W2P до MIS/ERP і далі до інтеграції з DFE/RIP та архівними сервісами. Сформовано узагальнену стратегію цифрової трансформації поліграфічного підприємства з конкретними прикладами систем.

Отримані результати роботи підтверджують гіпотезу дослідження: використання інтегрованих цифрових систем управління поліграфічним виробництвом забезпечує суттєве підвищення ефективності виробничого циклу, зменшує трудомісткість операцій, стабілізує якість друку та створює умови для масштабованого розвитку підприємства.

Таким чином, мета дослідження досягнута, усі поставлені завдання виконані, а розроблені рекомендації можуть бути використані поліграфічними підприємствами для планування та впровадження власних стратегій цифрової трансформації.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Дурняк, Б.В., Ткаченко, В.П., & Чеботарьова, І.Б. (2011). Стандарти в поліграфії та видавничій справі: довідник. Львів: УАД.
2. Ткаченко, В.П., Чеботарьова, І.Б., Киричок, П.О., & Григорова, З.В. (2008). Енциклопедія видавничої справи: навч. посібник. Х.: ХНУРЕ.
3. Чеботарьова, І.Б., & Бойко, А.О. (2018). Підвищення ефективності оперативного управління поліграфічним підприємством за допомогою АСУП. Structural transformations and problems of information economy formation: Collective monograph. (с. 268-280). Ascona Publishing. New York, USA.
4. Чеботарьова, І.Б., & Манаков, В.П. (2021). Дослідження засобів та методів управління якістю на підприємстві «БУРУНІН І К». Поліграфічні, мультимедійні та web-технології: монографія. (с. 164-188). Харків: ТОВ «Друкарня Мадрид».
5. Вовк, О.В., Чеботарьова, І.Б., & Поленок, Д.В. (2022). Дослідження особливостей кольоровідтворення на підприємстві ТОВ «НАРГУС». Radiotekhnika, (209), 226-238.
6. Вовк, О.В., & Грабовський, Є.М. (2022). Оптимізація процесу відтворення кольорового зображення в системі роботи препрес-інженера. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Т. 1. (с. 12-13).
7. Григор'єв, О.В., & Вовк, О.В. (2022). Метрологічне забезпечення якості поліграфічної продукції. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Т. 1. (с. 16-17).
8. Григор'єв, О.В., Вовк, О.В., & Петренко, А.І. (2022). Метрологічне забезпечення виробництва в Україні. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Т. 1. (с. 20-21).
9. Поленок, Д.В., & Вовк, О.В. (2022). Стандартизація кольоровідтворення на друкарських підприємствах з флексографії. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Т. 1. (с. 42-43).

10. Поленок, Д.В., & Вовк, О.В. (2022). Дослідження параметрів сучасних анілоксових валів у флексографії. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Т. 2. (с. 74-75).

11. Вовк, О.В., & Донський, Д.О. (2023). Використання додаткових модулів фальцювання при виготовленні книг у твердій палітурці цифровим способом друку. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Т. 1. (с. 10-11).

12. Khlynyna, S., Vovk, O., & Chebotarova, I. (2024). Prospects for using artificial intelligence for book layout. *Jóvenes en la ciencia*, (26). <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/4236/3717>.

13. Чеботарьова, І.Б., Вовк, О.В., & Чеботарьов, Р.І. (2024). Автоматизація процесу визначення рівня якості флексографічного друку пакування. Інформаційні технології у сучасному світі. (с. 186-187).

14. Вовк, О.В, Гаращук, Є.В., & Григор'єв, А.В. (2025). Дослідження автоматизації поліграфічного виробництва за допомогою цифрових систем управління. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Т. 1. (с. 84-85).

15. Вовк, О.В. (2022). Організація виробничого процесу на поліграфічному підприємстві «Формат-Харків». Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Інновації: монографія. (с. 5-36). Харків: ТОВ «Друкарня Мадрид».

16. Чеботарьова, І.Б., & Яценко, Л.О. (2023). Особливості кольоровідтворення на фабриці флексографського друку «НАРГУС». Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Сучасний стан: монографія. (с. 233-260). Харків: ТОВ «Друкарня Мадрид».