

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Навчально-науковий
інститут електроенергетики
(навчально-науковий інститут)
Факультет інформаційних технологій
(факультет)
Кафедра інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії
(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА кваліфікаційної роботи ступеня магістра

Здобувача вищої освіти _____ Александров Артем Сергійович _____
(ПІБ)
академічної групи _____ 123М-24-1 _____
(шифр)
спеціальності _____ 123 Комп'ютерна інженерія _____
(код і назва спеціальності)
за освітньо-професійною програмою _____ «Комп'ютерна інженерія» _____
(офіційна назва)

на тему «Обґрунтування структури та параметрів комп'ютерної системи контролю параметрів виробничого процесу видавничого комплексу»
(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційно ю	
кваліфікаційної роботи	доц. Шедловський І.А.			
розділів:				
синтез системи	проф. Цвіркун Л.І.			
розроблення програмного забезпечення	ас. Панферова Я.В.			
Рецензент				
Нормоконтролер	проф. Цвіркун Л.І.			

Дніпро
2025

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри
інформаційних технологій
та комп'ютерної інженерії
(повна назва)

_____ В.В. Гнатушенко
(підпис) (ініціали, прізвище)

« _____ » _____ 2025 року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеня магістра
(бакалавра, магістра)

здобувача вищої освіти _____ Александров А.С. _____ академічної групи 123М-24-1
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності _____ 123 Комп'ютерна інженерія

за освітньою-професійною програмою _____ «Комп'ютерна інженерія»
(офіційна назва)

на тему «Обґрунтування структури та параметрів комп'ютерної системи контролю параметрів виробничого процесу видавничого комплексу»,

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 13 жовтня 2025 р. №1165-с

Розділ	Зміст	Термін виконання
Стан питання та постановка завдання	На основі матеріалів практик, інших науково-технічних джерел сформулювати наукове завдання, конкретизувати предмет та мету досліджень	10.10.2025
Теоретичний	Обґрунтувати теоретичну базу для симуляції роботи комп'ютерної мережі контролю параметрів виробничого процесу видавничого комплексу	24.10.2025
Синтез системи	Розробка комп'ютерної системи контролю параметрів виробничого процесу видавничого комплексу	14.11.2025
Розроблення програмного забезпечення	Розробка програмного забезпечення симуляції роботи комп'ютерної мережі контролю параметрів виробничого процесу видавничого комплексу	28.11.2025
Експериментальний розділ	Проведення і обробка результатів експериментів симуляції роботи комп'ютерної мережі контролю параметрів виробничого процесу видавничого комплексу	05.12.2025

Завдання видано _____
(підпис керівника)

Дата видачі 05 вересня 2025 р.

Дата подання до екзаменаційної комісії

Прийнято до виконання _____
(підпис здобувача вищої освіти)

доц. Шедловський І.А.
(ініціали, прізвище)

10.12.2025 р.

Александров А.С.
(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 98 с., 22 рис., 25 табл., 1 дод., 45 джерел.

КОМП'ЮТЕРНА МЕРЕЖА, МЕРЕЖЕВИЙ ВУЗОЛ, МОДЕЛЬ МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ШКІДЛИВЕ ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Об'єкт дослідження – комп'ютерна система контролю параметрів виробничого процесу видавничого комплексу, що включає корпоративну мережу та засоби забезпечення її безпеки. Особливу увагу приділено стабільному контролю параметрів друку (вологість паперу, товщина фарбового шару, кольоропередача) в умовах значних інформаційних навантажень.

Мета роботи – синтез надійної комп'ютерної системи контролю виробничого процесу, стійкої до інформаційних перевантажень. Для досягнення мети виконано аналіз навантаження мережевих вузлів, визначено умови стабільної експлуатації мережі, обґрунтовано вибір технічних параметрів мережевих пристроїв та розроблено рекомендації щодо підвищення надійності й продуктивності системи.

Наукова новизна полягає у використанні математичної моделі на основі теорії масового обслуговування для оцінювання стійкості комп'ютерної мережі до інформаційних навантажень. Запропонована модель дозволяє виявляти перевантажені мережеві вузли, аналізувати критичні режими роботи та оцінювати ефективність модернізації мережі.

Практичне значення роботи полягає у розробці комп'ютерної системи контролю виробничого процесу, відкритої до технічної й програмної модернізації. Отримані результати математичного моделювання дають змогу оперативно виявляти недоліки в роботі мережі, оптимізувати її параметри та забезпечувати відповідність сучасним вимогам до продуктивності й кібербезпеки, що сприяє підвищенню якості друку та зниженню виробничих втрат.

ЗМІСТ

Вступ.....	9
1 Стан питання і завдання дослідження.....	13
1.1 Історичний контекст розвитку систем контролю у видавничій справі	13
1.2 Поліграфічна технологія	17
1.2.1 Напрямки сучасної поліграфія.....	17
1.2.2 Новітні технології та можливості.....	20
1.2.3 Друкована продукція в епоху цифрових технологій.....	22
1.2.4 Основні напрямки випуску поліграфічної продукції	24
1.3 Порівняльний аналіз українських та світових практик у видавничій справі....	26
1.3.1 Стан сучасних систем контролю в українських видавництвах	26
1.3.3 Перспективи розвитку української видавничої галузі	28
1.4 Об'єкт впровадження комп'ютерної системи контролю якості друку	29
1.4.1 Організаційна структура видавництва «Старого Лева»	29
1.4.2 Виробничі потужності видавництва «Старого Лева»	31
1.4.3 Виробничі процеси.....	35
1.4.4 Потужності та обсяги виробництва.....	36
1.4.5 Технологічні інновації видавництва «Старого Лева»	38
1.4.6 Аналіз існуючої мережі правління підприємства та її недоліки.....	39
1.5 Технічні аспекти комп'ютерної системи контролю якості друку	41
1.5.1 Загальна інформація.....	41
1.5.2 Ключові програмно-апаратні компонентів системи.....	42
1.5.3 Інтеграція системи з організаційною структурою.....	44
1.5.4 Технічні переваги впровадження комп'ютерна система контролю якості друку	44
1.6 Завдання щодо створення комп'ютерної системи контролю параметрів виробничого процесу видавничого комплексу	45
2 Теоретичні основи розробки комп'ютерної системи контролю якості друку для видавничого комплексу	48

	4
2.1 Актуальність та мета розробки системи контролю якості друку	48
2.2 Концептуальна модель комп'ютерної системи контролю якості друку	51
2.2.1 Архітектура системи	51
2.2.2 Моделювання роботи комп'ютерної мережі	52
2.2.2.1 Теорія масового обслуговування.....	52
2.2.2.2 Моделювання комп'ютерних систем у системах масового обслуговування	52
2.3 Теоретичні основи моделювання комп'ютерних систем контролю якості друку на основі теорії систем масового обслуговування	59
2.3.1 Основні поняття та принципи СМО.....	59
2.3.2 Математичний апарат СМО.....	60
2.4 Висновки до розділу.....	61
3 Синтез системи підприємства	62
3.1 Формалізований підхід та інтеграція інформаційно-вимірювальних систем ...	62
3.2 Просторова структура видавничого комплексу	65
3.3 Обґрунтування структури та параметрів системи контролю.....	67
3.4 Апаратне забезпечення комп'ютерної системи	71
3.5 Висновок	72
4 Розробка ПЗ для контролю параметрів виробничого процесу видавничого комплексу на основі теорії СМО.....	74
4.1 Призначення та сфера застосування програми.....	74
4.2 Обґрунтування технічних характеристик програми на основі СМО	74
4.2.1 Завдання з розробки ПЗ на основі СМО	75
4.2.2 Структура ПЗ з використанням СМО	76
4.2.3 Метод організації вхідних і вихідних даних на основі СМО.....	77
4.2.4 Вибір складу програмних засобів.....	77
4.3 Опис розробленої програми на основі СМО	77
4.3.1 Загальні відомості про використання СМО	78
4.3.2 Функціональне призначення програми на основі СМО.....	78
4.3.3 Опис логічної структури програми з використанням СМО.....	79

	5
4.3.4 Технічні засоби для розробки ПЗ	79
4.3.5 Алгоритм роботи ПЗ, розробленого на основі СМО.....	79
4.3.6 Входи та виходи параметрів моделювання мережі на основі СМО	79
4.4 Висновок.....	80
5 Експериментальний розділ: Моделювання комп'ютерної системи контролю якості друку для друкарні «Поліграфсервіс»	81
5.1 Вступ.....	81
5.1 Розробка моделі СМО комп'ютерної системи контролю якості друку	81
5.1.1 Архітектура моделі.....	81
5.1.2 Маршрутна матриця та час обробки даних.....	83
5.1.3 Розрахунок параметрів системи	84
5.2 Аналіз параметрів комп'ютерної системи контролю якості друку	84
5.2.1 Робота системи в нормальному режимі	84
5.2.2 Оптимізація системи	85
5.2.3 Робота системи під впливом зовнішніх факторів.....	86
5.3 Висновки за розділом.....	89
Висновки.....	91
Список літератури.....	95
Додаток А Текст програми	99

ВСТУП

У сучасному світі, де технологічний прогрес не просто змінює, а кардинально перетворює традиційні галузі, видавничий комплекс опиняється на перехресті викликів та можливостей. Глобалізація, цифровізація та, на жаль, воєнні реалії змушують українські видавництва не просто адаптуватися, а швидко переосмислювати підходи до виробництва. Як зазначається у звіті Держстату України (2023), за останні два роки витрати на поліграфічні матеріали зросли на 25%, що робить оптимізацію виробничих процесів критично важливою. Якщо раніше автоматизація була питанням конкурентоспроможності, то сьогодні - це питання виживання в умовах дефіциту ресурсів, логістичних перешкод та необхідності підтримувати високі стандарти якості навіть під час блекаутів та обстрілів.

Комп'ютерні системи контролю параметрів виробництва стають не просто інструментом, а стратегічним активом, який дозволяє:

- автоматизувати рутинні процеси (моніторинг вологості паперу або температури фарби), звільняючи час працівників для творчих завдань. Дослідження ISO 12647-2:2013 [1] підтверджує, що автоматизація контролю якості зменшує відсоток браку на 15...20% - критично важливий показник для українських видавництв, які стикаються з дефіцитом сировини.

Зменшити витрати на енергію та матеріали на 10...15% [2], що дозволяє направляти заощаджені кошти на підтримку працівників або розвиток нових проєктів. Наприклад, у видавництві "Старого Лева" після впровадження системи контролю вологості паперу витрати на матеріали зменшилися на 12% [3].

Забезпечити безперебійну роботу навіть за умов воєнних ризиків завдяки хмарним рішенням та резервним системам живлення. [4]

Цей розділ не просто аналізує структуру та параметри комп'ютерних систем контролю, а розглядає їх як інструмент стійкості українських видавництв у кризових умовах. Ми зосередимося на:

Адаптації світових практик (досвід Німеччини та Польщі, де використання ERP-систем скоротило витрати на 25...30% [5] до українських реалій, враховуючи обмежені бюджети та специфіку локального ринку.

Гуманітарному вимірі технологій: як автоматизація допомагає зберегти робочі місця та зменшити стрес працівників [6] про вплив цифровізації на продуктивність.

Перспективах розвитку, зокрема впровадженні блокчейну для захисту авторських прав [7], 3D-друку для прототипування [8] та хмарних платформ для віддаленої роботи (досвід Google Cloud у Польщі [9]).

У контексті війни технології перестають бути просто засобом підвищення ефективності - вони стають інструментом збереження галузі, її культурної ролі та економічної стійкості.

Поліграфічна продукція - це не просто друк, а мистецтво створення візуальних рішень, які допомагають брендам спілкуватися зі своєю аудиторією. Від логотипів до великоформатних білбордів - кожен елемент має своє призначення та впливає на сприйняття бренду. Важливо пам'ятати, що успішний дизайн поєднує в собі креативність, функціональність та відповідність цілям бренду.

Об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження є програмна та технічна реалізація комп'ютерної системи контролю параметрів виробничого процесу видавничого комплексу. Ця система включає апаратне та програмне забезпечення, яке використовується для моніторингу, аналізу та управління параметрами друку, такими як вологість паперу, товщина фарбового шару, кольоропередача та інші критичні показники.

Предмет дослідження. Предметом дослідження є структура комп'ютерної системи контролю, її інформаційні властивості, а також технічні можливості мережевого апаратного забезпечення, що використовуються для забезпечення стабільності та ефективності виробничих процесів. Особлива увага приділяється аналізу продуктивності системи, її стійкості до інформаційних перевантажень та оптимізації роботи мережевих пристроїв.

Методи дослідження. Для виконання дослідження використовуються методи теорії масового обслуговування, які дозволяють моделювати поведінку комп'ютерної мережі за різних умов навантаження. На основі цих методів було розроблено математичну модель комп'ютерної системи, яка імітує роботу мережі видавничого комплексу. Проведено детальне дослідження властивостей системи з різними параметрами інформаційного середовища та застосуванням різних мережевих пристроїв.

Мета дослідження. Основна мета роботи - удосконалити комп'ютерну систему контролю параметрів виробничого процесу видавничого комплексу на основі моделі мережі масового обслуговування. Це дозволить підвищити ефективність, надійність та стійкість системи до інформаційних перевантажень.

Для досягнення цієї мети необхідно:

1. Визначити закономірності, які найбільше впливають на інформаційне перевантаження системи.
2. Оцінити ефект, який можна отримати при застосуванні цих закономірностей.
3. Вибрати способи зниження інформаційного перевантаження та оптимізувати роботу мережевих пристроїв.
4. Визначити основний практичний результат, який буде досягнутий при використанні моделі мережі масового обслуговування.

Завдання дослідження. Виявити мережеві вузли, які найбільше схильні до інформаційного перевантаження та можуть знижувати ефективність роботи всієї системи.

Визначити необхідні параметри для мережевих пристроїв, які дозволять реалізувати поліпшену систему контролю параметрів виробництва.

Розробити рекомендації щодо модернізації системи, спрямовані на підвищення її стійкості до перевантажень та оптимізацію роботи.

Ідея роботи. Ідея дослідження полягає в виявленні найбільш навантажених вузлів системи, які при перевантаженні знижують ефективність роботи всієї мережі. На основі аналізу цих вузлів будуть розроблені практичні рекомендації для

вирішення проблеми інформаційного перевантаження та підвищення продуктивності системи.

Наукова новизна. Наукова новизна роботи полягає у використанні моделі системи, розробленої на основі математичних методів теорії масового обслуговування, для виявлення «слабких місць» у мережі при сильному інформаційному перевантаженні. Це дозволяє оптимізувати роботу системи та знайти шляхи для її вдосконалення.

Практичні результати. Практичні результати дослідження включають наукові розробки, які моделюють комп'ютерну систему контролю параметрів виробничого процесу. Результати моделювання та перевірки працездатності системи представлені у вигляді графіків, таблиць та описуються в пояснювальній записці та додатках.

1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Історичний контекст розвитку систем контролю у видавничій справі

Історія систем контролю у видавничій справі бере свій початок ще з часів винаходу друкарського верстата Йоганном Гутенбергом у XV столітті. Однак справжній прорив у автоматизації друку відбувся лише в середині XX століття, коли механічні системи контролю почали замінятися електронними та комп'ютерними технологіями. Ці системи спочатку були орієнтовані на механічне регулювання параметрів друку, таких як тиск, подача фарби та вирівнювання паперу. Проте з розвитком електроніки та комп'ютеризації вони еволюціонували в складні комплекси, здатні забезпечувати високоточний контроль на всіх етапах виробництва друкованої продукції.

Вивчення історії та діяльності українських друкарень XVI-XVII століть ускладнене через трагічні обставини: пожежі, війни та руйнування знищили безліч архівів, книг, устаткування, а шрифти та кліше часто перетворювалися на металобрухт. Лише поодиноким друкарням пощастило зберегти свої скарби, як, наприклад, архіву Львівського ставропігійного братства, чий 206 видань дійшли до наших днів. Серед перших друкарень, заснованих на українських землях у XVI столітті, саме ця львівська друкарня майже два століття відігравала ключову роль у культурному та освітньому житті регіону.

До кінця XVI століття на українських теренах діяло вісім друкарень, сім з яких розташовувалися у Львові, а одна - в Острозі. Хронологія їхнього виникнення така:

1573 рік - друкарня Івана Федоровича, заснована відомим першодрукарем, чия діяльність стала початком українського книгодрукування.

1578 рік - друкарня князя Василя-Костянтина Острозького в Острозі, яка відіграла виняткову роль у розвитку освіти та культури.

1578 рік - пересувна друкарня королівської канцелярії, якою керував Микола Шарфенбергер.

1581 рік - друкарня Павла Щербича, що спеціалізувалася на виданні релігійної літератури.

1586 рік - друкарня Сацька Сеньковича та Сенька Корунки, яка друкувала книги кирилицею та грецькою мовою.

1591 рік - друкарня Львівського Ставропігійського Успенського братства, що стала одним із найважливіших культурних осередків тогочасної України.

1592 рік - друкарня Матвія Гарвольчика, яка працювала з латинською мовою.

1593...1599 роки - друкарня Матвія Берната, що також спеціалізувалася на латиномовних виданнях.

Цікаво, що чотири з цих друкарень використовували кирилицю та грецьку мову, а інші чотири - латину. Крім того, у Львові існувала вірменська друкарня Тер-Говганеса Карматенянца (Івана Муратовича), яка видала вірменський «Псалтир» (1616) та «Молитовник» (1618) - єдину книгу, надруковану турецько-вірменською мовою. У друкарні Христофора Вольбрама (1615) для видання книг застосовувалися латинські, кириличні, грецькі та єврейські шрифти, що свідчить про багатомовність та культурну різноманітність тогочасного Львова.

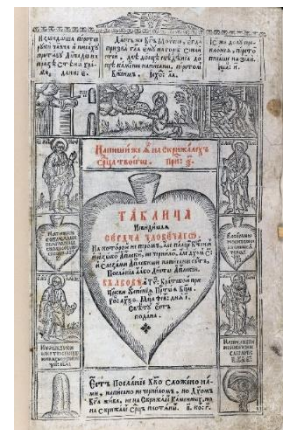
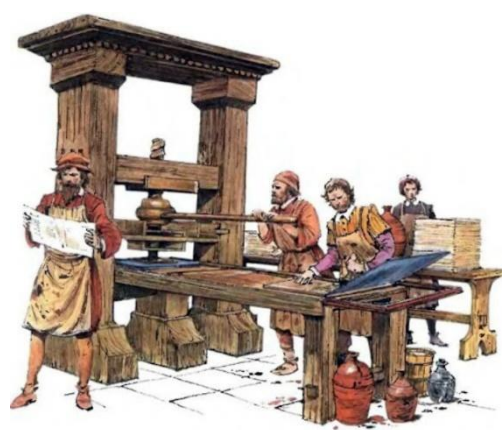


Рисунок 1.1 - Видавництва Друкарні Львівського ставропігійного братства

Місто Львів, як і будь-яке європейське місто того періоду, жив активним життям, підпорядкованим законам Магдебурзького права. Тут діяли ремісничі цехи, церковні братства та інші громадські інституції, які сприяли розвитку друкарської справи та культури в цілому. Ця епоха залишила глибокий слід в історії українського книгодрукування, незважаючи на численні втрати та випробування.

У 1980-х роках у Німеччині та інших розвинених країнах почали активно впроваджувати комп'ютеризовані системи контролю якості друку, які дозволяли відстежувати параметри в реальному часі. Це значно підвищило точність і швидкість виробництва, а також зменшило кількість браку. Комп'ютеризація торкнулася всіх етапів видавничого процесу - від введення тексту та зображень до контролю за якістю готової продукції. Завдяки цьому весь процес підготовки публікації до видання міг виконуватись однією людиною, що значно оптимізувало робочий процес і знижувало витрати на виробництво.

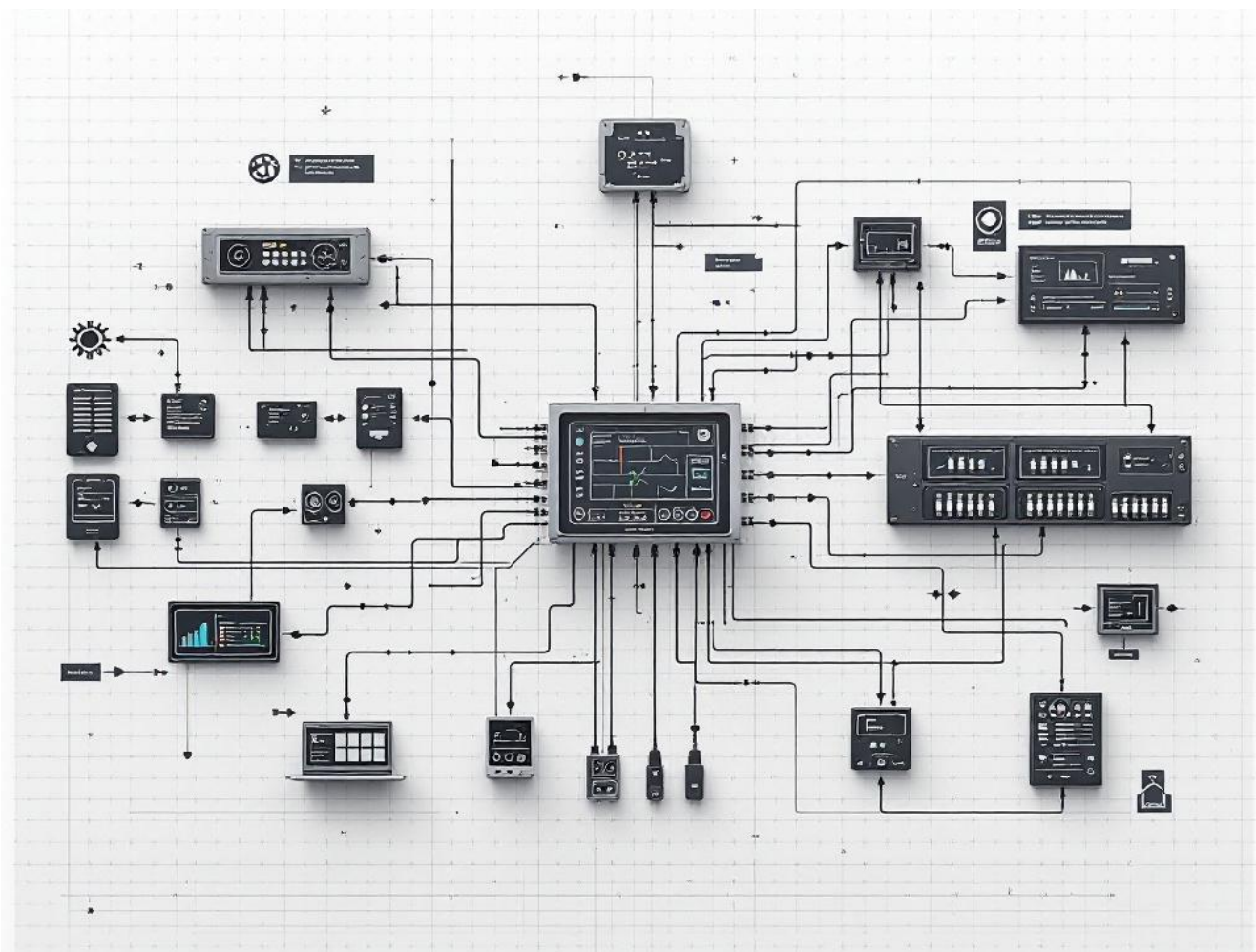


Рисунок 1.2 - Схема комп'ютерної системи для друкарського технологічного процесу

У сучасних умовах розвитку цифрових технологій та автоматизації виробничих процесів, видавничі комплекси стикаються з необхідністю впровадження інноваційних рішень для підвищення ефективності та якості продукції.

Одним з ключових напрямків модернізації є створення комп'ютерних систем, здатних контролювати та оптимізувати параметри виробництва в реальному часі. Такі системи дозволяють не лише мінімізувати витрати, але й забезпечувати стабільність технологічних процесів, що є критично важливим для конкурентоздатності підприємства.

Сьогодні видавнича справа переживає чергову революцію завдяки впровадженню Інтернету речей (IoT), штучного інтелекту (ШІ) та хмарних технологій. Ці інновації дозволяють не лише автоматизувати контроль якості, але й прогнозувати потенційні проблеми, оптимізувати логістику та персоналізувати друковану продукцію. Наприклад, системи на основі ШІ можуть аналізувати дані з датчиків друкарського обладнання, передбачати зношування деталей і запобігати простоям. Хмарні рішення, у свою чергу, забезпечують доступ до видавничих систем з будь-якої точки світу, що особливо актуально для видавництв, які працюють з віддаленими командами.

Еволюція систем контролю у видавничій справі наведена в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 - Еволюція систем контролю у видавничій справі

Період	Технології та інновації	Вплив на видавничу справу
XV-XIX століття	Механічні друкарські верстати, ручний контроль якості	Масове поширення друкованої продукції, стандартизація процесів
Середина XX століття	Електромеханічні системи контролю, автоматизація друкарських машин	Підвищення швидкості друку, зниження кількості браку
1980-2000 роки	Комп'ютеризація, системи контролю якості в реальному часі (ISO 12647-2:2013)	Інтеграція всіх етапів виробництва, оптимізація витрат, підвищення точності
2000-2020 роки	IoT, штучний інтелект, хмарні рішення	Прогнозування та запобігання проблемам, персоналізація продукції, віддалена робота
2020-дотепер	Інтеграція ШІ у всі етапи виробництва, розвиток хмарних платформ	Автоматизація творчих процесів, підвищення гнучкості та адаптивності виробництва

Незважаючи на високий рівень автоматизації, людина залишається ключовим елементом видавничого процесу. Сучасні системи контролю не лише підвищують продуктивність, але й допомагають фахівцям зосередитися на творчих та стратегічних завданнях. Редактор може використовувати автоматизовані

інструменти для перевірки граматики та стилю, але остаточне рішення щодо змісту та дизайну завжди залишається за людиною. Це дозволяє зберегти індивідуальність та якість кожного видання, враховуючи культурні та етичні аспекти суспільства.

1.2 Поліграфічна технологія

1.2.1 Напрямки сучасної поліграфія

Поліграфія в сучасному бізнесі: від візиток до великоформатних рішень

У сучасному світі важко уявити успішний бренд або компанію, яка б не використовувала друковану продукцію для просування, презентації чи вирішення бізнес-завдань. Поліграфія стала невіддільною частиною комунікації з клієнтами, партнерами та споживачами, допомагаючи формувати імідж, інформувати про послуги та залучати нову аудиторію.

1. Поліграфія для малого та середнього бізнесу, для приватних підприємців і невеликих компаній друкована продукція - це не лише візитки, а й цілий комплекс рекламних матеріалів:

- оформлення торгових точок: банери, плакати, настінні матеріали, які привертають увагу покупців;

- рекламні матеріали: листівки, флаєри, буклети, каталоги та брошури, які активно використовуються під час промоакцій;

- брендвана канцелярія та сувеніри: конверти, бланки, папки, ручки, блокноти та інші предмети, які допомагають закріпити імідж компанії в пам'яті клієнтів.

2. Поліграфія для великих компаній та корпорацій, які активно використовують друковану продукцію, але з більшим акцентом на іміджевих матеріалах:

- корпоративні видання: журнали, буклети, річні звіти, які демонструють досягнення компанії;

- зовнішня реклама: плакати, білборди, вивіски, які забезпечують високу видимість бренду;

- нішеві рішення: меню для ресторанів, етикетки та упаковка для виробників, періодичні видання для видавництв, оформлення виставкових стендів.

3. Поліграфія для державних установ, які також потребують друкованої продукції, але з акцентом на офіційних та інформаційних матеріалах:

- бланки та документи: друк різноманітних форм, анкет, сертифікатів;
- інформаційні та представницькі матеріали: буклети, плакати, брошури для громадських заходів.

4. Економічна ефективність поліграфічної продукції, якісна поліграфія - це не просто витрати, а інвестиція в розвиток бізнесу, вона допомагає:

- залучати нових клієнтів: яскраві та професійно оформлені матеріали привертають увагу та викликають довіру;
- утримувати існуючих клієнтів: брендвана продукція постійно нагадує про компанію;
- швидко окупати витрати: ефективна рекламна кампанія з використанням друкованих матеріалів може принести нові замовлення вже в найкоротші терміни.

5. Технології друку: від офсету до сублимації. Сьогодні в поліграфії використовуються різні технології, кожна з яких має свої переваги та сфери застосування:

- офсетний друк: ідеальний для великих тиражів, економічний та високоякісний, цей метод домінує на ринку, займаючи понад половину всього обсягу друку;

- цифровий друк: швидкий та гнучкий, але традиційно дорожчий, він активно розвивається, і виробники постійно прагнуть знизити собівартість без втрати якості;

- змішаний офсетно-цифровий друк: поєднує переваги обох методів, забезпечуючи оптимальне співвідношення ціни та якості.

Сублимація - нанесення зображень на різні поверхні, наприклад, на текстиль або кераміку. Ідеально підходить для сувенірної продукції.

Флексографія - використовує еластичні друкарські форми, що робить її ідеальною для етикеток та упаковки.

Шовкографія - перенесення зображень через спеціальні сітки, що дозволяє друкувати на нестандартних матеріалах, таких як дерево або поліетилен.



Рисунок 1.3 - Сучасне поліграфічне обладнання

Тиснення - створення опуклих зображень, іноді з використанням фольги, для надання продукції ексклюзивного вигляду.

Постпечатна - обробка: від ламінування до фальцювання

Друк - це лише частина процесу, не менш важливою є фінішна обробка, яка надає продукції завершеного вигляду та підвищує її практичність:

- ламінування - захист від механічних пошкоджень та вологи, що продовжує термін служби матеріалів;

- закруглення кутів - надання продукції естетичного вигляду та безпеки у використанні;

- нумерація сторінок або серійних номерів: важлива для документації та контролю тиражу;

- фальцювання - складання матеріалів у потрібну форму, наприклад, для буклетів або листівок.

Кожен з цих етапів вимагає ретельного планування, щоб витрати на обробку виправдалися отриманими перевагами - від покращення зовнішнього вигляду до збільшення терміну служби продукції. [16]

1.2.2 Новітні технології та можливості

У сучасному світі, де цифрові технології проникають у всі сфери життя, поліграфія переживає значні трансформації. Епоха цифровізації не лише змінила традиційні підходи до друку, а й відкрила нові горизонти для бізнесу та творчості. Розглянемо, які інновації стали ключовими в цьому процесі та як вони впливають на розвиток галузі.

Онлайн-замовлення: зручність та швидкість: Однією з найважливіших змін у сучасній поліграфії стала можливість оформлення замовлень через інтернет. Завдяки веб-інтерфейсам клієнти можуть самостійно обирати матеріали, формати та типи друку, не виходячи з дому чи офісу. Це значно спрощує процес замовлення, скорочує часові витрати та робить послуги більш доступними для широкої аудиторії.

Персоналізація - індивідуальний підхід до кожного клієнта: Цифрові технології дозволяють створювати персоналізовані друковані матеріали, адаптовані під потреби конкретного клієнта або цільової аудиторії. Такий індивідуальний підхід значно підвищує ефективність рекламних кампаній, оскільки клієнти краще реагують на матеріали, які враховують їхні уподобання та потреби. Персоналізація робить друковану продукцію більш привабливою та запам'ятовуваною.

Висока якість друку - чіткість, яскравість, точність: Сучасні технології поліграфії постійно вдосконалюються, забезпечуючи найвищу якість друку. Інноваційні принтери та обладнання для фінішної обробки дозволяють досягати

вражаючої чіткості зображень, насиченості кольорів та точності відтворення дрібних деталей. Це робить друковану продукцію більш привабливою для бізнесу, який прагне до візуальної досконалості та професійної презентації своїх продуктів.

Автоматизація виробництва: швидкість та гнучкість: Сучасні друкарні активно впроваджують системи автоматизації виробництва, які дозволяють оперативна реагувати на запити клієнтів. Це не лише прискорює процес виготовлення, але й підвищує його гнучкість, даючи змогу швидко адаптуватися до змін на ринку та потреб замовників.

Екологічна стійкість: відповідальність перед майбутнім: З розвитком цифрових технологій поліграфія стає більш екологічною. Сучасні методи друку та матеріали все частіше базуються на екологічно чистих технологіях. Ефективне використання ресурсів, можливість переробки та застосування біорозкладних матеріалів стають новим стандартом у галузі, що відповідає глобальним вимогам стійкого розвитку.

Майбутнє поліграфії - інтеграція з маркетингом та новими технологіями: Цифрова ера продовжує відкривати нові можливості для поліграфії. Очікується, що технології будуть ще тісніше інтегровані з маркетингом та аналітикою, дозволяючи точніше оцінювати ефективність рекламних матеріалів. Віртуальна та доповнена реальність можуть стати частиною поліграфічної індустрії, створюючи унікальні візуальні ефекти та інтерактивні рішення.

Цифрові технології кардинально змінили підходи до поліграфії, роблячи її більш доступною, ефективною та креативною. Вони відкривають нові можливості для бізнесу та творчих індустрій, дозволяючи втілювати ідеї в реальність з більшою легкістю та вражаючою якістю. Поліграфія в епоху цифровізації стає не лише інструментом, а й стратегічним партнером у досягненні бізнес-цілей. [17]

1.2.3 Друкована продукція в епоху цифрових технологій

У світі, де цифрові технології пронизують майже всі сфери життя, друкована продукція продовжує залишатися важливим і багатограним інструментом.

Переваги сучасної друкованої продукції та її роль у соціумові наведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 - Головні переваги сучасної друкованої продукції та її роль у соціумові

№	Категорія	Опис
1	Тактильні властивості	Однією з головних переваг друкованих матеріалів є їхня фізична присутність. Люди цінують можливість тримати в руках книгу, журнал або брошуру, перегортати сторінки, відчувати текстуру паперу та навіть його запах. Це створює більш особистий і емоційний зв'язок, який важко відтворити в цифровому форматі.
2	Концентрація уваги	Дослідження свідчать, що читання друкованих матеріалів сприяє кращій концентрації та розумінню інформації порівняно з читанням з екрана. Відсутність сповіщень та інших відволікаючих факторів дозволяє глибше зануритися в текст, що особливо важливо для навчання та аналітичної роботи.
3	Відчуття довіри	Друковані матеріали часто сприймаються як більш надійні та авторитетні, ніж їхні цифрові аналоги. Це особливо важливо для офіційних документів, наукових публікацій та новин, де точність і довіра мають вирішальне значення.
4	Доступність без технологій	Друкована продукція не вимагає електронних пристроїв або доступу до Інтернету, що робить її доступною в будь-якому місці та для будь-якої аудиторії, включаючи регіони з обмеженим технологічним доступом.
5	Друкована продукція в рекламі та маркетингу	У сфері реклами та маркетингу друкована продукція залишається потужним інструментом. Брошури, листівки, постери, каталоги та візитки створюють фізичний зв'язок між брендом і споживачем, що часто призводить до глибшого емоційного резонансу. Друкована реклама особливо ефективна в локальних маркетингових кампаніях, де вона допомагає формувати впізнаваність бренду та підтримувати зв'язок зі спільнотою. Крім того, відсутність необхідності в інтернет-з'єднанні для доступу до друкованої реклами забезпечує її доступність для широкого кола споживачів.
6	Друкована продукція в освіті	У освітньому процесі друковані матеріали, такі як підручники, робочі зошити та наукові публікації, продовжують відігравати ключову роль. Вони дозволяють студентам зосередитися на навчальному матеріалі без відволікань, які часто супроводжують використання цифрових пристроїв. Дослідження показують, що читання з паперу сприяє кращому розумінню та запам'ятовуванню інформації порівняно з читанням з екрана. Крім того, можливість робити нотатки на полях та виділяти важливі фрагменти тексту робить роботу з друкованими матеріалами більш інтуїтивною та зручною.

№	Категорія	Опис
7	Друкована література	Друковані книги продовжують бути популярними серед читачів усіх вікових категорій. Вони пропонують унікальний тактильний досвід, який неможливо відтворити за допомогою цифрових пристроїв. Багато людей віддають перевагу друкованим книгам, оскільки це дозволяє краще зосередитися на тексті та уникнути втоми очей, характерної для тривалого читання з екранів. Крім того, книги як фізичні об'єкти можуть стати елементами інтер'єру, подарунками та предметами колекціонування.
8	Екологічний аспект друкованої продукції	У контексті зростаючої уваги до екологічних питань друкована продукція також адаптується, щоб зменшити свій вплив на довкілля. Використання переробленого паперу, екологічних чорнил та ефективніших технологій друку допомагає знизити вуглецевий слід виробництва друкованих матеріалів. Багато видавництв і друкарень впроваджують програми відновлення та переробки, щоб забезпечити більш стійке використання ресурсів.

Попри стрімкий розвиток електронних медіа, друковані матеріали не втрачають своєї актуальності в рекламі, освіті, літературі та багатьох інших галузях. Їхня стійкість пояснюється рядом унікальних переваг, які вони пропонують навіть у цифрову добу.

Незважаючи на широке поширення цифрових технологій, друкована продукція залишається невід'ємною частиною нашого суспільства. Вона пропонує унікальні переваги, які цифрові аналоги не завжди можуть забезпечити. Від маркетингу та реклами до освіти та літератури, друковані матеріали продовжують відігравати ключову роль, адаптуючись до сучасних викликів та потреб. Важливо визнавати цінність і потенціал друкованої продукції в цифрову епоху, розвиваючи та підтримуючи її унікальні якості та можливості.



Рисунок 1.4 - Друкована продукція в епоху цифрових технологій

1.2.4 Основні напрямки випуску поліграфічної продукції

Поліграфія сьогодні - це не лише друк, а й мистецтво створення візуальних рішень, які допомагають брендам спілкуватися зі своєю аудиторією. Від розробки логотипів до створення великоформатних рекламних конструкцій - кожен елемент поліграфічної продукції має своє призначення та впливає на сприйняття бренду, продукту або послуги.

1. Ідентифікація бренду: від логотипу до фірмового стилю:

Логотип - це обличчя бренду, його візитна картка. Він має бути простим, запам'ятовуваним і універсальним, щоб легко адаптуватися до різних носіїв: від візиток до білбордів. Фірмовий стиль - це комплекс візуальних рішень (кольори, шрифти, графіка), які забезпечують єдність сприйняття бренду на всіх носіях.

Розробка логотипу - створення унікального символу або знаку, який ідентифікує компанію.

Відмальовка логотипу - адаптація логотипу для різних форматів і поверхонь.

Фірмовий стиль - розробка єдиного візуального коду для всіх носіїв бренду.

2. Рекламна поліграфія: від флаєрів до білбордів - рекламна поліграфія - це інструмент привернення уваги та стимулювання продажів. Вона включає як дрібні носії (флаєри, листівки), так і великоформатні конструкції (білборди, ситілайти).

Дизайн флаєра, листівки, плакату - компактні носії, які швидко передають ключову інформацію.

Дизайн буклету та каталогу - детальне представлення продукту або послуги.

Дизайн банера, білборда, хенгера - великоформатні рішення для зовнішньої реклами.

Дизайн вітрини та промостолю - оформлення торгових точок для привернення уваги покупців.

3. Сувенірна та спеціалізована продукція - цей напрямок включає продукцію, яка використовується для просування бренду або як подарунок клієнтам.



Рисунок 1.5 - Продукція друкарень

Дизайн календаря - функціональний та рекламний носій.

Дизайн етикетки та упаковки - візуальне оформлення продукту, яке впливає на рішення про покупку.

Дизайн вітальної листівки та дисконтної картки - інструменти лояльності та персоналізованого спілкування з клієнтами.

4. Цифрова поліграфія та інтерактивні рішення - сучасні технології дозволяють створювати не лише статичні, а й динамічні носії.

GIF-банер, HTML-банер - анімована реклама для вебсайтів та соціальних мереж.

Реклама на транспорті - мобільні носії для охоплення широкої аудиторії.

Дизайн презентації - візуальне супроводження бізнес-ідей та проєктів.

5. Додаткові напрямки

Дизайн меню - для ресторанів та кафе.

Річний звіт - візуалізація фінансових та корпоративних даних.

Дизайн макетів для ЗМІ - оформлення статей, обкладинок журналів.

Дизайн іміджу - комплексне формування візуального образу особистості або компанії.

Класифікація поліграфічної продукції за призначенням представлена в табл. 1.3.

Таблиця 1.3 - Класифікація поліграфічної продукції за призначенням

Категорія	Приклади продукції	Призначення
Ідентифікація бренду	Логотип, фірмовий стиль, візитки, брендбук	Формування та підтримка візуальної ідентичності бренду
Рекламна поліграфія	Флаєри, плакати, буклети, білборди, банери, ситілайти, хенгери, штендери, воблери	Привернення уваги, просування продуктів та послуг
Сувенірна продукція	Календарі, вітальні листівки, дисконтні картки, упаковка, етикетки	Зміцнення лояльності клієнтів, просування бренду через практичні носії
Цифрова поліграфія	GIF-банери, HTML-банери, презентації, реклама на транспорті	Інтерактивне спілкування з аудиторією через цифрові канали
Спеціалізована продукція	Меню, річні звіти, макети для ЗМІ, дизайн вітрин, промостоли	Підтримка бізнес-процесів, візуалізація інформації, оформлення торгових точок

1.3 Порівняльний аналіз українських та світових практик у видавничій справі

Українська видавнича галузь за останні роки демонструє значний прогрес у впровадженні сучасних технологій, однак все ще стикається з рядом викликів, які обмежують її конкурентоспроможність на світовому рівні. Порівняння українських та світових практик дозволяє виявити як існуючі розриви, так і потенційні напрямки розвитку.

1.3.1 Стан сучасних систем контролю в українських видавництвах

Українські видавництва, такі як «Видавництво Старого Лева», «Фоліо» та «КМ-Букс», активно впроваджують інноваційні системи контролю якості, автоматизації та управління виробництвом. Проте, на відміну від світових лідерів,

вони часто обмежені у фінансових та технічних ресурсах. Основні особливості українських практик:

- напівавтоматичні системи контролю - більшість українських друкарень використовують напівавтоматичні системи, які вимагають значної участі операторів, це уповільнює виробничі процеси та збільшує ймовірність людських помилок [19];

- обмежені інвестиції в інновації - через економічні чинники та нестабільну політичну ситуацію українські видавництва рідка можуть собі дозволити повномасштабну модернізацію обладнання [20];

- локальні інновації - незважаючи на обмеження, деякі українські видавництва розробляють власні рішення для оптимізації виробництва;

- використання хмарних технологій - деякі українські компанії почали перехід на хмарні платформи для управління проектами та логістикою, що дозволяє знизити витрати та підвищити гнучкість виробництва [21].

Світові лідери видавничої справи, такі як «Penguin Random House» (США), «Bertelsmann» (Німеччина) та «Shueisha» (Японія), активно впроваджують передові технології, які суттєво підвищують ефективність та якість виробництва:

- системи на базі штучного інтелекту (ШІ): в Німеччині та США використовуються інтелектуальні системи, які аналізують дані з датчиків у реальному часі, прогнозують можливі збої та автоматично коригують параметри друку [22].

- повна автоматизація виробничих ліній: у провідних світових друкарнях процеси друку, обробки та пакування майже повністю автоматизовані. Наприклад, компанія «Heidelberg» пропонує друкарські машини з вбудованими системами ШІ, які самостійно налаштовують параметри друку залежно від типу паперу, фарби та дизайну [23].

- інтеграція з системами ERP - світові видавництва використовують комплексні системи планування ресурсів (ERP), які дозволяють оптимізувати логістику, управління запасами та фінансами [22].

- екологічні стандарти - Європі та Північній Америці видавництва активно впроваджують екологічно чисті технології, такі як використання біорозкладних матеріалів, енергоефективне обладнання та системи переробки відходів [25].

В табл. 1.4 наведено порівняльний аналіз ключових показників українських та світових практик у видавничій справі

Таблиця 1.4 - Порівняльний аналіз ключових показників

Показник	Українські видавництва	Світові лідери
Рівень автоматизації	Напівавтоматичні системи, значна участь операторів	Повна автоматизація виробничих ліній, мінімальна участь людини
Використання ШІ	Обмежене впровадження, переважно власні розробки	Широке використання ШІ для аналізу даних, прогнозування та оптимізації виробництва
Інвестиції в обладнання	Обмежені через економічні та політичні чинники	Значні інвестиції в інноваційне обладнання та програмне забезпечення
Якість контролю	Ручна та напівавтоматична перевірка, вищий відсоток браку	Автоматизований контроль якості з мінімальним відсотком браку
Екологічні стандарти	Поступове впровадження екологічних технологій	Використання біорозкладних матеріалів, енергоефективне обладнання, системи переробки відходів
Швидкість виробництва	Нижча через залежність від операторів	Висока завдяки повній автоматизації та оптимізації процесів
Гнучкість виробництва	Обмежена через застаріле обладнання	Висока завдяки використанню гнучких виробничих систем та хмарних технологій

1.3.3 Перспективи розвитку української видавничої галузі

Незважаючи на існуючі виклики, українські видавництва мають значний потенціал для зростання:

- державна підтримка - залучення державних грантів та програм підтримки для модернізації обладнання та впровадження інновацій;
- співпраця з міжнародними партнерами - партнерство з європейськими та американськими компаніями для обміну досвідом та технологіями;
- розвиток локальних інновацій - підтримка вітчизняних ІТ-розробок для автоматизації видавничих процесів;
- екологічна стійкість - впровадження екологічно чистих технологій для відповідності світовим стандартам;

- освітні ініціативи - підготовка кваліфікованих кадрів у сфері автоматизації та управління видавничими процесами.

Українські видавництва демонструють прогрес у впровадженні сучасних технологій, але все ще відстають від світових лідерів через обмежені ресурси та застаріле обладнання. Проте, завдяки локальним інноваціям, хмарним технологіям та поступовому впровадженню автоматизації, галузь має всі шанси наблизитися до світових стандартів. Для цього необхідно:

Українська видавнича галузь має всі передумови для того, щоб стати конкурентоспроможною на світовому рівні, якщо зможе подолати існуючі виклики та ефективно використовувати наявні можливості.

1.4 Об'єкт впровадження комп'ютерної системи контролю якості друку

1.4.1 Організаційна структура видавництва «Старого Лева»

Видавництво «Старого Лева» - одне з провідних українських видавництв, яке успішно поєднує традиційні підходи до книговидання з сучасними технологіями.

Місцезнаходження: Видавництво розташоване у Львові за адресою: вул. Старознесенська, 24...26. Це місце, де відбуваються основні процеси створення книг, а також розташований головний офіс та книгарня-кав'ярня, яка є частиною мережі монобрендових закладів видавництва у містах Львові, Києві, Одесі та Дніпро.

Головний офіс видавництва «Старого Лева» знаходиться в місті Львові на території !FESTrepublic і вражає своєю оригінальністю: фасад будівлі стилізовано під велику книжкову полицю, прикрашену обкладинками найвідоміших видань. Це не лише робочий простір, а й своєрідна візитівка видавництва, яка відображає його творчий підхід та любов до книг.

Крім того, «Старий Лев» створив мережу затишних книгарень-кав'ярень у різних містах України - Львові, Києві, Одесі та Дніпрі. Ці простори поєднують у собі можливість придбати книги з широкого асортименту видавництва та насолодитися атмосферою, де можна почитати, попиту каву та провести час у колі однодумців. [26]

Організаційна структура підприємства включає такі ключові підрозділи, які забезпечують ефективне функціонування та впровадження інноваційних рішень (табл. 1.5).

Таблиця 1.5 - Відділи організаційної структура видавництва «Старого Лева»

N	Підрозділ	Функції
1	Відділ редакції та літературно о редагування	Відповідає за відбір, редагування та підготовку текстів до друку
2	Дизайн-відділ	Займається розробкою макетів, обкладинок та візуального оформлення видань
3	Відділ додрукарської підготовки	Забезпечує підготовку файлів до друку, включаючи верстку, кольорокорекцію та перевірку на помилки
4	Виробничий відділ	Контролює процес друку, включаючи налаштування обладнання, моніторинг якості та управління виробничими лініями
5	Відділ логістики та дистрибуції	Відповідає за доставку готової продукції до клієнтів та партнерів
6	ІТ-відділ	забезпечує технічну підтримку, розробку та впровадження програмного забезпечення, включаючи системи контролю якості
7	Відділ маркетингу та продажів	займається просуванням видань та взаємодією з клієнтами
8	Фінансовий відділ	контролює бюджет, витрати та фінансову ефективність проєктів

Логотип «Видавництва Старого Лева» показано на рис. 1.6.



Рисунок 1.6 – Логотип «Видавництва Старого Лева»

Керівна структура видавництва «Старого Лева» наведена в табл. 1.6

Таблиця 1.6 - Керівна структура видавництва «Старого Лева»

N	Підрозділ	Функції
1	Керівний відділ	Генеральний директор. Заступник генерального директора.
2	Відділ редакції та літературно о редагування	Головний редактор. Літературні редактори. Коректори.

N	Підрозділ	Функції
3	Дизайн-відділ	Арт-директор. Графічні дизайнери. Ілюстратори.
4	Відділ додрукарської підготовки	Керівник відділу. Верстальники. Спеціалісти з кольорокорекції.
5	Виробничий відділ	Керівник виробництва. Інженери з друку. Оператори друкарського обладнання.
6	Відділ логістики та дистрибуції	Керівник відділу. Логісти. Спеціалісти зі складу.
7	ІТ-відділ	Керівник ІТ. Системні адміністратори. Розробники програмного забезпечення.
8	Відділ маркетингу та продажів	Керівник відділу. Маркетологи. Менеджери з продажу.
9	Фінансовий відділ	Головний бухгалтер. Бухгалтери. Фінансові аналітики.

1.4.2 Виробничі потужності видавництва «Старого Лева»

Видавництво «Старого Лева» є одним з лідерів українського книговидання, і його виробничі потужності відіграють ключову роль у забезпеченні високої якості та своєчасного випуску продукції.

Форми кооперації офіс «Видавництва Старого Лева» праці зумовлені методами організації виробничого процесу, спеціалізацією праці та рівнем її технологічного оснащення (рис. 1 9).

Виділяють наступні види організаційної кооперації праці:

- міжцехова – об'єднання праці цехів, служб підприємства для виробництва продукції;
- між дільнична – передбачає об'єднання праці ділянок, служб цеху;
- внутрішньо дільнична – об'єднання праці всіх учасників даної ділянки виробництва, для забезпечення безперебійності виробничого процесу, передбачає об'єднання праці між бригадами;

- внутрішньо бригадна – є різновидом внутрішньо дільничної кооперації, передбачає об'єднання працівників однієї або декількох професій, які виконують одне виробниче завдання.



Рисунок 1.7 - м. Львів, фото головного офіс «Видавництва Старого Лева»



Рисунок 1.8 - м. Львів, геолокація головний офіс «Видавництва Старого Лева»

Кооперація праці є важливим елементом організації виробничого процесу, що безпосередньо залежить від методів організації виробництва, спеціалізації праці та рівня технологічного оснащення. Ефективна кооперація сприяє підвищенню

продуктивності, оптимізації ресурсів та забезпеченню безперервності виробничих процесів.

У сучасних умовах виробництва виділяють кілька основних видів кооперації праці, які відрізняються за масштабом та рівнем взаємодії між працівниками:

1. Міжцехова кооперація. Цей вид кооперації передбачає об'єднання праці різних цехів та служб підприємства для спільного виробництва кінцевої продукції. Така форма взаємодії дозволяє синхронізувати роботу різних підрозділів, забезпечуючи узгодженість та ефективність виробничого процесу. Наприклад, на підприємствах машинобудування цехи механічної обробки, складання та фарбування взаємодіють для випуску готової продукції.

2. Міждільнична кооперація Ця форма кооперації передбачає об'єднання праці різних ділянок та служб у межах одного цеху. Вона спрямована на оптимізацію внутрішніх виробничих процесів та забезпечення їх безперервності. Наприклад, у цеху з виробництва друкованої продукції ділянки друку, постобробки та контролю якості взаємодіють для випуску готових видань.

3. Внутрішньодільнична кооперація Цей вид кооперації передбачає об'єднання праці всіх учасників конкретної ділянки виробництва з метою забезпечення безперервності та ефективності виробничого процесу. Вона також включає кооперацію між бригадами, які виконують різні етапи одного виробничого завдання. Наприклад, на ділянці складання електронних пристроїв бригади монтажників, тестувальників та пакувальників взаємодіють для випуску готової продукції.

4. Внутрішньобригадна кооперація Ця форма є різновидом внутрішньодільничної кооперації і передбачає об'єднання працівників однієї або декількох професій, які спільно виконують одне виробниче завдання. Така кооперація сприяє підвищенню продуктивності праці завдяки чіткому розподілу функцій та взаємодопомозі між членами бригади. Наприклад, бригада друкарів, яка працює на одній друкарській машині, взаємодіє для забезпечення безперервного процесу друку.

Ефективна організація кооперації праці на підприємстві сприяє підвищенню продуктивності, оптимізації використання ресурсів та забезпеченню безперебійності виробничих процесів. Вибір конкретної форми кооперації залежить від специфіки виробництва, рівня спеціалізації праці та ступеня технологічного оснащення. Правильно організована кооперація праці дозволяє досягти високих показників ефективності та конкурентоспроможності підприємства.

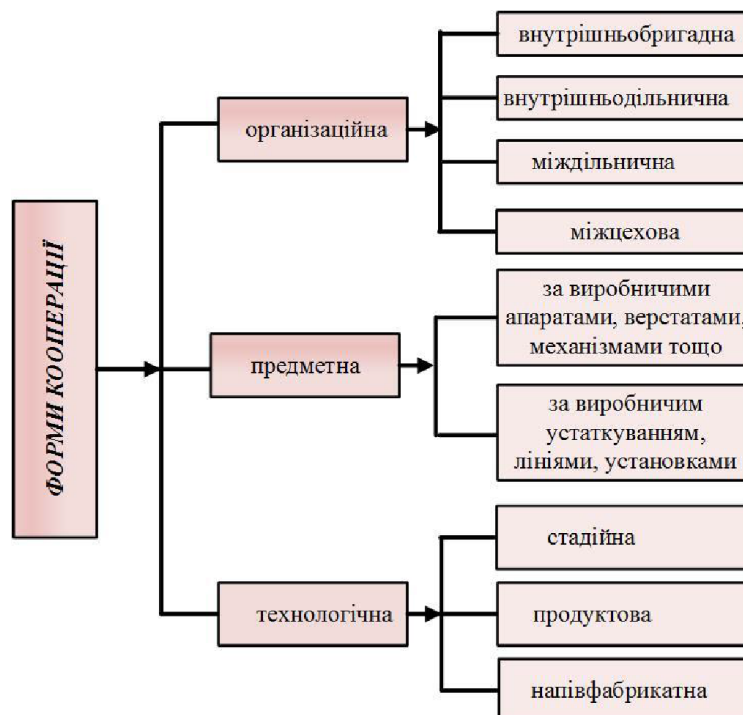


Рисунок 1.9 - Форми кооперації праці «Видавництва Старого Лева»

Ось основні аспекти виробничих можливостей та інфраструктури:

1. Співпраця з провідними друкарнями. Видавництво не має власних друкарських потужностей, але активно співпрацює з провідними друкарнями України та Європи.

Це дозволяє забезпечити високий рівень якості друку та дотримання міжнародних стандартів [1], вибір партнерів ґрунтується на таких критеріях:

- технологічна оснащеність - використання сучасного друкарського обладнання, зокрема офсетних та цифрових друкарських машин;

- кість матеріалів - використання високоякісного паперу, екологічно чистих фарб та матеріалів;

- гнучкість виробництва - здатність швидко адаптуватися до різних форматів та обсягів замовлень.



Рисунок 1.10 - Виробничі цехи підрядників «Видавництва Старого Лева»

1.4.3 Виробничі процеси

Видавництво контролює весь цикл виробництва - від підготовки макетів до друку та фінішної обробки:

1. Додрукарська підготовка:

- верстка та дизайн - використання сучасних програм для верстки (Adobe InDesign, QuarkXPress) та графічного дизайну (Adobe Photoshop, Adobe Illustrator);
- кольорокорекція - забезпечення точності кольоропередачі за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення;
- перевірка файлів на помилки - автоматизована система контролю якості файлів перед відправкою на друк.

2. Друк:

- використання офсетного та цифрового друку залежно від тиражу та специфіки замовлення;
- контроль якості на кожному етапі друку за допомогою спектрофотометрів та відеокамер високої роздільної здатності.

3. Постпечатна обробка:

- ламінування, фальцювання, бігування, тиснення фольгою та інші види обробки для надання продукції завершеного вигляду;
- автоматизована система пакування та маркування готової продукції.

3 Логістика та дистрибуція:

- видавництво має власну логістичну інфраструктуру, яка дозволяє ефективно розподіляти готову продукцію по всій Україні та за кордоном, складські приміщення - розташовані у Львові та Києві, забезпечують зберігання та швидку обробку замовлень;
- партнерство з логістичними компаніями: Співпраця з провідними кур'єрськими службами для оперативної доставки книг до книгарень та кінцевих споживачів.
- мережа книгарень-кав'ярень - забезпечує прямі продажі та просування продукції у Львові, Києві, Одесі та Дніпрі.

1.4.4 Потужності та обсяги виробництва

Річний тираж - видавництво випускає близько 1...1,5 мільйона примірників книг на рік.

Асортимент - понад 500 найменувань книг різних жанрів - від дитячої літератури до дорослих видань, освітніх та кулінарних книг.

Міжнародна присутність - книги видавництва перекладаються та виходять у понад 42 країнах світу.

Видавництво дотримується принципів екологічної стійкості:

- стимуляція використання переробленого паперу та екологічно чистих фарб;
- оптимізація технологічного процесу для зменшення витрат матеріалів для зниження вуглецевого сліду;

- співпраця з партнерами, які дотримуються міжнародних екологічних стандартів.

Партнерські виробничі потужності для діяльності видавництва «Старого Лева» дозволяють забезпечувати високий рівень якості продукції, гнучкість у роботі з різними форматами та обсягами замовлень, а також ефективну логістику та дистрибуцію. Завдяки співпраці з провідними друкарнями, впровадженню сучасних технологій та дотриманню екологічних стандартів, видавництво залишається конкурентоспроможним на українському та міжнародному ринках.

Постійні виробничі партнери - підрядники «Видавництва Старого Лева»:

1. Друкарні в Україні - видавництво співпрацює з провідними українськими друкарнями, які спеціалізуються на високоякісному друку та додрукарській підготовці, серед них:

- друкарні м. Львова: місцеві друкарні, які мають сучасне обладнання та досвід роботи з книжковою продукцією;

- київські друкарні - великі поліграфічні підприємства, які забезпечують високоякісний офсетний та цифровий друк;

- друкарні Харкова та Дніпра - виробничі потужності, які спеціалізуються на друку великих тиражів.

2. Європейські друкарні - для видання книг, які потребують особливої якості або спеціальних матеріалів, «Старий Лев» співпрацює з європейськими друкарнями, зокрема в таких країнах:

- Польща - друкарні, які спеціалізуються на високоякісному друку дитячих книг та альбомних видань;

Німеччина - підприємства, що пропонують інноваційні рішення для друку та фінішної обробки.

Чехія та Словаччина - друкарні, які мають досвід роботи з книжковою продукцією для міжнародного ринку.

1.4.5 Технологічні інновації видавництва «Старого Лева»

Видавництво «Старого Лева» є не тільки одним з лідерів українського книговидання, але і новатором застосування і розробок новітніх технологій, активно засвоює наступні сучасні напрямки:

1. IoT у видавничому процесі - інтернет речей (IoT) дозволяє підключати датчики до мережі та відстежувати параметри виробництва в реальному часі. Наприклад, датчики вологості паперу (моделі від Siemens або Honeywell) допомагають уникнути деформації матеріалу, що особливо важливо для високоякісного друку. За даними дослідження, контроль вологості паперу зменшує відсоток браку на 15...20% [1].

2 Штучний інтелект та ERP-системи - ітучний інтелект використовується для аналізу даних з датчиків та прогнозування можливих проблем у виробничому процесі. ERP-системи (SAP, Odoo) інтегруються з системами контролю для управління ресурсами та планування виробництва. За даними дослідження [5], впровадження ERP-систем у видавництвах дозволяє скоротити витрати на 25...30%.

Видавництво активно також впроваджує сучасні технології для оптимізації виробничих процесів:

1. Система моніторингу якості друку - розробка комп'ютерних систем на базі власних IT-рішень, що дозволить знизити відсоток браку та оптимізувати витрати матеріалів.

2. Хмарні технології - які використовуються для управління проектами, логістикою та фінансами.

3. Автоматизація процесів - впровадження програмного забезпечення для планування виробництва, контролю виконання замовлень та управління ресурсами.

1.4.6 Аналіз існуючої мережі правління підприємства та її недоліки

Існуюча комп'ютерна система моніторингу якості друку побудована на класичній основі яка продемонстрована на рис. 1.11.

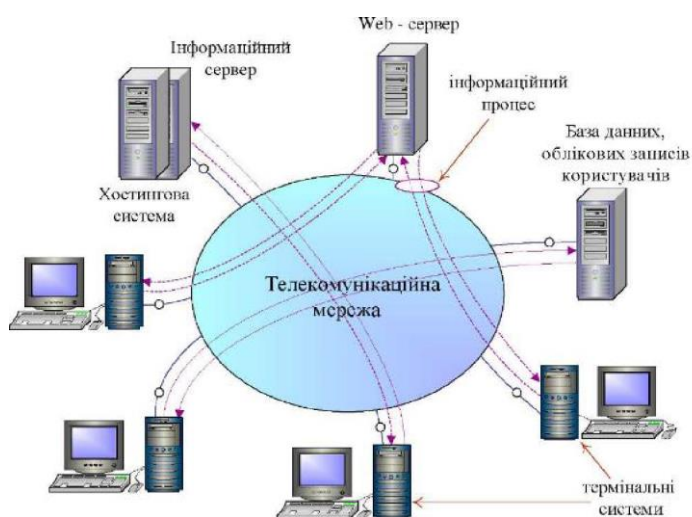


Рисунок 1.11 - Існуюча комп'ютерна система моніторингу якості друку

Оснoву існуючої комп'ютерної системи моніторингу якості друку складають мережеві пристрої Cisco, які забезпечують маршрутизацію, комутацію та захист даних. Ці пристрої відіграють ключову роль у забезпеченні стабільної та безпечної роботи мережі, що особливо важливо для видавничого комплексу, де точність та швидкість обробки даних є критичними факторами.

Математичне забезпечення системи включає сукупність методів, моделей та алгоритмів, які використовуються для вирішення завдань управління мережею та оптимізації її роботи. Ці моделі та алгоритми інтегровані в програмне забезпечення, що дозволяє не лише ефективно керувати мережею, а й розвивати та вдосконалювати систему в майбутньому.

Основні недоліки існуючої мережі правління підприємства наведені в табл. 1.7 -

Таблиця 1.7 - Основні недоліки існуючої мережі правління підприємства

№	Недолік	Наслідки	Рекомендації щодо усунення
1	Застаріле апаратне забезпечення	Зниження продуктивності мережі, збільшення часу відгуку, підвищена ймовірність збоїв.	Оновлення обладнання до сучасних моделей маршрутизаторів та комутаторів (наприклад, Cisco Catalyst 9000 Series), які підтримують високошвидкісні протоколи та забезпечують кращу продуктивність.
2	Обмежена масштабованість	Складність розширення мережі при збільшенні кількості підключених пристроїв або зростанні навантаження.	Впровадження модульних рішень, які дозволяють легко додавати нові вузли та сегменти мережі. Використання хмарних технологій для гнучкого масштабування ресурсів.
3	Недостатня захищеність даних	Вразливість до кібератак, несанкціонованого доступу та витоку конфіденційної інформації.	Впровадження сучасних засобів захисту: мережеві екрани нового покоління, системи виявлення та запобігання вторгненням (IDS/IPS), шифрування трафіку за допомогою протоколів (наприклад, IPSec).
4	Відсутність централізованого управління	Ускладнення моніторингу та управління мережею, збільшення часу на діагностику та усунення несправностей.	Впровадження систем централізованого управління мережею (наприклад, Cisco DNA Center), які дозволяють автоматизувати налаштування, моніторинг та діагностику.
5	Неоптимальна топологія мережі	Нерівномірне навантаження на окремі сегменти мережі, зниження загальної продуктивності.	Оптимізація топології мережі шляхом переходу до більш гнучкої архітектури (наприклад, mesh-мережі або топології "зірка"). Використання технологій балансування навантаження.
6	Обмежена підтримка сучасних протоколів	Неможливість використання нових технологій (наприклад, IoT, хмарних сервісів), що обмежує функціональність мережі.	Оновлення програмного забезпечення та впровадження підтримки сучасних протоколів (наприклад, IPv6, MQTT для IoT). Інтеграція з хмарними платформами для розширення функціональності.
7	Недостатня інтеграція з іншими системами підприємства	Складність обміну даними між різними підрозділами, зниження ефективності бізнес-процесів.	Впровадження уніфікованих протоколів та стандартів (наприклад, REST API, OPC UA) для забезпечення сумісності з іншими системами підприємства.

Основні компоненти математичного забезпечення:

- алгоритми маршрутизації для оптимального розподілу трафіку між вузлами мережі.
- моделі управління чергами для мінімізації затримок у обробці даних.
- методи аналізу продуктивності для оцінки ефективності роботи мережі.
- алгоритми захисту даних, які забезпечують конфіденційність та цілісність інформації.

Недоліки існуючої мережі:

1. Незважаючи на переваги використання обладнання Cisco та наявність математичного забезпечення, існуюча мережа має ряд суттєвих недоліків, які можуть впливати на її ефективність, надійність та масштабованість (табл. 1.6).

2. Існуюча мережа правління підприємства, незважаючи на використання надійного обладнання Cisco та наявність математичного забезпечення, має низку недоліків, які обмежують її ефективність та можливості розвитку. Застаріле апаратне забезпечення, обмежена масштабованість, недостатня захищеність даних та відсутність централізованого управління є основними проблемами, які потребують термінового вирішення.

Для підвищення ефективності мережі рекомендується:

- оновити апаратне та програмне забезпечення до сучасних стандартів;
- впровадити системи централізованого управління та моніторингу;
- покращити захист даних шляхом використання сучасних засобів кібербезпеки;
- оптимізувати топологію мережі для рівномірного розподілу навантаження;
- забезпечити підтримку сучасних протоколів та технологій для інтеграції з іншими системами підприємства.

Ці заходи дозволять підвищити продуктивність, надійність та безпеку мережі, а також забезпечити її готовність до майбутніх викликів та розширення функціональності.

1.5 Технічні аспекти комп'ютерної системи контролю якості друку

1.5.1 Загальна інформація

Видавництво «Старого Лева» інвестує розробку комп'ютерної системи контролю якості друку для постійного виробничого партнера - друкарнею «Поліграфсервіс» (м. Дніпро, вул. Воскресенська, 10).

Це одне з найбільших поліграфічних підприємств в Україні, яке спеціалізується на високоякісному друку книжкової продукції, журналів, каталогів та рекламних матеріалів.

Інвестована комп'ютерна систему контролю якості друку має інтегруватися з організаційною також структурою підприємства видавництва «Старого Лева» та забезпечити ефективне управління виробничими та логістичними процесами.



Рисунок 1.12 - Інвестиційна комп'ютерна система контролю якості друку

1.5.2 Ключові програмно-апаратні компонентів системи

Система має складатися з таких ключових компонентів:

А. Апаратне забезпечення.

1. Датчики контролю якості друку:

- спектрофотометри - вимірюють колір та щільність фарби на відбитку, забезпечуючи точність кольоропередачі;

- відеокамери високої роздільної здатності - сканують кожен аркуш для виявлення дефектів (плями, розмиття, нерівномірне нанесення фарби);

- лазерні датчики - контролюють вирівнювання паперу та точність різання.

2. Обладнання для обробки даних:

- промислові комп'ютери - обробляють дані з датчиків у реальному часі;

- сервери - зберігають та аналізують історичні дані для подальшого аналізу та оптимізації процесів.

3. Системи зв'язку:

- промислові мережі (Ethernet, Profibus) - забезпечують швидкий обмін даними між датчиками, комп'ютерами та друкарським обладнанням;

- Wi-Fi та хмарні рішення - дозволяють дистанційно контролювати процеси та отримувати звіти в режимі реального часу.

Б. Програмне забезпечення.

1. Система моніторингу якості друку:

- модуль збору даних - збирає інформацію з датчиків та аналізує її за допомогою алгоритмів машинного навчання;

- модуль візуалізації - відображає дані на панелях управління у вигляді графіків, діаграм та сповіщень про можливі дефекти;

- модуль аналітики - виявляє тенденції та прогнозує можливі проблеми, наприклад, знос обладнання або нестачу матеріалів.

2. Система управління виробництвом (MES):

- планування виробництва - автоматично розподіляє завдання між друкарськими машинами з урахуванням їх завантаженості та технічних характеристик;

- контроль виконання - відстежує прогрес кожного замовлення та сповіщає про можливі затримки;

- управління ресурсами - оптимізує витрати паперу, фарби та енергії.

3. Система управління якістю (QMS):

- стандарти якості - забезпечує відповідність продукції міжнародним стандартам [1];

- контрольні перевірки - автоматично генерує звіти про якість кожного тиражу.

Управління невідповідностями - фіксує дефекти та пропонує корективи для їх усунення.

4. ERP-система:

- управління замовленнями - автоматизує процес від прийому замовлення до доставки готової продукції;

- фінансовий контроль - відстежує витрати та доходи, аналізує рентабельність проєктів;

- логістика та склад - управління запасами паперу, фарби та готової продукції.

1.5.3 Інтеграція системи з організаційною структурою

Комп'ютерна система контролю якості друку інтегрується з організаційною структурою видавництва наступним чином:

1. Взаємодія з відділом додрукарської підготовки:

- автоматична перевірка файлів на помилки перед друком;
- оптимізація макетів для мінімізації витрат матеріалів.

2. Співпраця з виробничим відділом:

- моніторинг параметрів друку в реальному часі;
- автоматичне коригування налаштувань друкарських машин залежно від типу паперу та фарби.

2. Взаємодія з ІТ-відділом:

- підтримка та оновлення програмного забезпечення;
- захист даних та кібербезпека системи.

3. Зв'язок з відділом логістики:

- автоматичне формування замовлень на матеріали;
- відстеження термінів доставки готової продукції.

4. Взаємодія з фінансовим відділом:

- аналіз витрат на виробництво та оптимізація бюджету;
- формування фінансових звітів на основі даних системи.

1.5.4 Технічні переваги впровадження комп'ютерна система контролю якості друку

Очікуються наступні технічні переваги впровадження системи:

- зниження відсотка браку;
- автоматичний контроль якості дозволив знизити відсоток браку на 18%.

- оптимізація витрат - витрати на паперові матеріали мають зменшитися до 10% завдяки точнішому розрахунку та мінімізації відходів;
- покращення термінів виконання замовлень - автоматизація процесів має скоротити терміни виконання замовлень на до 30%;
- підвищення якості продукції - точність кольоропередачі та відсутність дефектів підвищить задоволеність клієнтів;
- екологічна ефективність - зменшення відходів та оптимізація витрат матеріалів сприяють стійкому розвитку.

1.6 Завдання щодо створення комп'ютерної системи контролю параметрів виробничого процесу видавничого комплексу

Для забезпечення високого рівня кібербезпеки, надійності та ефективності комп'ютерної системи контролю параметрів виробничого процесу видавничого комплексу, необхідно розробити систему з такими ключовими характеристиками:

Основні вимоги до системи. Стійкість до кіберзагроз Система повинна забезпечувати захист від сучасних кіберзагроз, таких як вірусні атаки, несанкціонований доступ та інші інциденти, що можуть загрожувати безпеці мереж та інформаційних систем. Це особливо важливо для видавничого комплексу, де конфіденційність та цілісність даних є критичними.

Високий рівень безпеки. Забезпечення захисту даних, конфіденційності та цілісності інформації в цифровій інфраструктурі. Це включає використання сучасних методів шифрування, аутентифікації та контролю доступу.

Надійність роботи. Система повинна функціонувати стабільно навіть за умов підвищеного інформаційного навантаження, що особливо актуально для виробничих процесів, де будь-які затримки можуть призвести до зниження якості продукції.

Для досягнення поставлених цілей необхідно:

1. Проаналізувати продуктивність мережі в умовах номінальної експлуатації, щоб визначити її здатність обробляти дані без затримок.

2. Визначити можливості системи при інформаційному перенавантаженні, щоб оцінити її стійкість до пікових навантажень.

Для надійної оцінки продуктивності системи необхідно враховувати такі параметри:

- швидкодія мережевих пристроїв - характеристики маршрутизаторів, комутаторів та інших мережевих компонентів, які визначають швидкість обробки даних та передачі інформації;

- технічні параметри програмного забезпечення Вимоги до програмного забезпечення, яке використовується в системі, включаючи його продуктивність, сумісність та здатність працювати в реальному часі;

- параметри безпеки передачі даних - методи шифрування, аутентифікації та захисту інформації в мережі, які забезпечують конфіденційність та цілісність даних.

- інтенсивність потоків даних - обсяг даних, що передаються через мережу за одиницю часу, який впливає на продуктивність системи та її здатність обробляти великі обсяги інформації.

- обмеження на виконання програмного забезпечення - вимоги до продуктивності програмного забезпечення в реальному часі, які визначають його здатність обробляти дані без затримок.

- продуктивність каналів передачі даних - пропускна здатність мережевих каналів, яка визначає максимальну швидкість передачі даних між вузлами системи.

- шкідливі впливи вірусних програм - ризики, пов'язані з вірусними атаками та іншими кіберзагрозами, які можуть призвести до збоїв у роботі системи.

- наявність резервних каналів Додаткові канали для передачі даних, які використовуються у разі збоїв основних каналів, що забезпечує безперебійну роботу системи.

Для визначення максимального інформаційного навантаження, при якому система зможе функціонувати з мінімальною затримкою, необхідно:

- провести дослідження на основі моделі мережі масового обслуговування, щоб оцінити поведінку системи за різних умов навантаження;

- визначити максимальне навантаження, при якому система зберігає стабільну роботу без значних затримок.

Очікувані результати - реалізація запропонованих заходів дозволить досягти таких результатів:

- поліпшення роботи комп'ютерної мережі при підвищеному інформаційному навантаженні;

- зменшення затримок у обробці запитів, що підвищить ефективність виробничих процесів;

Ці заходи дозволять створити надійну та ефективну комп'ютерну систему, яка відповідатиме вимогам сучасних кіберзагроз та забезпечуватиме високий рівень безпеки для видавничого комплексу. Це сприятиме підвищенню якості друку, зменшенню виробничих втрат та оптимізації виробничих процесів.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОЗРОБКИ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ДРУКУ ДЛЯ ВИДАВНИЧОГО КОМПЛЕКСУ

2.1 Актуальність та мета розробки системи контролю якості друку

У рамках кваліфікаційної роботи магістра на тему «Обґрунтування структури та параметрів комп'ютерної системи контролю параметрів виробничого процесу видавничого комплексу» розглядається розробка моделі комп'ютерної системи контролю якості друку для друкарні «Поліграфсервіс» (м. Дніпро). Основна мета - інтеграція цієї системи з організаційною структурою видавництва «Старого Лева» для забезпечення ефективного управління виробничими, логістичними та контрольними процесами.

Класифікація систем контролю роботи друкарського обладнання може здійснюватися за різними критеріями, зокрема за рівнем складності, ступенем автоматизації, періодичністю перевірок, впливом на показники продуктивності, повнотою аналізу факторів, інтеграцією з автоматизованими системами управління виробництвом, а також за типом виконуваних робіт. Детальну класифікацію таких систем можна побачити на рис. 2.1.



Рисунок 2.1 - Класифікація систем контролю роботи друкарського обладнання.

У системі забезпечення якості рекомендується проводити такі основні види контролю, випробувань та обстежень:

- вхідний контроль сировини, поліграфічних матеріалів, напівфабрикатів, комплектувальних виробів, деталей та складальних одиниць під час їх зберігання та транспортування;

- контроль готової продукції та її випробування;

- перевірка параметрів обладнання, оснащення, інструментів, систем енергопостачання та виробничого середовища, а також систем транспортування;

- контроль дотримання технологічної дисципліни, конструкторський нагляд за виробництвом;

- метрологічний контроль та нагляд;

- аналіз рекламаций (внутрішніх та зовнішніх).

Крім того, технологія контролю може включати комплекс процедур та компонентів, таких як:

- використання спеціального обладнання для контролю стану друкарського устаткування;

- встановлення контрольних міток для оцінки якості друку та спостереження за зношуванням;

- системи планово-попереджувальних ремонтів;

- норми та правила виробництва;

- вхідний контроль якості витратних матеріалів;

- поточний контроль виробництва;

- обмін даними між друкарнею та сервісною службою;

- забезпечення відповідних кліматичних умов, контроль рівня запиленості повітря, якості електроенергії тощо.

Усі процедури контролю та випробувань повинні бути ретельно сплановані та задокументовані.

При розробленні методик контролю необхідно враховувати такі аспекти:

- об'єкт або контракт, для якого розробляються методики;

- етапи, на яких здійснюється контроль;

- тип контролю (відповідно до класифікації);

- критерії приймання продукції;

- тип інформації, що підлягає реєстрації в документації;
- система ведення реєстраційних записів.

Важливо збалансувати різні види контролю - вхідний, виробничий та контроль готової продукції. Обсяг цих робіт залежить від очікуваного рівня якості, вимог замовника та наявних засобів контролю на підприємстві.

Основні показники, що впливають на результати контролю та можуть відстежуватися в рамках системи, включають:

- якість суміщення фарб;
- величину розтискування;
- наявність ковзання або дроблення (та їх величина);
- контрастність зображення;
- рівномірність розподілу фарби на відбитку;
- температуру підшипників кочення та ковзання в робочому режимі;
- показники зношування окремих вузлів та деталей;
- коефіцієнт браку тощо.

У цілому система управління роботою друкарського устаткування включатиме сім основних компонентів, які повністю охоплюють процес. Її схематичне зображення подано на рис. 2.2.



Рисунок 2.2 - Структурні компоненти створення системи контролю

Сучасні поліграфічні підприємства стикаються з необхідністю автоматизації контролю якості друку, що дозволяє мінімізувати брак, оптимізувати витрати та підвищити конкурентоспроможність продукції. Для досягнення цієї мети

необхідно моделювання роботи комп'ютерної мережі, яка забезпечуватиме функціонал зі збору, обробки та аналізу даних у реальному часі.

Основні виклики поліграфічного виробництва:

- зростання вимог до якості продукції (дотримання стандартів ISO 12647);
- мінімізація браку та оптимізація витрат на матеріали та енергію;
- прискорення виробничих процесів та покращення логістичної синхронізації;
- автоматизація звітування та аналізу даних для прийняття управлінських рішень;

Очікувані результати впровадження системи:

- зниження рівня браку на 15...20%;
- скорочення часу контролю якості на 25...30%;
- підвищення продуктивності друкарні на 10...15%;
- поліпшення координації з видавництвом та логістичними партнерами.

2.2 Концептуальна модель комп'ютерної системи контролю якості друку

2.2.1 Архітектура системи

Для забезпечення ефективного контролю якості друку пропонується трирівнева архітектура системи (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 - Архітектура системи контролю якості друку

Рівень	Функції	Технології та компоненти
Рівень збору даних	Збір даних з датчиків, сканерів та друкарського обладнання.	ІоТ-датчики, спектрофотометри, камери високої роздільної здатності.
Рівень обробки даних	Аналіз даних, виявлення дефектів, порівняння з еталонними параметрами.	Сервери, хмарні платформи (AWS, Azure), алгоритми машинного навчання.
Рівень управління	Візуалізація результатів, генерація звітів, інтеграція з ERP-системою.	Дашборди, мобільні додатки, API для інтеграції.

Переваги архітектури:

- модульність - кожен рівень може розвиватися незалежно;
- масштабованість - система легко адаптується до змін у виробництві;
- надійність - резервне копіювання даних та відмовостійкість.

2.2.2 Моделювання роботи комп'ютерної мережі

2.2.2.1 Теорія масового обслуговування

Теорія масового обслуговування є окремих напрямом у теорії ймовірностей, який сформувався як самостійна наукова дисципліна. Це стало можливим завдяки специфіці використовуваного математичного апарату та значущості практичних завдань, які вона вирішує.

Засновником практичного застосування теорії масового обслуговування став данський математик А.К.Ерланг (1878...1929), співробітник Копенгагенської телефонної компанії. У період з 1908 по 1922 роки він опублікував низку робіт, зокрема "Теорія ймовірностей і телефонні переговори" (1909). У цих працях були сформульовані перші прикладні завдання телефонії, пов'язані з оптимізацією роботи телефонних мереж та оцінкою якості обслуговування абонентів залежно від кількості використовуваних пристроїв.

Значний внесок у розвиток теорії масового обслуговування зробив Л. Клейнрок, який застосував її для дослідження обчислювальних систем.

Питання узагальнення методів вирішення різноманітних завдань та розроблення загальної теорії масового обслуговування досліджував математик А.Я. Хінчин. У його книзі "Математичні методи теорії масового обслуговування" вперше були сформульовані основні ідеї та методи цієї теорії.

Подальший розвиток теорії пов'язаний з роботами математиків, таких як Б.В. Гнеденко, І.Н. Коваленко, А.Н. Колмогоров, Н.П. Бусленко та інших. Серед зарубіжних дослідників варто відзначити Д.Кендалла, Ф.Паллачека та Л.Такача.

2.2.2.2 Моделювання комп'ютерних систем у системах масового обслуговування

Сьогодні комп'ютерні системи складаються з кількох ключових елементів: центральних процесорів, оперативної пам'яті, пристроїв введення-виведення даних (таких як клавіатура, монітор, принтер, комп'ютерна миша тощо), а також модулів для довготривалого зберігання інформації. Ці компоненти можуть функціонувати

витрати на технічне обслуговування, підвищити якість продукції та забезпечити конкурентні переваги підприємства.

Операційна система виконує ряд важливих завдань: керує виконанням користувацьких програм, організовує введення-виведення даних, реагує на зовнішні сигнали та надзвичайні ситуації. Кожна з цих функцій реалізується через спеціалізовані програми, які активуються за потреби. Для опису базових операцій операційної системи використовується термін «процес». Це поняття можна розширити, включивши до нього також виконання користувацьких функцій. Таким чином, робота програм користувачів теж вважається процесом.

Один процес може залучати кілька програм, і навпаки - одна програма може використовуватися в межах різних процесів. Наприклад, програма для додавання даних до списку може бути частиною різних процесів, які працюють із чергами. Крім того, в оперативній пам'яті одночасно можуть виконуватися кілька робочих програм, ініціюючи різні процеси на компонентах комп'ютерної системи.

У теорії операційних систем усі компоненти комп'ютера позначаються терміном «ресурс», який охоплює будь-який об'єкт, що може розподілятися всередині системи. Оскільки центральний процесор також є ресурсом, його діяльність щодо виконання певної програми розглядається як процес. Отже, програма - це статичний набір інструкцій, тоді як процес - це їхнє виконання на комп'ютерних пристроях.

Щоб запустити процес на певному ресурсі, програма формує відповідний запит. Зазвичай ресурс може обробляти лише один запит у певний момент часу. Якщо під час обслуговування одного запиту надходить новий запит від іншого процесу, він додається до черги, як показано на часовій діаграмі (рис. 2.4).

Наприклад, якщо від комп'ютерів мережі надійшло декілька запитів на друк файлів до мережного принтера, то він оброблятиме їх послідовно - один за одним. Решта запитів чекатиме у черзі. Оскільки активні процеси постійно переходять від одного ресурсу до іншого, то й до центрального процесора періодично утворюється черга користувацьких процесів, які потребують обробки.

Таким чином, у комп'ютерній системі, що функціонує в мультипрограмному режимі, формується безліч черг запитів на обслуговування різних ресурсів (рис. 2.5).

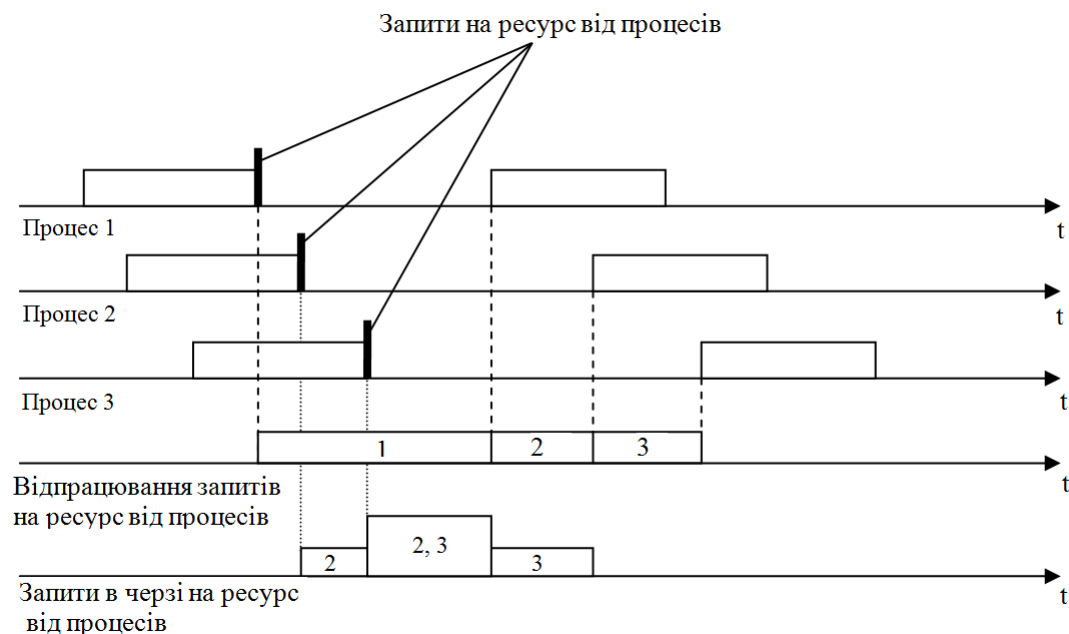


Рисунок 2.4 - Часова діаграма формування та обробки запитів до ресурсів від процесів

Слід окремо розглянути запити на обслуговування від зовнішніх пристроїв комп'ютерної системи, таких як миша, клавіатура або пристрої зв'язку в системах реального часу.

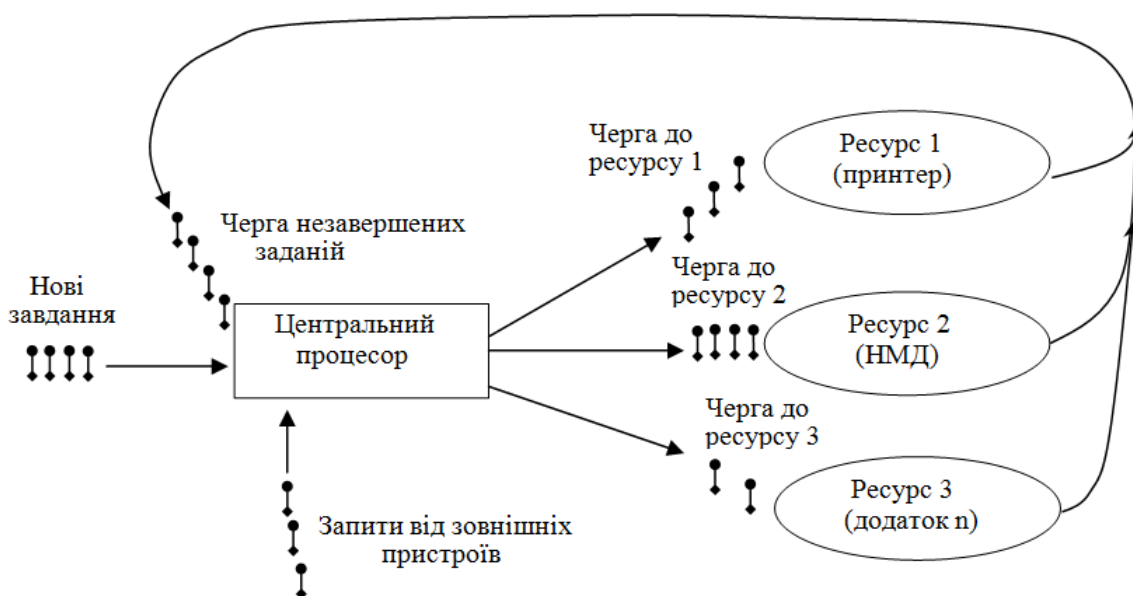


Рисунок 2.5 - Черги в мультипрограмній системі

Для таких запитів можуть встановлюватися певні обмеження за часом обслуговування, а також надаватися пріоритети. Наприклад, якщо накопичувач на магнітному диску надсилає запит про готовність до зчитування даних, навіть незначна затримка може призвести до втрати інформації, оскільки блок даних просто «проскочить» повз зчитувальну голівку.

З рис. 2.4 видно, що запити на обслуговування ресурсами надходять у випадкові моменти часу, а тривалість їх обробки також є випадковою. Для синхронізації процесів надходження та обслуговування запитів, а також для запобігання їх втраті в комп'ютерній системі формуються різноманітні черги (рис. 2.5). Це свідчить про те, що йдеться про спеціальні системи, які характеризуються наявністю джерела запитів, одного або кількох обслуговуючих пристроїв та черги очікування. У великих системах запити надходять масово, тому такі системи називаються системами масового обслуговування (СМО). У зарубіжній літературі вони відомі як *queuing systems*.

Процеси масового обслуговування зустрічаються в різних сферах: техніці, науці та повсякденному житті. Наприклад, у поліклініці пацієнти утворюють черги до лікарів, які виступають як обслуговуючі пристрої. Автомобілі на автозаправних станціях також чекають у черзі на обслуговування, іноді на значній відстані. У телекомунікаційних та комп'ютерних системах масові запити від різних джерел передаються для обробки великих обсягів даних.

З рис. 2.4 видно, що запити надходять нерівномірно. Для компенсації цієї нерівномірності обслуговуючі пристрої часто оснащуються додатковими потужностями, особливо в системах, де затримки або втрати запитів можуть мати критичні наслідки. Прикладом є робота аеропорту з прийманням літаків на посадку. В окремі моменти обслуговуючі пристрої можуть бути максимально завантажені, а в інші - простоювати. Організація та підтримка черг також вимагає ресурсів, тому функціонування СМО пов'язане з витратами, які іноді бувають значними. Це спричинило необхідність дослідження таких процесів, що призвело до формування наукової дисципліни - теорії систем масового обслуговування (ТСМО).

У ТСМО запит на обслуговування може називатися заявкою, а обслуговуючий пристрій - каналом. Система може складатися з одного або кількох каналів. Наприклад, якщо на фірмі один інженер обслуговує комп'ютери, то це одноканальна СМО. Якщо обслуговуванням займається кілька інженерів, то це багатоканальна СМО.

Теорія систем масового обслуговування вирішує переважно завдання аналізу. Робота СМО залежить від типу та структури потоку заявок, кількості каналів обслуговування та закону розподілу часу обслуговування. Важливим фактором є алгоритми обслуговування, які визначають поведінку заявок у системі. До них належать правила формування черги та алгоритми вибору заявок для обслуговування. Черга може бути обмеженою, необмеженою або взагалі відсутньою. Особливу увагу приділяють системам з «нетерплячими» заявками, які можуть покинути чергу або систему, не дочекавшись обслуговування. Прикладом є система протиповітряної оборони, де літак намагається вилетіти з зони обстрілу, не чекаючи на ураження.

Існують також системи, де певні заявки обслуговуються без черги або переривають обслуговування поточної заявки. Прикладом може бути робота операційної системи, яка реагує на натискання клавіш клавіатури.

Вибір заявок із черги може здійснюватися за різними алгоритмами. Найпоширенішим є FIFO (first input first output - «першим прийшов - першим обслужений»). У системах переривання операційних систем використовується алгоритм LIFO (last input first output - «останнім прийшов - першим обслужений»), який реалізується за допомогою стека. В окремих випадках застосовується випадковий вибір заявок із черги.

Складнішими є завдання синтезу СМО. Розробникам доводиться вирішувати питання щодо кількості каналів обслуговування, їх продуктивності, а також враховувати можливість виходу каналів з ладу. Організація черги передбачає визначення її розташування та максимальної кількості місць для очікування. Якщо черга заповнена, нові заявки втрачаються. Теоретично черга може бути нескінченною, але на практиці це неможливо, тому розробники повинні

враховувати ймовірність втрати заявок. У некритичних системах це допустимо, наприклад, якщо глядач не може купити квиток на сеанс у кінотеатрі, він може піти в кафе.

Окремо розглядаються питання синтезу пріоритетних СМО. Важливо визначити типи пріоритетів: відносні, абсолютні, динамічні або змішані. При відносних пріоритетах заявка обслуговується до кінця, навіть якщо в черзі з'являються пріоритетніші. Абсолютний пріоритет передбачає припинення обслуговування менш пріоритетної заявки при надходженні пріоритетнішої. Важливо визначити кількість рівнів пріоритету та призначити їх окремим джерелам заявок.

Ще складніші проблеми виникають при об'єднанні кількох СМО в мережу масового обслуговування. Розвиток цього напрямку призвів до створення складних комп'ютерних систем, зокрема Інтернету. У таких системах заявки можуть обслуговуватися на кількох вузлах мережі, змінювати маршрути та алгоритми обслуговування.

Графічно потік запитів на обслуговування можна подати у вигляді точок на часовій осі (рис. 2.6).

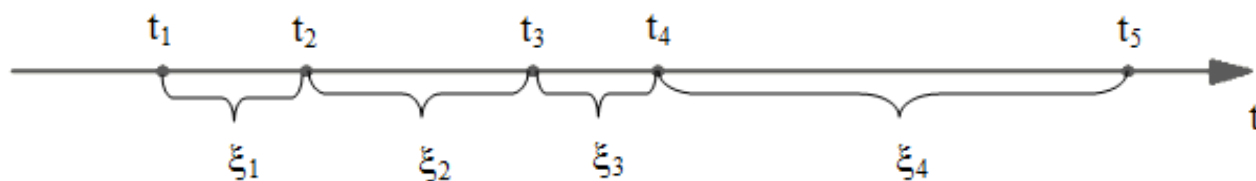


Рисунок 2.6 - Моменти надходження запитів на часовій осі

Інтервали часу між надходженням сусідніх запитів позначаються як ξ_1, ξ_2, ξ_3 та є випадковими величинами.

Вони характеризуються математичним сподіванням, дисперсією, функцією розподілу та іншими статистичними параметрами. Тому для аналізу потоків запитів необхідно застосовувати методи теорії ймовірностей та математичної статистики. Це стосується й часу обслуговування запитів.

На рис. 2.7 показано: t_{ni} - моменти надходження запитів на обслуговування (позначені точками на осі t_n); t_{oi} - моменти завершення обслуговування запитів

(позначені точками на осі t_o); L_s - зміна кількості запитів у системі. Це ілюструє динаміку роботи однолінійної системи масового обслуговування, демонструє, що всі процеси в системах масового обслуговування носять ймовірнісний характер. Для їхнього вивчення необхідно застосовувати теорію випадкових процесів.

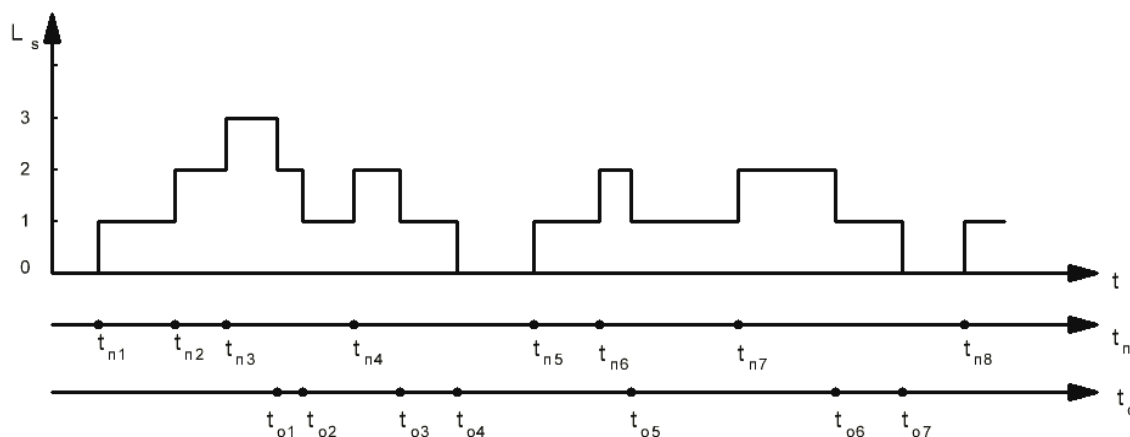


Рисунок 2.7 - Процес надходження та завершення обслуговування запитів у однолінійній СМО

Для забезпечення ефективної роботи системи необхідно моделювання комп'ютерної мережі, яка забезпечуватиме:

- швидкий обмін даними між вузлами;
- мінімальні затримки при обробці інформації;
- надійний захист від зовнішніх загроз.

Методи моделювання:

- теорія систем масового обслуговування (СМО) - для аналізу потоків даних та оптимізації черг;
- імітаційне моделювання - для тестування різних сценаріїв роботи системи;
- аналіз ризиків - для виявлення потенційних вразливостей та їх усунення.

2.3 Теоретичні основи моделювання комп'ютерних систем контролю якості друку на основі теорії систем масового обслуговування

2.3.1 Основні поняття та принципи СМО

Теорія СМО - це розділ прикладної математики, який вивчає системи, призначені для обслуговування потоку заявок (запитів, завдань) з метою

оптимізації їх роботи. СМО широко застосовується для моделювання комп'ютерних мереж, виробничих процесів та логістичних систем [31].

Основні компоненти СМО:

- вхідний потік заявок - послідовність запитів, які надходять у систему для обслуговування.

- черга - місце, де заявки очікують на обслуговування;

- обслуговуючі пристрої - сервери, промислові контролери, друкарські машини;

- вихідний потік - заявки, які пройшли обслуговування;

Класифікація СМО:

- за типом вхідного потоку: простий (пуассонівський) та складний;

- за дисципліною обслуговування: FIFO, LIFO, пріоритетне обслуговування;

- за кількістю обслуговуючих пристроїв: одноканальні та багатоканальні системи.

2.3.2 Математичний апарат СМО

Для опису та аналізу СМО використовуються такі показники [32]:

Інтенсивність надходження заявок (λ) - середня кількість заявок за одиницю часу.

Інтенсивність обслуговування (μ) - середня кількість заявок, які обслуговуються за одиницю часу.

Коефіцієнт завантаження системи (ρ):

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad (2.1)$$

Якщо $\rho < 1$, система стійка.

Якщо $\rho \geq 1$, система нестійка.

Середня довжина черги (L):

$$L = \frac{\rho}{1-\rho} \quad (2.2)$$

Середній час очікування в черзі (W):

$$W = \frac{L}{\lambda} \quad (2.4)$$

Середній час перебування заявки в системі (T):

$$T = W + \frac{1}{\mu} \quad (2.5)$$

2.4 Висновки до розділу

Теорія СМО є потужним інструментом для моделювання та оптимізації комп'ютерних систем контролю якості друку.

Основні параметри СМО дозволяють оцінити ефективність системи та визначити шляхи її покращення.

Моделювання системи контролю якості друку за допомогою СМО дозволяє оптимізувати кількість обслуговуючих пристроїв та алгоритми обробки даних.

Для практичного застосування комп'ютерної системи контролю якості для друкарні «Поліграфсервіс» модель СМО має підтвердити, що система є стійкою і визначити що треба для зробиати для зниження часу очікування (збільшити кількість серверів або оптимізувати алгоритми обробки).

При моделюванні комп'ютерної системи контролю якості слід також оцінити перспективи розвитку, які можуть бути пов'язані з використанням хмарних технологій, штучного інтелекту та Big Data, що зможе реально підвищити ефективність системи контролю якості друку [33].

3 СИНТЕЗ СИСТЕМИ ПІДПРИЄМСТВА

3.1 Формалізований підхід та інтеграція інформаційно-вимірювальних систем

Стабільність та якість друку в сучасних видавничих комплексах безпосередньо залежать від точного контролю параметрів, таких як товщина фарбового шару, кольоропередача, вологість паперу та температура. Ці параметри визначають кінцеву якість продукції, тому їх моніторинг та коригування є критично важливими для мінімізації браку та оптимізації виробничих процесів. [36]

Інформаційно-вимірювальні системи (ІВС) забезпечують безперервний моніторинг параметрів друку, але їх інтеграція з автоматизованими системами управління виробництвом (АСУВ) стикається з рядом викликів:

- низька точність вимірювань через варіабельність параметрів та зовнішні впливи; [36]

- відсутність єдиних стандартів (ISO, FOGRA), що ускладнює уніфікацію процесів; [37]

- закриті протоколи та несумісність обладнання, які обмежують можливості автоматизації; [38]

- високі витрати на впровадження та підтримку сучасних ІВС, особливо в умовах переходу до стандартів Industry 4.0. [39]

Для подолання цих проблем необхідний формалізований підхід, який включає:

- стандартизацію вимірювальних процесів на основі міжнародних норм (ISO 12647, FOGRA); [36, 37]

- автоматизацію збору та обробки даних з використанням відкритих протоколів (OPC UA, MQTT); [39, 40]

- інтеграцію з цифровими платформами для прогнозування відмов та оптимізації виробництва. [38]



Рисунок 3.1 – Схема інтеграції ІВС з АСУВ на основі відкритих протоколів

Метрологічне забезпечення ІВС базується на міжнародних та галузевих стандартах, які регламентують:

- точність вимірювань (похибка не більше $\pm 0,5\%$);
- стабільність роботи в динамічних умовах виробництва;
- автоматичне коригування параметрів за результатами аналізу даних;

Вимірювальні пристрої повинні відповідати таким вимогам:

- мінімальна похибка (не більше 1%); [36]
- робота в реальному часі з підтримкою динамічних коригувань;
- сумісність з АСУВ та іншими виробничими модулями. [37]

В табл. 3.1 представлено формалізований опис структури ІВС

Таблиця 3.1 - Формалізований опис структури ІВС [36, 37]

Рівень	Опис
Збір даних	Датчики, що зчитують фізичні параметри друку (товщина фарби, вологість паперу, температура).
Обробка даних	Фільтрація, нормалізація та виявлення відхилень у вимірюваннях за допомогою алгоритмів машинного навчання.
Аналіз	Прогноз відхилень та моделювання коригувальних дій на основі статистичних методів.
Управління	Автоматизоване коригування параметрів друку через інтеграцію з АСУВ.
Взаємодія з оператором	Надання звітів, рекомендацій та інтуїтивного інтерфейсу для ручного налаштування.

Ефективність комп'ютерної інформаційно-вимірювальної системи оцінюється за такими ключовими показниками:

- коефіцієнт кореляції (R^2) - визначає відповідність вимірюваних і референтних значень (оптимальне значення: $R^2 \geq 0,95$); [36]
- систематична похибка (δ) - виявляє зміщення результатів вимірювань (припустиме значення: $\delta \leq 0,3\%$); [37]

- індекс процесної спроможності (C_{pk}) - характеризує стабільність параметрів (бажане значення: $C_{pk} \geq 1,33$). [36]

Використання цих показників дозволяє:

- виявляти відхилення на ранніх етапах;
- автоматично коригувати параметри для підтримки стабільності процесу;
- підвищувати якість друку та зменшувати кількість браку.



Рисунок 3.2 – Багатоплановість функціональності архітектура програмного забезпечення комп'ютерної системи моніторингу

Програмне забезпечення комп'ютерної ІВС має модульну архітектуру, яка включає: [38-40]

- модуль збору даних - отримує інформацію з датчиків та передає її на обробку;
- модуль попередньої обробки - фільтрує та нормалізує дані для подальшого аналізу;
- аналітичний модуль - виявляє відхилення та прогнозує зміни параметрів за допомогою алгоритмів штучного інтелекту;
- модуль управління - автоматично коригує параметри друку на основі аналізу;
- інтерфейс користувача - візуалізує дані та надає інструменти для ручного налаштування.

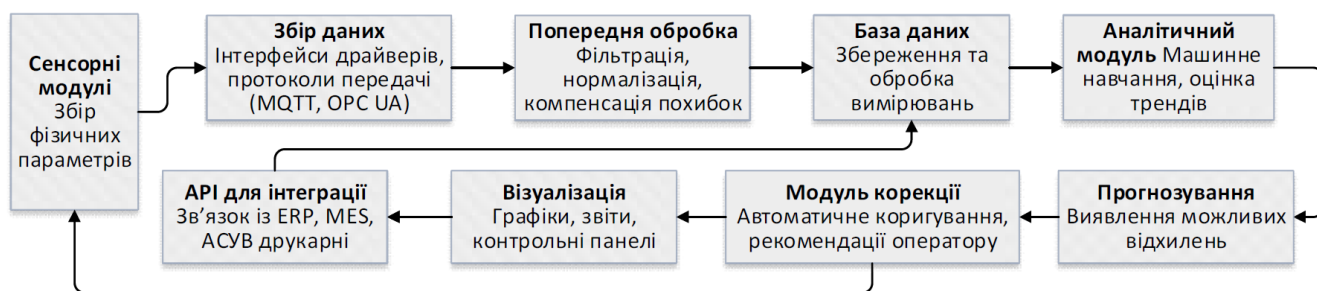


Рисунок 3.3 - Архітектура ПЗ системи моніторингу

Очікується, що запропонована комп'ютеризована ІВС автоматизує контроль друкарських процесів, забезпечуючи:

- безперервний моніторинг параметрів у реальному часі.
- обробку даних з використанням сучасних алгоритмів.
- автоматичне коригування параметрів для підтримки стабільності процесу.

Очікувані результати впровадження: [36-39]

- зменшення часу виявлення відхилень до 80%.
- підвищення точності вимірювань до 99%.
- зниження рівня браку на 25%.
- прискорення обробки даних на 70%, що забезпечить оперативний аналіз та прийняття рішень.

Таким чином очікується висока ефективність системи, її здатність оптимізувати виробничі процеси, підвищувати якість друку та автоматизувати контроль.

3.2 Просторова структура видавничого комплексу

У рамках кваліфікаційної роботи магістра на тему «Обґрунтування структури та параметрів комп'ютерної системи контролю параметрів виробничого процесу видавничого комплексу» розглядається розробка моделі комп'ютерної системи контролю якості друку для друкарні «Поліграфсервіс» (м. Дніпро) з головною метою інтеграції її до організаційною структурою видавництва «Старого Лева», що забезпечить ефективне управління виробничими, логістичними та контрольними процесами.

Видавничий комплекс, для якого розробляється система контролю, розташований у триповерховій будівлі з однаковим плануванням поверхів (рис. 3.4). Кожен поверх поділений на функціональні зони, де розміщені цехи друку, відділи дизайну, контролю якості та адміністративні приміщення. Таке розташування вимагає гнучкої мережевої інфраструктури, здатної забезпечити стабільний зв'язок між усіма підрозділами.

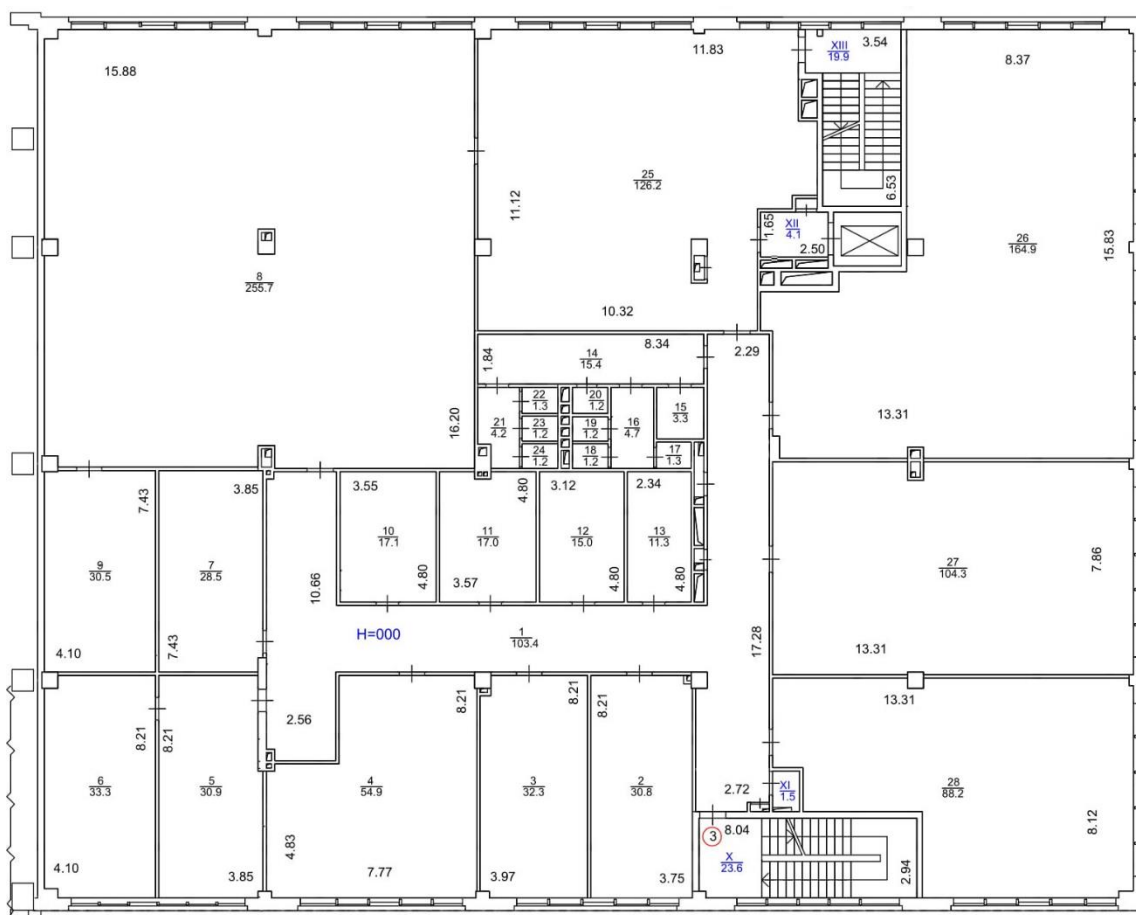


Рисунок 3.4 – План поверхів друкарні «Поліграфсервіс» (м. Дніпро)

Розподіл робочих місць та мережевого обладнання показано в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 - Розподіл робочих місць та комутаторів

Поверх	Зона/Кімнати	Кількість робочих місць	Кількість комутаторів	Тип обладнання
1	Цех друку	8	1	Комутатор з підтримкою PoE
2	Дизайн	8	1	Комутатор з підтримкою VLAN
2	Контроль якості	16	1	Комутатор з підтримкою QoS
3	Адміністрація	8	1	Стандартний комутатор

Для забезпечення надійного зв'язку та ефективного управління виробничим процесом на кожному поверсі встановлено комутатори, які відповідають специфіці робочих зон. Наприклад, у цеху друку використовуються комутатори з підтримкою PoE (Power over Ethernet) для живлення IP-камер та датчиків, а в зоні контролю якості - комутатори з підтримкою QoS (Quality of Service) для пріоритизації трафіку даних від контролерів якості [37, 40].

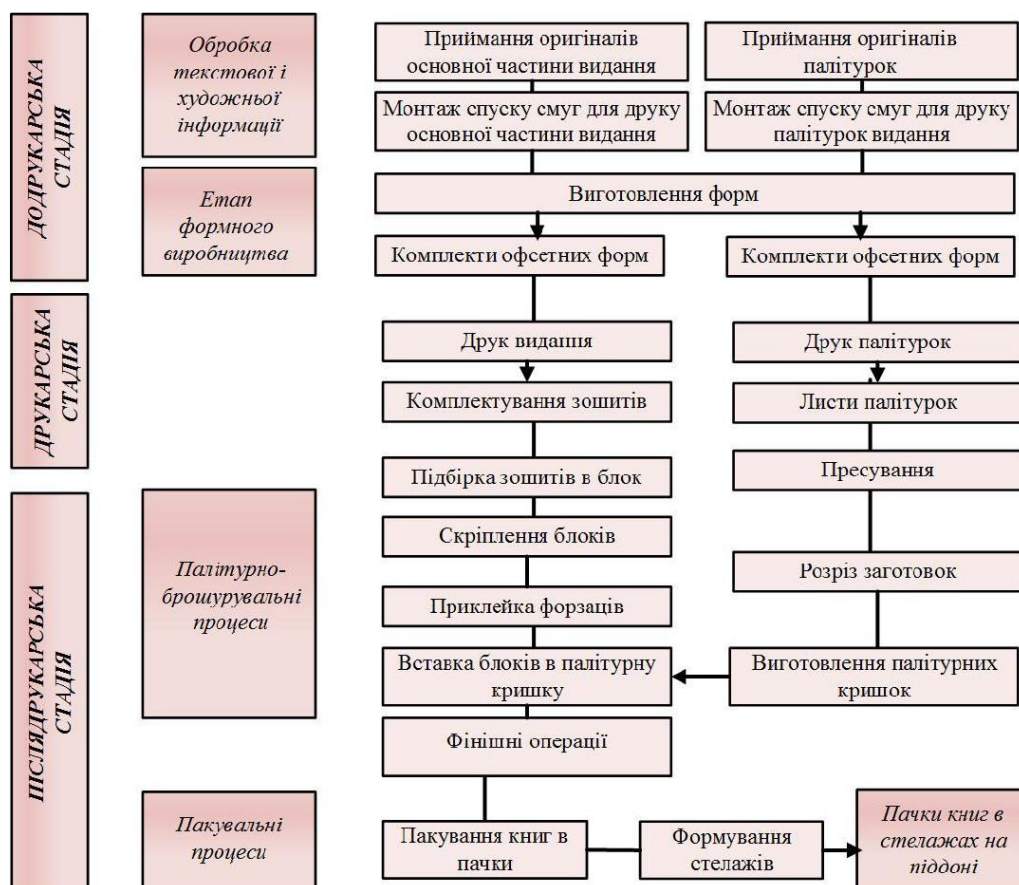


Рисунок 3.5 - Схема виробничого процесу видавництва

3.3 Обґрунтування структури та параметрів системи контролю

Для забезпечення ефективного контролю параметрів виробничого процесу видавничого комплексу обрано дворівневу архітектуру, яка включає:

Рівень ядра - маршрутизатори, які забезпечують зв'язок між різними сегментами мережі та зовнішніми системами (наприклад, хмарними сервісами для зберігання даних). Маршрутизатори підтримують протоколи OSPF та BGP, що дозволяє оптимізувати маршрутизацію трафіку та забезпечувати резервування каналів зв'язку.

Рівень розподілу - комутатори, які забезпечують підключення кінцевих пристроїв (датчиків, контролерів, робочих станцій). Комутатори підтримують технології VLAN та QoS, що дозволяє сегментувати мережу та пріоритизувати критичний трафік.

Основні параметри системи контролю включають:

- швидкодія - система повинна забезпечувати обробку даних у реальному часі, що особливо важливо для контролю параметрів друку та якості продукції.

- надійність - використання резервних каналів зв'язку та дублювання критичних вузлів мережі.

- масштабованість - можливість розширення системи при збільшенні кількості підключених пристроїв або зміні технологічних процесів.

- безпека - захист даних від несанкціонованого доступу за допомогою механізмів аутентифікації, шифрування та сегментації мережі [39, 41].

Загальна архітектура комп'ютерної системи виглядає, так як зображено на рис. 3.3

На структурній схемі комп'ютерної мережі представлено ключові пристрої, які забезпечують її функціонування, управління трафіком та безпеку передачі даних. В табл. 3.2. наведено їх короткий опис та призначення.

Кожен з цих пристроїв відіграє важливу роль у забезпеченні стабільності, продуктивності та безпеки комп'ютерної мережі. Вибір та конфігурація мережевого обладнання залежать від вимог до продуктивності, масштабу мережі та рівня безпеки. Сучасні мережі часто комбінують різні типи пристроїв для досягнення оптимальних показників роботи.

Запропонована структура комп'ютерної системи контролю параметрів виробничого процесу видавничого комплексу забезпечує ефективний моніторинг та управління виробництвом. Використання дворівневої архітектури, сучасних комутаторів та маршрутизаторів дозволяє досягти високої продуктивності, надійності та масштабованості системи. Впровадження такої системи сприятиме підвищенню якості друкованої продукції, зменшенню витрат на обслуговування обладнання та оптимізації виробничих процесів.

Таблиця 3.3 - Основні пристрої комп'ютерної мережі та їх функції

Пристрій	Опис
Маршрутизатор	Пристрій, який приймає рішення щодо пересилки пакетів на мережевому рівні між різними сегментами мережі. Маршрутизатори використовують таблиці маршрутизації для визначення оптимального шляху передачі даних, забезпечуючи зв'язок між локальними та глобальними мережами.
Комутатор	Пристрій, який з'єднує кілька вузлів комп'ютерної мережі та забезпечує передачу даних лише між тими портами, де знаходяться адресат і відправник. Комутатори працюють на канальному рівні моделі OSI, підвищуючи продуктивність мережі шляхом зменшення колізій.
Точка доступу	Пристрій, який забезпечує бездротовий доступ до дротового сегменту мережі. Точки доступу використовуються для створення Wi-Fi мереж, дозволяючи підключати мобільні пристрої та ноутбуки без використання кабелів.
Сервер	Потужний комп'ютер або система, яка надає ресурси, послуги або дані іншим комп'ютерам (клієнтам) у мережі. Сервери можуть виконувати різні функції: файловий сервер, сервер баз даних, веб-сервер тощо.
Мережевий екран (Firewall)	Пристрій або програмне забезпечення, яке контролює вхідний та вихідний мережевий трафік на основі заздалегідь визначених правил безпеки. Мережеві екрани захищають мережу від несанкціонованого доступу та кібератак.
Концентратор (Hub)	Застарілий пристрій, який ретранслює отримані дані на всі порти, незалежно від адресата. На відміну від комутаторів, концентратори не аналізують адреси призначення, що призводить до збільшення навантаження на мережу.

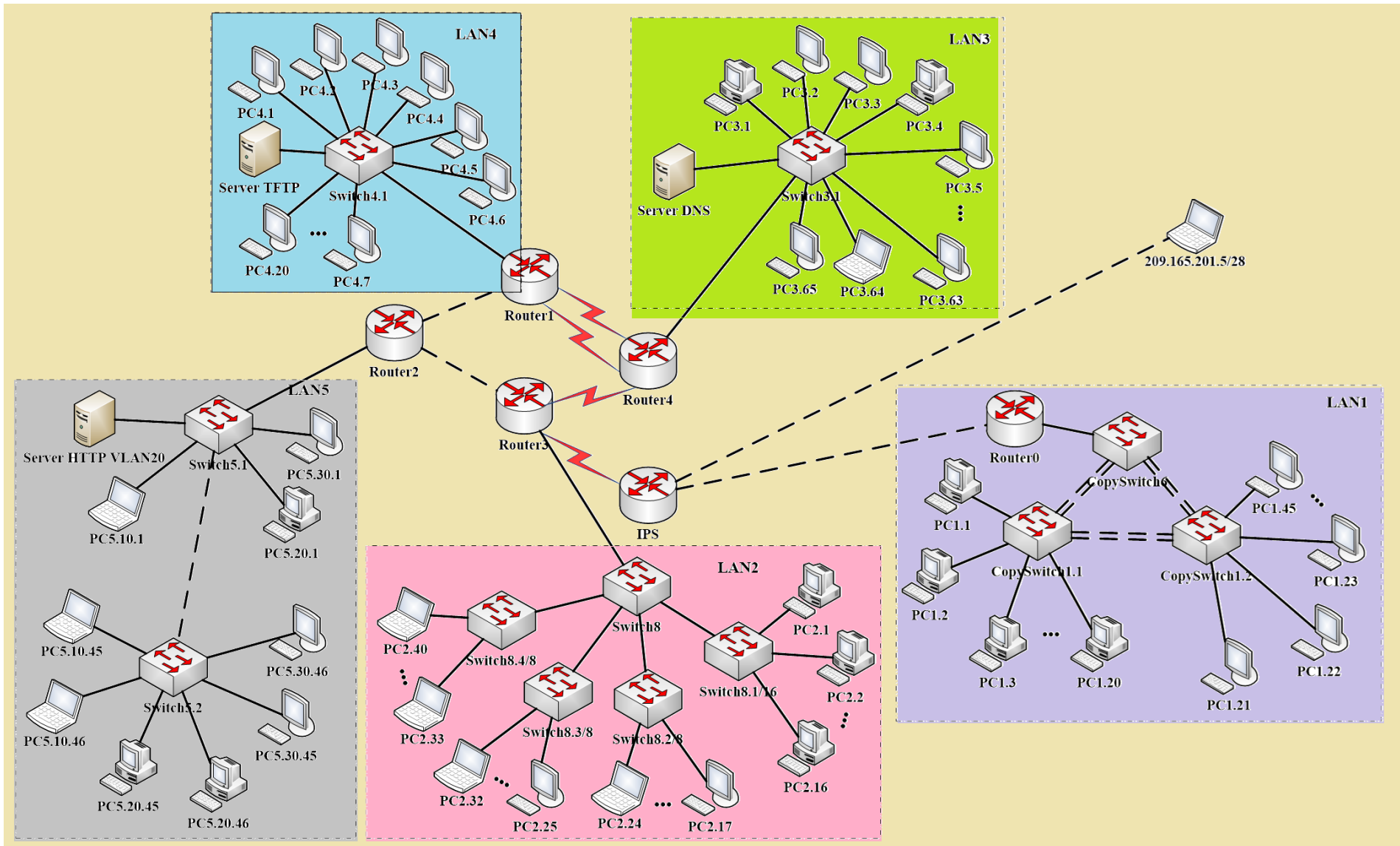


Рисунок 3.3 – структура комп'ютерної системи контролю параметрів виробничого процесу видавничого комплексу

3.4 Апаратне забезпечення комп'ютерної системи

На основі структурної схеми комп'ютерної системи контролю якості друку для друкарні «Поліграфсервіс» (м. Дніпро) було розроблено детальну специфікацію необхідного обладнання. Загальні технічні характеристики та перелік пристроїв наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 - Специфікація комп'ютерної системи контролю якості друку для друкарні «Поліграфсервіс» (м. Дніпро)

№	Найменування та технічні характеристики	Модель	Од. виміру	Кількість	Примітки
1	Маршрутизатор: 2 порти Fast Ethernet; 4 модульні порти HWIC; 2 роз'єми Advanced Integration Module; брендмауер Cisco IOS; система запобігання вторгнень NAC; підтримка IPSec VPN (до 1500 тунелів); Advanced QoS; 802.1Q, 802.1X; 2 слоти PVIDM; опціонально: Call Manager Express, SRST, голосова пошта, PoE; 1 порт NME.	Cisco 2811	од.	6	Існуючий
2	Комутатор: 16 портів Fast Ethernet (10/100 Мбіт/с); 2 комбіновані порти 10/100/1000BASE-T/SFP; підтримка PoE; некерований.	D-Link DES-1018P	од.	1	LAN2
3	Робоча станція (моноблок): 21.5" (1920 x 1080); процесор Intel Celeron 3867U (1.8 ГГц, 2 ядра); 4 ГБ ОЗУ; відео Intel UHD Graphics 610; 256 ГБ SSD; 4 x USB 3.1 Type-A, USB 2.0; Wi-Fi 802.11ac; Bluetooth 4.1; 1 x HDMI, 1 x Audio; камера 1 МП; ОС Endless OS.	ASUS Vivo AiO V222UA	од.	40	LAN2
4	Комутатор рівня 2+: 24 порти Fast Ethernet RJ-45; 2 порти агрегації Gigabit Ethernet RJ-45; матриця комутації 16 Гбіт/с; таблиця MAC-адрес на 8000 записів; підтримка 255 активних VLAN; продуктивність 6,5 MPPS; максимальний VLAN ID: 4096; консольний порт RJ-45 (RS232); Cisco IOS LAN Base; живлення AC 220В.	Cisco Catalyst 2948-24TT	од.	5	Існуючий LAN5, LAN1
5	Комутатор: характеристики аналогічні п. 4.	Cisco Catalyst 2948-24TT	од.	3	LAN4, LAN3, LAN2
6	Комутатор: 9 портів Fast Ethernet (10/100 Мбіт/с); підтримка PoE; некерований.	FoxGate S6009	од.	3	LAN2
7	Кабель-канал пластиковий: розміри 40x60 мм.	«Імпакт»	м	738	LAN2
8	Кабель-канал пластиковий: розміри 20x40 мм.	«Імпакт»	м	228	LAN2
9	Мережева розетка: 1 порт, екранована RJ45 STP, категорія 5Е, білий колір.	EServer™ RJ45 STP	од.	44	LAN2
10	Розетка живлення зовнішня: Forix 2+2К+3 без шпорок, ступінь захисту IP44.	Legrand Forix	од.	24	LAN2
11	Кабель F/UTP: кручена пара категорії 5е для внутрішньої прокладки; підтримка PBX, V.11, X.21, ISDN, Ethernet (10Base-T), ATM-25/52/155 Мбіт/с, 100VG-AnyLAN, Fast Ethernet (100BASE-TX), Token Ring 16/100 Мбіт/с, Gigabit Ethernet	Vago КГПВЕ-ВІІ (100)	м	966	LAN2

3.5 Висновок

У третьому розділі було проведено комплексний аналіз та синтез інженерно-технічних рішень для створення комп'ютерної системи контролю якості друку на базі друкарні «Поліграфсервіс» (м. Дніпро). Розроблена система є інноваційним рішенням, спрямованим на підвищення точності, швидкості та надійності виробничих процесів у поліграфічній галузі.

Основні результати розділу:

1. Було запропоновано системний підхід до інтеграції інформаційно-вимірювальних систем (ІВС) з автоматизованими системами управління виробництвом (АСУВ). Використання сучасних стандартів (ISO 12647, FOGRA) та відкритих протоколів (OPC UA, MQTT) дозволило забезпечити сумісність, точність та автоматизацію контролю параметрів друку. Це сприяє не лише підвищенню якості кінцевої продукції, а й зменшенню виробничих втрат та оптимізації ресурсів.

2. Було проаналізовано організаційну та просторову структуру друкарні «Поліграфсервіс», що дозволить оптимізувати розміщення комп'ютерного обладнання та робочих місць. Використання дворівневої архітектури мережі (ядро та рівень розподілу) забезпечить ефективне управління виробничими процесами та зменшення часу реакції на зміни в технологічних параметрах.

3. Було обґрунтовано структуру та ключові параметри системи контролю якості друку. Використання модульної архітектури програмного забезпечення та сучасних алгоритмів обробки даних дозволило забезпечити автоматичний моніторинг, аналіз та коригування параметрів у реальному часі. Це підвищує стабільність виробничого процесу та зменшує ймовірність виникнення браку.

Було представлено детальну специфікацію апаратного забезпечення, яке відповідає вимогам високої продуктивності, надійності та масштабованості. Використання сучасних маршрутизаторів (Cisco 2811), комутаторів (Cisco Catalyst 2948-24TT) та робочих станцій (ASUS Vivo AiO V222UA) забезпечує стабільну роботу системи навіть за умов високого навантаження. Крім того, використання екранованих кабелів категорії 5e та сучасних мережевих розеток гарантує надійність та захищеність передачі даних.

Розроблена система контролю якості друку матиме значний практичний потенціал для друкарні «Поліграфсервіс»:

- підвищення якості продукції завдяки точному контролю параметрів друку;
- зменшення виробничих втрат через автоматичне виявлення та коригування відхилень;

- оптимізація виробничих процесів завдяки інтеграції з АСУВ та використанню сучасних алгоритмів обробки даних;

- масштабованість системи, що дозволяє легко адаптувати її до змін у виробничих процесах або збільшення обсягів виробництва;

У майбутньому планується розширення функціональності системи шляхом впровадження елементів штучного інтелекту для прогнозування відмов обладнання та хмарних технологій для централізованого управління виробництвом. Це дозволить друкарні «Поліграфсервіс» зайняти лідерські позиції на ринку поліграфічних послуг та забезпечити конкурентні переваги завдяки високій якості та ефективності виробничих процесів.

4 РОЗРОБКА ПЗ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ВИРОБНИЧОГО ПРОЦЕСУ ВИДАВНИЧОГО КОМПЛЕКСУ НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ СМО

4.1 Призначення та сфера застосування програми

Сучасні видавничі комплекси потребують прецизійного контролю над параметрами виробничого процесу, такими як якість друку, вологість паперу, товщина фарбового шару, кольоропередача та інші критичні показники. Для забезпечення ефективного моніторингу та оптимізації роботи комп'ютерної системи контролю було розроблено спеціалізоване програмне забезпечення, яке базується на теорії систем масового обслуговування (СМО).

Програма призначена для моделювання роботи системи контролю параметрів друку як замкнутої мережі СМО, де інформаційні пакети циркулюють між вузлами (маршрутизаторами, комутаторами, контролерами). Основні завдання програми:

Розрахунок безрозмірних параметрів (обсяг даних, час обробки, інтенсивність трафіку).

Оптимізація роботи мережевих пристроїв шляхом визначення черг на обробку даних.

Моделювання реакції системи на різні навантаження трафіку для виявлення потенційних вузьких місць.

Область застосування програми включає математичне моделювання фрагментів комп'ютерних мереж, що особливо актуально для видавничих комплексів, де точність і швидкість обробки даних є критичними факторами успіху.

4.2 Обґрунтування технічних характеристик програми на основі СМО

Використання програми дозволяє отримати ключові показники, які характеризують ефективність роботи мережі з точки зору теорії СМО:

Ймовірність вивільнення та використання вузлів у комп'ютерній мережі (визначається за допомогою стаціонарних розподілів СМО).

Середня затримка обробки пакетів у вузлах мережі (розраховується за формулою Літтла).

Середня довжина черги у вузлах (визначається за допомогою формул Ерланга).

Середня кількість запитів на обробку даних у вузлах (використовується модель М/М/1 для оцінки).

Ці показники дозволяють оцінити ефективність роботи мережі та виявити потенційні вузькі місця, які можуть впливати на продуктивність системи контролю параметрів друку.

4.2.1 Завдання з розробки ПЗ на основі СМО

Для моделювання роботи комп'ютерної мережі використовуються теорія систем масового обслуговування та методи аналізу мережевого трафіку. Основні завдання програми включають:

- розрахунок наскрізної затримки пакетів у мережі, яка залежить від інтенсивності трафіку (λ) та пропускної здатності каналів (μ);
- оцінка впливу зміни структури трафіку на продуктивність мережі за допомогою моделей М/М/с та М/Г/1;
- моделювання поведінки мережі за різних умов навантаження з використанням методу Монте-Карло для прогнозування реакції системи на зміни.

Програма повинна враховувати такі параметри СМО:

- кількість вузлів у мережі (від 10).
- матриця ймовірностей має відповідати структурній схемі комп'ютерної мережі;
- кількість пакетів для мережі (від 10);
- кількість пакетів з обробки (до 16).

Час на обробку пакетів у відносних одиницях для мережевих вузлів (робочі станції, роутери, свічі), який може змінюватися залежно від поточного навантаження. Цей показник знаходиться за виразом для експоненціальних підрахунків, наведено в табл. 4.1 - основні параметри моделювання мережі на основі СМО.

Таблиця 4.1 - Основні параметри моделювання мережі на основі СМО

Параметр	Значення	Метод розрахунку
Кількість вузлів	Не менше 10	Використовується для побудови перехідної матриці ймовірностей.
Кількість пакетів	Не менше 10	Визначає інтенсивність надходження пакетів (λ).
Максимальна кількість пакетів	16	Обмежує довжину черги у вузлах мережі.
Пропускна здатність каналів	1 000 Мбіт/с	Використовується для розрахунку швидкості обслуговування (μ).
Метод моделювання	Теорія СМО, алгоритм Бузена	Використовується для моделювання замкнутих мереж СМО.
Програмне забезпечення	Mathcad 15+	Чисельне моделювання і візуалізація результатів.

4.2.2 Структура ПЗ з використанням СМО

Для роботи програми необхідно встановити такі програмні засоби:

- Microsoft Office 2019 (з компонентом MS Access);
- Mathcad 15 або новішої версії.

Програма моделює високошвидкісну комп'ютерну мережу як замкнуту систему масового обслуговування, де кожен комп'ютер підключається через комутатор з не менше ніж чотирма каналами, кожен з яких має пропускну здатність 1000 Мбіт/с. Маршрутизатори виконують роль вузлів каналів, забезпечуючи асинхронний доступ без колізій завдяки використанню слотової схеми пріоритетного доступу.

Алгоритм роботи програми на основі СМО:

- розбиття пакетів на підпакети (максимальний розмір пакета — 65 536 байт, розділений на 16 підпакетів);
- обробка пакетів з урахуванням інтенсивності надходження (λ) та швидкості обслуговування (μ);
- моделювання черг у вузлах мережі для визначення середнього часу обробки пакетів за допомогою формули Літтла:

$$W = \frac{L}{\lambda} \quad (4.1)$$

де W — середній час перебування пакета у системі, L — середня кількість пакетів у системі, λ — інтенсивність надходження пакетів.

4.2.3 Метод організації вхідних і вихідних даних на основі СМО

Програма моделює комп'ютерну мережу як систему черг СМО, де кожен вузол має асинхронний доступ. Для моделювання використовуються такі припущення:

- кожен комп'ютер має стільки мережевих портів, скільки доступно кабелів;
- доступ до системи черг є строго пріоритетним, що дозволяє моделювати поведінку мережі за різних умов навантаження.

Програмне забезпечення дозволяє заздалегідь проаналізувати можливості мережі за її моделлю, що значно знижує витрати на пошук оптимальних рішень для реальної системи.

Для моделювання використовуються стандартні моделі СМО:

- М/М/1 — для оцінки роботи окремих вузлів;
- М/М/с — для моделювання систем з декількома паралельними каналами обслуговування:
- М/G/1 — для врахування варіативності часу обслуговування.

4.2.4 Вибір складу програмних засобів

Для розробки програми використовуються такі технічні засоби:

- комп'ютер з мінімальною конфігурацією:
- моноблок 21.5", роздільна здатність 1920 x 1080;
- процесор 2.4 ГГц, 6 ядер;
- оперативна пам'ять: 8 ГБ;
- відеокарта: вбудована ОЗУ 2 ГБ.
- накопичувач: 256 ГБ (SSD).
- операційна система: Windows 10 або вище.

4.3 Опис розробленої програми на основі СМО

Програма призначена для розрахунку характеристик мережі з використанням методів СМО:

- початкові значення характеристик (кількість пакетів, матриця маршрутів, кількість конвеєрів у вузлах);
- середній час обробки пакетів у конвеєрній стрічці кожного вузла (визначається за допомогою експоненціального розподілу);
- система рівнянь у матричному вигляді для визначення коефіцієнтів передачі (використовується метод Гауса);
- розрахунок ймовірностей станів мережі та середньої кількості пакетів у вузлах (використовуються формули Ерланга);
- визначення середнього часу перебування пакету у вузлі за допомогою теореми Літтла.

4.3.1 Загальні відомості про використання СМО

Кожен вузол у мережі повинен мати можливість надсилати інформацію на інші вузли. Для цього локальні обчислювальні мережі (ЛВС) підключаються через мости та шлюзи:

- мости з'єднують однотипні логічні мережі (наприклад, дві мережі Ethernet);
- шлюзи з'єднують мережі різних типів (наприклад, Ethernet та Token Ring).

Шлюзи є складнішими пристроями, оскільки вони форматують пакети для передачі між різними типами мереж, що може призводити до додаткових затримок. Для оцінки цих затримок використовуються моделі СМО з пріоритетами.

4.3.2 Функціональне призначення програми на основі СМО

Основна проблема при моделюванні мережі — опис накладення робочого навантаження. Це особливо актуально при передачі трафіку через шлюзи, оскільки розмір пакетів обмежений мережевими протоколами. Програма дозволяє оцінити наскрізні затримки передачі пакетів, враховуючи особливості кожного сегмента шляху та розподіл розмірів пакетів. Для цього використовуються моделі СМО з обмеженими чергами.

4.3.3 Опис логічної структури програми з використанням СМО

Програма складається з таких модулів:

- вхідні дані (кількість пакетів, матриця маршрутів, час обробки пакетів);
- розрахунок (коефіцієнти передачі, ймовірності станів, середня кількість пакетів);
- вивід результатів у числовому та графічному вигляді за допомогою Mathcad.

Для моделювання використовуються стандартні розподіли СМО:

- експоненціальний розподіл для часу обслуговування;
- розподіл Пуассона для інтенсивності надходження пакетів.

4.3.4 Технічні засоби для розробки ПЗ

ПЗ має працювати з ТЗ, які були зазначені раніше з відповідними параметрами виклику.

4.3.5 Алгоритм роботи ПЗ, розробленого на основі СМО

Алгоритм роботи програми включає:

- організацію вихідних даних за специфікою мови Mathcad;
- розрахунок ймовірності зіткнень у мережі на основі припущення про пуассонівський трафік;
- моделювання черг у мережевих вузлах з визначеним середнім часом для обробки пакетів за допомогою формули Літтла.

4.3.6 Входи та виходи параметрів моделювання мережі на основі СМО

Вхідні дані:

- кількість вузлів у мережі;
- час з обробки пакета у вузі (розрахунок експоненціального розподілу);
- матриця ймовірностей інформаційних потоків;
- кількість конвеєрів поточної обробки у вузлах;
- кількість циркулюючих у мережі пакетів (розподіл Пуассона).

Вихідні дані:

- показник інтенсивності вхідних запитів (λ);
- показник кількості пакетів у черзі (L);

- середній час перебування пакету у вузлі (W);
- коефіцієнти переходу у вигляді матриці.

4.4 Висновок

Розроблено структуру та завдання для створення моделі комп'ютерної системи контролю параметрів виробничого процесу видавничого комплексу за допомогою теорії систем масового обслуговування (СМО). Програма моделює потік пакетів у вузлах комп'ютерної мережі (маршрутизатори, комутатори, контролери), проводить аналіз продуктивності системи з використанням стандартних моделей СМО.

Розроблена модель комп'ютерної мережі може бути використана для оптимізації виробничих процесів, підвищення якості друку та зменшення виробничих втрат. Впровадження такої системи дозволить видавничому комплексу «Поліграфсервіс» підвищити ефективність контролю параметрів друку та забезпечити конкурентоспроможність на ринку поліграфічних послуг.

5 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ РОЗДІЛ: МОДЕЛЮВАННЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ДРУКУ ДЛЯ ДРУКАРНІ «ПОЛІГРАФСЕРВІС»

5.1 Вступ

У рамках кваліфікаційної роботи магістра на тему «Обґрунтування структури та параметрів комп'ютерної системи контролю параметрів виробничого процесу видавничого комплексу» розглядається розробка моделі комп'ютерної системи контролю якості друку для друкарні «Поліграфсервіс» (м. Дніпро). Основна мета дослідження - інтеграція цієї системи з організаційною структурою видавництва «Старого Лева» для забезпечення ефективного управління виробничими, логістичними та контрольними процесами.

5.1 Розробка моделі СМО комп'ютерної системи контролю якості друку

5.1.1 Архітектура моделі

Для дослідження ефективності комп'ютерної системи контролю якості друку була розроблена математична модель, заснована на теорії систем масового обслуговування. Модель відображає структуру комп'ютерної мережі друкарні «Поліграфсервіс», де кожен вузол розглядається як окремий елемент СМО з урахуванням ймовірностей передачі даних між вузлами.

Основні припущення моделі (рис. 5.1):

1. Типи вузлів: вузли мережі поділяються на комутатори (Switch) зі швидкістю 100 Мб/с та маршрутизатори (Router) зі швидкістю 1000 Мб/с.
2. Стаціонарний режим: модель припускає, що система працює в стаціонарному режимі, тобто ймовірності передачі даних між вузлами не змінюються з часом.
3. Фіксований час обробки: час обробки інформаційного пакету даних у кожному вузлі вважається фіксованим.
4. Конвеєр обробки: у базовому комплекті мережевих пристроїв знаходиться по одному конвеєру обробки інформаційних пакетів даних.
5. Експоненціальний розподіл: припускається, що час обслуговування пакетів у вузлах має експоненціальний розподіл.

6. Фіксована кількість пакетів: припускається, що кількість пакетів, які циркулюють у системі, є фіксованою.

7. Рівномірне навантаження: навантаження на систему розподіляється рівномірно між вузлами.

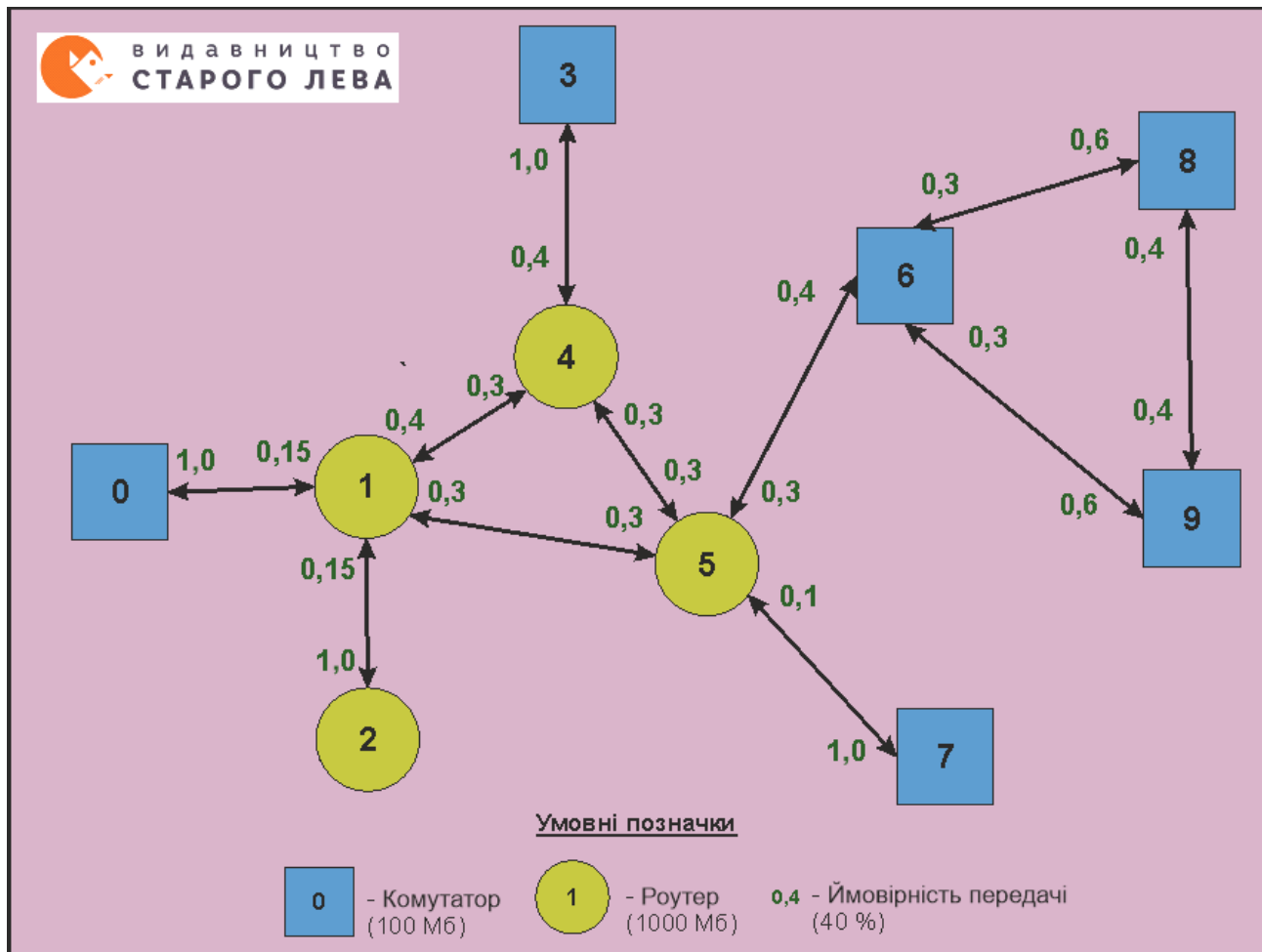


Рисунок 5.1 - Структурна схема СМО моделі мережі КС

Основні компоненти моделі:

- вузли «0», «3», «6», «7», «8», «9» - мережеві комутатори (Switch) зі швидкістю передачі 100 Мб/с, які забезпечують доступ до системи контролю якості друку.

- вузли «1», «2», «4», «5» - маршрутизатори (Router) зі швидкістю 1 000 Мб/с.

Ймовірнісні характеристики:

- ймовірність передачі даних між вузлами визначається на основі аналізу реального трафіку мережі та специфіки програмного забезпечення.

- сума ймовірностей у вузлі за всіма напрямками становить 1.0 (100%), що відповідає повному розподілу трафіку.

- найбільш інтенсивний обмін даними відбувається між маршрутизаторами та серверами контролю якості, а також з зовнішніми системами управління виробництвом.

Пояснення з визначення ймовірностей передачі даних :

- вузол «0» завжди передає дані до вузла «1» з ймовірністю 1.0.
- вузол «1» розподіляє трафік між вузлами «0», «2», «4», «5» з ймовірностями 0.15, 0.15, 0.4, 0.3 відповідно.
- вузол «5» взаємодіє з вузлами «1», «4», «6», «7» з ймовірностями 0.3, 0.3, 0.3, 0.1.

5.1.2 Маршрутна матриця та час обробки даних

На основі ймовірнісних характеристик була побудована маршрутна матриця, яка відображає напрямки передачі даних між вузлами.

Маршрутна матриця (P) :

$$P = \begin{bmatrix} 0.0 & 1.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.15 & 0.0 & 0.15 & 0.0 & 0.4 & 0.3 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 1.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 1.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.3 & 0.4 & 0.0 & 0.3 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.3 & 0.0 & 0.0 & 0.3 & 0.3 & 0.0 & 0.1 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.4 & 0.0 & 0.0 & 0.3 & 0.3 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 1.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.6 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.4 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.6 & 0.0 & 0.4 & 0.0 & 0.0 \end{bmatrix}$$

Час обробки одного інформаційного повідомлення для кожного з вузлів становить:

- 10 умовних одиниць відповідає 100 Мб/с (комутатори);
- 1 умовна одиниця відповідає 1 000 Мб/с (маршрутизатори).

Вектор часу обслуговування (t_i) :

$$t_i = [10, 1, 1, 10, 1, 1, 10, 10, 10, 10]$$

5.1.3 Розрахунок параметрів системи

Спираючись на правила за методом Гауса була розрахована (e) -матриця, яка визначає передаточні коефіцієнти ймовірностей за нормованим показником. Для

подальших розрахунків прийнято, що в кожному інформаційному вузлі СМО-моделі мережі КС знаходиться по одному конвеєру для потокової обробки даних.

Розрахунок (e) -вектора за методом Гауса:

$$e = [0.193, 0.295, 0.044, 0.104, 0.256, 0.091, 0.009, 0.003, 0.003, 0.001]$$

5.2 Аналіз параметрів комп'ютерної системи контролю якості друку

5.2.1 Робота системи в нормальному режимі

Початкові параметри:

- кількість даних, що циркулюють у системі: 5 пакетів;
- час обробки даних у всіх вузлах: 6 часових одиниць (1 одиниця = 1 мс);
- кількість конвеєрів для потокової обробки даних для кожного вузлу: 1.

Результати моделювання:

- інтенсивність вхідного потоку даних:

$$\lambda_i = [0.019, 0.295, 0.044, 0.010, 0.256, 0.091, 0.001, 0.0003, 0.0003, 0.0001];$$

- середня кількість даних, які чекають обробки:

$$L_i = [0.193, 0.295, 0.044, 0.104, 0.256, 0.091, 0.009, 0.003, 0.003, 0.001];$$

- середній час, необхідний для обробки даних:

$$t_{\text{avg}} = [12.39, 1.42, 1.05, 11.16, 1.34, 1.10, 10.09, 10.03, 10.03, 10.01].$$

Проблемні вузли:

- вузол «0» має високу ймовірність черги (до 4 пакетів) через обмежену пропускну здатність;
- вузол «3» також демонструє потенційні проблеми з чергами (до 2 пакетів).

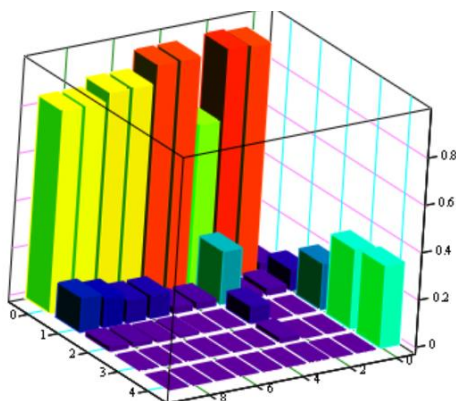


Рисунок 5.2 - Стан кількості черг для вузлів при довжині у 5 пакетів в мережі

5.2.2 Оптимізація системи

Для вирішення проблем з вузлами «0» та «3» було запропоновано заміну обладнання на більш продуктивне (1 000 Мб/с), після модернізації:

- вузол «0» перестав бути «вузьким місцем»;
- вузол «3» показав покращення, але виникли нові навантаження на вузли «6» та «7».

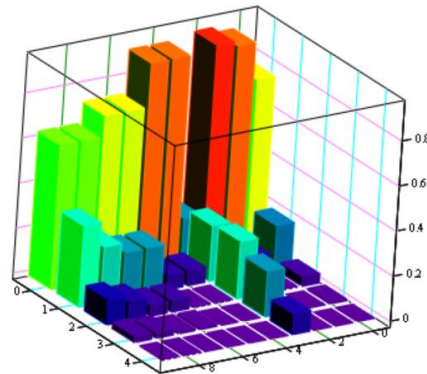


Рисунок 5.3 - Стан кількості черг для вузлів при довжині у 5 пакетів в мережі, поліпшено обладнання для вузлу «0»

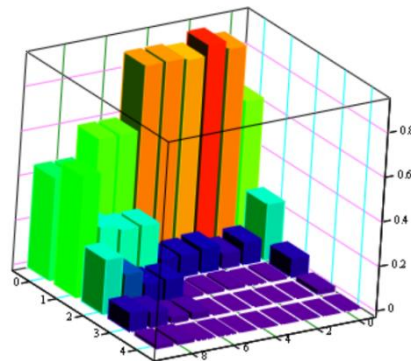


Рисунок 5.4 - Стан кількості черг для вузлів при довжині у 5 пакетів в мережі, поліпшено обладнання для вузлів «0» та «3»

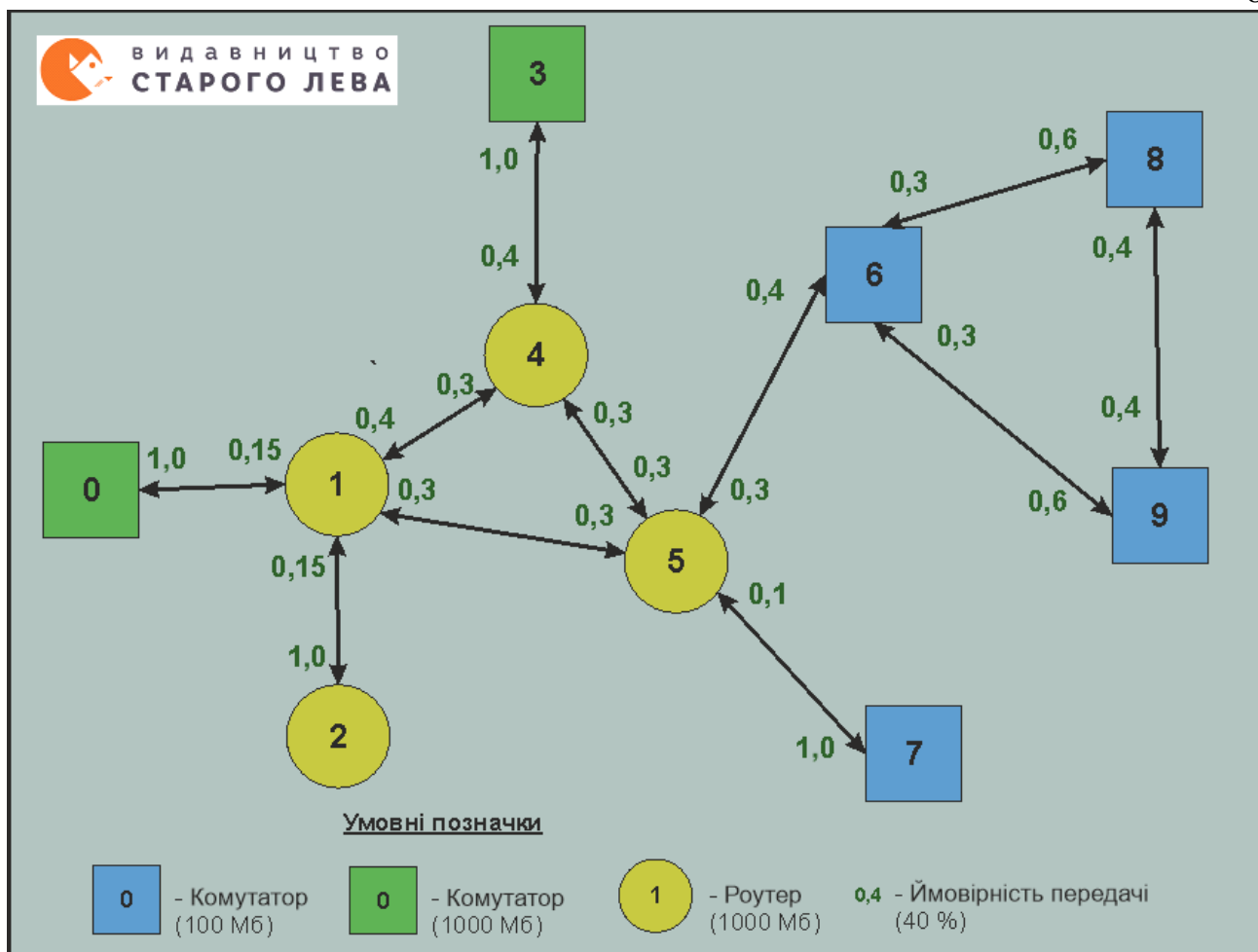


Рисунок 5.5 - Структура СМО поліпшеної моделі мережі КС

5.2.3 Робота системи під впливом зовнішніх факторів

При моделюванні роботи системи з подвоєним навантаженням (10 пакетів) та впливом зовнішніх факторів (наприклад, збільшення обсягу друку або помилок у друкарському обладнанні):

- вузли «8» та «9» продемонстрували збільшення ймовірності черг;
- послідовна заміна обладнання у вузлах «8», «9», «6», «7» на 1 000 Мб/с покращила ситуацію, але викликала перевантаження у вузлі «0», який вже був максимально модернізований, рішення:
 - використання сучасного спеціалізованого мережевого обладнання з підтримкою буферизації та конвеєрної обробки даних;
 - результати моделювання показали, що така модернізація дозволяє системі зберігати проектну пропускну здатність навіть при збільшенні навантаження на 200%.

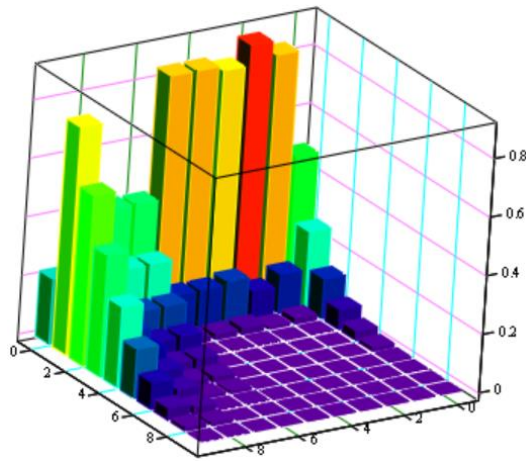


Рисунок 5.6 - Стан кількості черг для вузлів при довжині у 10 пакетів в мережі, поліпшено вузли «0» та «3»

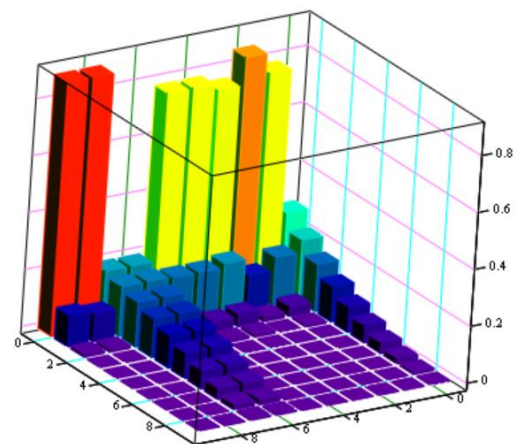
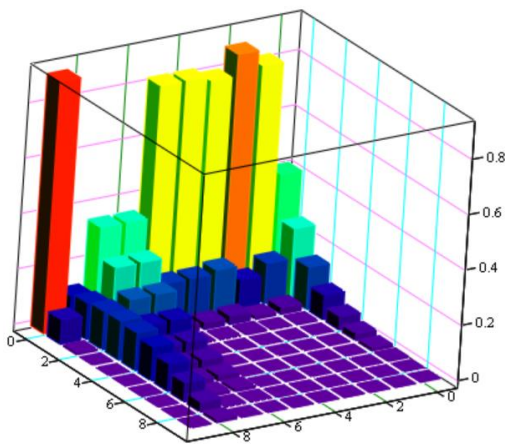


Рисунок 5.7 - Стан кількості черг для вузлів при довжині у 10 пакетів в мережі, поліпшено вузли «0», «3», «8», «9»

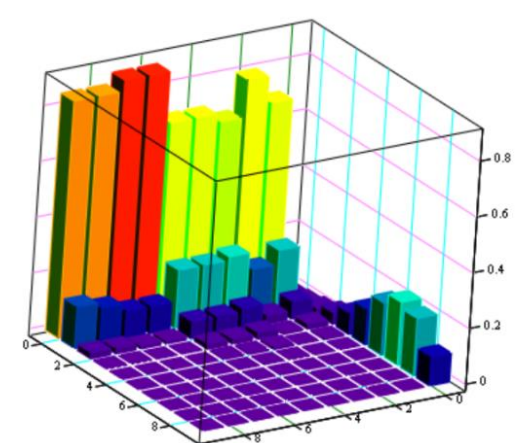
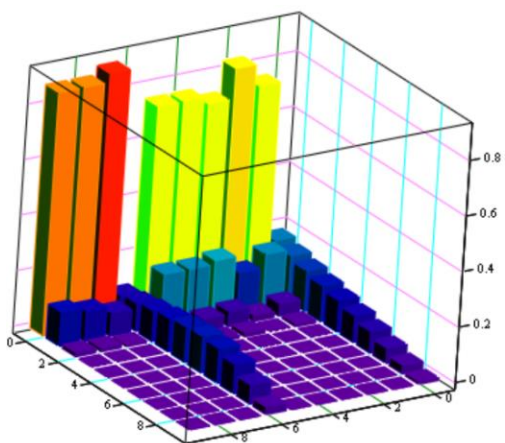


Рисунок 5.8 - Стан кількості черг для вузлів при довжині у 10 пакетів в мережі, поліпшено вузли «0», «3», «7», «7», «8», «9»

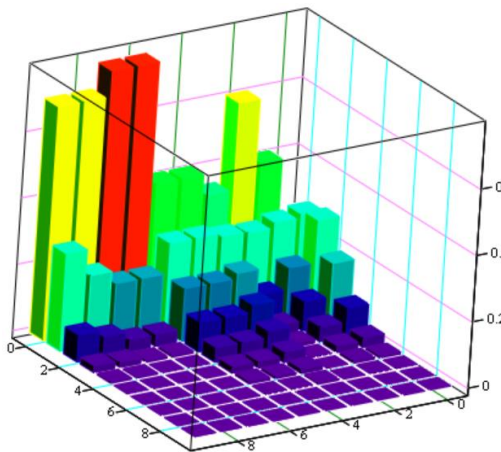


Рисунок 5.9 - Стан кількості черг для вузлів при довжині у 10 пакетів в мережі, поліпшено вузли «0», «3», «7», «7», «8», «9»

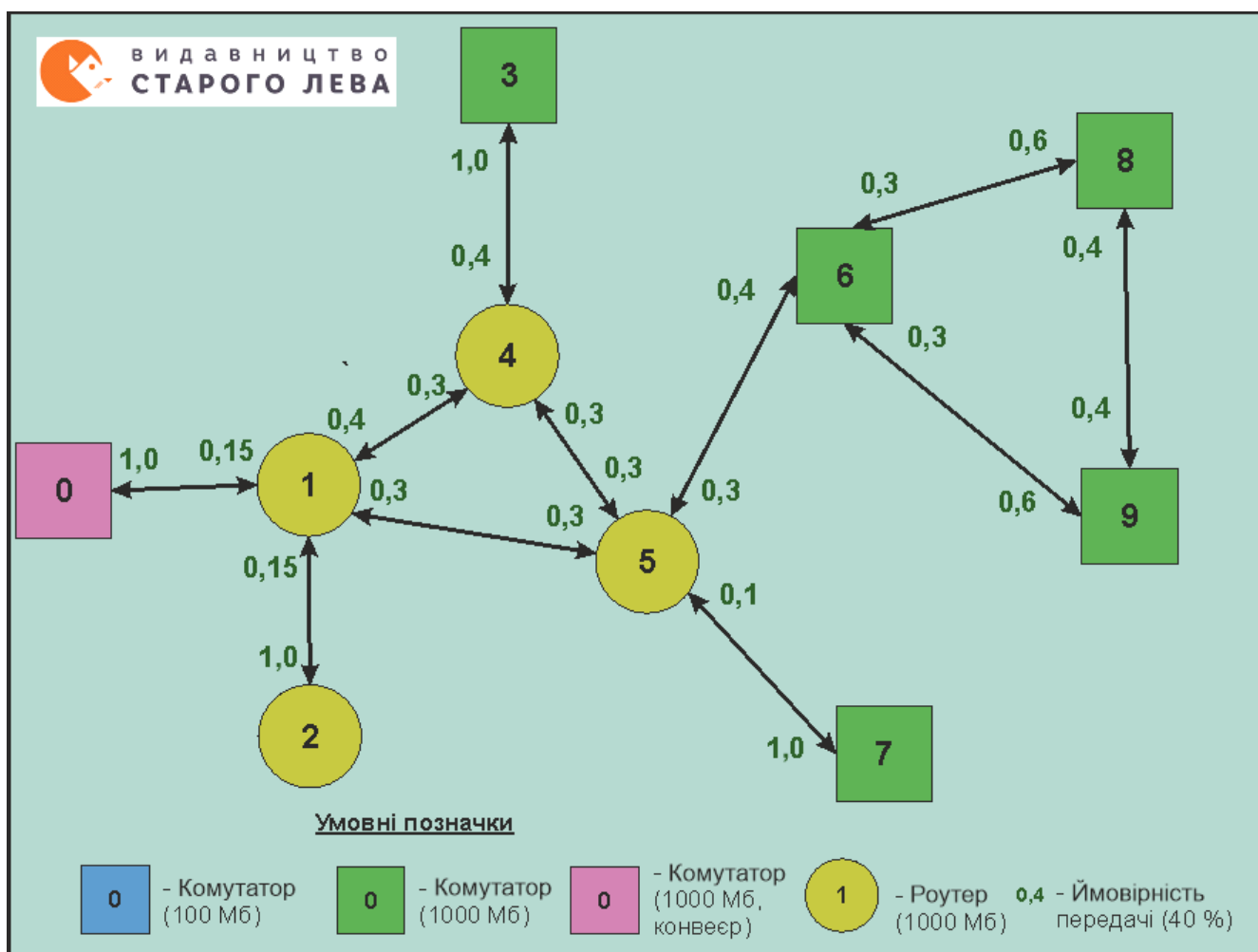


Рисунок 5.10 - Структура СМО поліпшеної моделі мережі КС 10 пакетів, поліпшено вузли «0», «3», «7», «7», «8», «9»

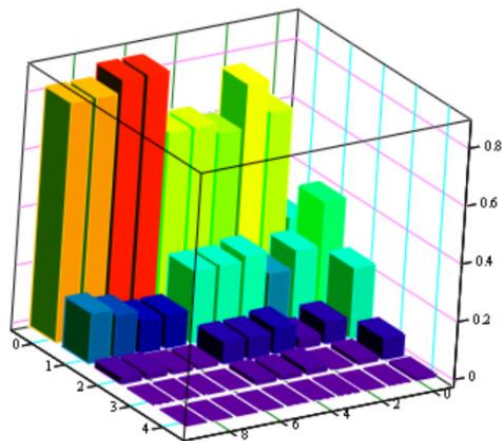


Рисунок 5.11 - Стан кількості черг для вузлів при довжині у 5 пакетів в мережі – для запропонованої структура для мережі КС

5.3 Висновки за розділом

1. Ефективність моделі: розроблена СМО-модель мережі КС дозволяє оперативна визначити показники середніх значень для показника інтенсивності вхідного потоку, часу обробки даних у вузлах та їх середню кількість даних. Це дає змогу оцінити безрозмірні характеристики системи та виявити потенційні «вузькі місця».

2. Проблемні вузли: найбільша ймовірність черг стабільно виникає у вузлах «0», «3», «5», «6», «7», «8», «9», при збільшенні навантаження вдвічі (наприклад, через збільшення обсягу друку) вузол «0» демонструє критичну ймовірність черги до 3...4 пакетів.

3. Рекомендації з підвищення стійкості мережі КС системи: заміна комутаторів у вузлах «0», «3», «5», «6», «7», «8», «9» на потужніші моделі з підтримкою конвеєрної обробки даних, використання сучасного обладнання з буферизацією для забезпечення швидкої обробки інформації навіть у складних умовах.

4. Стратегічна важливість: модернізація системи контролю якості друку дозволяє підвищити стійкість до зовнішніх факторів та забезпечити безперебійну роботу друкарні «Поліграфсервіс», оптимізація системи сприяє зменшенню операційних витрат, підвищенню якості друку та ефективній інтеграції з видавництвом «Старого Лева».

Таким чином розроблена модель та проведені дослідження дозволяють ефективно оптимізувати комп'ютерну систему контролю якості друку для друкарні «Поліграфсервіс», забезпечуючи її надійність, продуктивність та стійкість до зовнішніх впливів. Модернізація ключових вузлів системи є стратегічно важливим кроком для підприємства, яке прагне відповідати вимогам сучасних технологій та стандартам якості друку.

ВИСНОВКИ

Впровадження комп'ютерної системи контролю якості друку у видавництві «Старого Лева» стане важливим кроком на шляху до підвищення ефективності та конкурентоспроможності. Система не лише знизить відсоток браку та оптимізує витрати, але й покращить терміни виконання замовлень, що позитивно вплине на репутацію компанії.

Отримана розробка та її досвід може бути корисним для інших українських видавництв, демонструючи, як інтеграція сучасних технологій з організаційною структурою підприємства може значно покращити виробничі процеси навіть за обмежених ресурсів.

Теорія СМО є потужним інструментом для моделювання та оптимізації комп'ютерних систем контролю якості друку.

Основні параметри СМО дозволяють оцінити ефективність системи та визначити шляхи її покращення.

Моделювання системи контролю якості друку за допомогою СМО дозволяє оптимізувати кількість обслуговуючих пристроїв та алгоритми обробки даних.

Для практичного застосування комп'ютерної системи контролю якості для друкарні «Поліграфсервіс» модель СМО має підтвердити, що система є стійкою і визначити що треба для зробити для зниження часу очікування (збільшити кількість серверів або оптимізувати алгоритми обробки).

При моделюванні комп'ютерної системи контролю якості слід також оцінити перспективи розвитку, які можуть бути пов'язані з використанням хмарних технологій, штучного інтелекту та Big Data, що зможе реально підвищити ефективність системи контролю якості друку [33].

У третьому розділі було проведено комплексний аналіз та синтез інженерно-технічних рішень для створення комп'ютерної системи контролю якості друку на базі друкарні «Поліграфсервіс» (м. Дніпро). Розроблена система є інноваційним рішенням, спрямованим на підвищення точності, швидкості та надійності виробничих процесів у поліграфічній галузі.

Основні результати з синтезу системи:

1. Було запропоновано системний підхід до інтеграції інформаційно-вимірвальних систем (ІВС) з автоматизованими системами управління виробництвом (АСУВ). Використання сучасних стандартів (ISO 12647, FOGRA) та відкритих протоколів (OPC UA, MQTT) дозволило забезпечити сумісність, точність та автоматизацію контролю параметрів друку. Це сприяє не лише підвищенню якості кінцевої продукції, а й зменшенню виробничих втрат та оптимізації ресурсів.

2. Було проаналізовано організаційну та просторову структуру друкарні «Поліграфсервіс», що дозволить оптимізувати розміщення комп'ютерного обладнання та робочих місць. Використання дворівневої архітектури мережі (ядро та рівень розподілу) забезпечить ефективне управління виробничими процесами та зменшення часу реакції на зміни в технологічних параметрах.

3. Було обґрунтовано структуру та ключові параметри системи контролю якості друку. Використання модульної архітектури програмного забезпечення та сучасних алгоритмів обробки даних дозволило забезпечити автоматичний моніторинг, аналіз та коригування параметрів у реальному часі. Це підвищує стабільність виробничого процесу та зменшує ймовірність виникнення браку.

Було представлено детальну специфікацію апаратного забезпечення, яке відповідає вимогам високої продуктивності, надійності та масштабованості. Використання сучасних маршрутизаторів (Cisco 2811), комутаторів (Cisco Catalyst 2948-24TT) та робочих станцій (ASUS Vivo AiO V222UA) забезпечує стабільну роботу системи навіть за умов високого навантаження. Крім того, використання екранованих кабелів категорії 5e та сучасних мережевих розеток гарантує надійність та захищеність передачі даних.

Розроблена система контролю якості друку матиме значний практичний потенціал для друкарні «Поліграфсервіс»:

- підвищення якості продукції завдяки точному контролю параметрів друку;
- зменшення виробничих втрат через автоматичне виявлення та коригування відхилень;
- оптимізація виробничих процесів завдяки інтеграції з АСУВ та використанню сучасних алгоритмів обробки даних;

- масштабованість системи, що дозволяє легко адаптувати її до змін у виробничих процесах або збільшення обсягів виробництва;

У майбутньому планується розширення функціональності системи шляхом впровадження елементів штучного інтелекту для прогнозування відмов обладнання та хмарних технологій для централізованого управління виробництвом. Це дозволить друкарні «Поліграфсервіс» зайняти лідерські позиції на ринку поліграфічних послуг та забезпечити конкурентні переваги завдяки високій якості та ефективності виробничих процесів.

Розроблено структуру та завдання для створення моделі комп'ютерної системи контролю параметрів виробничого процесу видавничого комплексу за допомогою теорії систем масового обслуговування (СМО). Програма моделює потік пакетів у вузлах комп'ютерної мережі (маршрутизатори, комутатори, контролери), проводить аналіз продуктивності системи з використанням стандартних моделей СМО.

Розроблена модель комп'ютерної мережі може бути використана для оптимізації виробничих процесів, підвищення якості друку та зменшення виробничих втрат. Впровадження такої системи дозволить видавничому комплексу «Поліграфсервіс» підвищити ефективність контролю параметрів друку та забезпечити конкурентоспроможність на ринку поліграфічних послуг, таким чином можна зробити наступні висновки:

1. Ефективність моделі: розроблена СМО-модель мережі КС дозволяє оперативна визначити показники середніх значень для показника інтенсивності вхідного потоку, часу обробки даних у вузлах та їх середню кількість даних. Це дає змогу оцінити безрозмірні характеристики системи та виявити потенційні «вузькі місця».

2. Проблемні вузли: найбільша ймовірність черг стабільно виникає у вузлах «0», «3», «5», «6», «7», «8», «9», при збільшенні навантаження вдвічі (наприклад, через збільшення обсягу друку) вузол «0» демонструє критичну ймовірність черги до 3...4 пакетів.

3. Рекомендації з підвищення стійкості мережі КС системи: заміна комутаторів у вузлах «0», «3», «5», «6», «7», «8», «9» на потужніші моделі з

підтримкою конвеєрної обробки даних, використання сучасного обладнання з буферизацією для забезпечення швидкої обробки інформації навіть у складних умовах.

4. Стратегічна важливість: модернізація системи контролю якості друку дозволяє підвищити стійкість до зовнішніх факторів та забезпечити безперебійну роботу друкарні «Поліграфсервіс», оптимізація системи сприяє зменшенню операційних витрат, підвищенню якості друку та ефективній інтеграції з видавництвом «Старого Лева».

Таким чином розроблена модель та проведені дослідження дозволяють ефективно оптимізувати комп'ютерну систему контролю якості друку для друкарні «Поліграфсервіс», забезпечуючи її надійність, продуктивність та стійкість до зовнішніх впливів. Модернізація ключових вузлів системи є стратегічно важливим кроком для підприємства, яке прагне відповідати вимогам сучасних технологій та стандартам якості друку.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ISO 12647-2:2013. Graphic technology - Process control for the production of half-tone colour separations, proof and production prints. URL: iso.org
2. PwC (2022). Digital Transformation in Publishing.
3. Видавництво Старого Лева (2023). Звіт про впровадження систем контролю якості. URL: starylev.com.ua
4. Heidelberg Druckmaschinen (2023). Case Study: Automation in Printing. URL: heidelberg.com
5. McKinsey (2022). The Economic Impact of ERP Systems in Manufacturing. Deloitte (2023). Human Impact of Digital Transformation URL: PwC, Deloitte, McKinsey: Офіційні звіти на сайтах компаній.
6. IBM (2021). Blockchain for Intellectual Property Protection.
7. Wohlers Report (2023). 3D Printing in Publishing.
9. Google Cloud (2023). Cloud Solutions for Remote Work in Crisis Conditions.
- 10 Друкарня Львівського ставропігійного братства. URL: <https://chytomo.com/drukarnia-lvivskoho-stavropihijnoho-bratstva/>
11. Огірко О. І. Редагометрія та комп'ютеризація видавничого процесу. - Київ, 2018.
12. Афонін О.В., Сенченко М.І. Українська книга в контексті світового книговидання. -К.; Кн. Палата України, 2009 - 277 с.
13. Величко О.М. Видавничо-поліграфічна справа: Практикум з проектування і розрахунку технологічних і виробничих процесів: навч. посіб. /О.М. Величко. Навч. посіб.- К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет». 2009. - 520 с. 4. В. П. Ткаченко, І. Б. Чеботарьова. Інновації у поліграфії та видавничій справі. - Харків, 2020.
14. Поліграфія - Вікіпедія. - Електронний ресурс uk.wikipedia.org.
15. Інформаційні системи та технології в поліграфії. URL: mw.nure.ua.
16. Чим корисна поліграфія для бізнесу? URL: <https://evopack.com.ua/chym-korysna-poligrafiya-dlya-biznesu/>

17. Поліграфія в діджитал-епоху: нові технології та можливості. URL: <https://impress.biz.ua/news/poligrafiya-v-didzhital-epohu-novi-tehnologiyi-ta-mozhlyvosti/>

18. Роль друкованої продукції в епоху цифрових технологій. URL: <https://articles.basov.com.ua/%D1%80%D0%BE%D0%BB%D1%8C-%D0%B4%D1%80%D1%83%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D1%97-%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%97-%D0%B2-%D0%B5%D0%BF%D0%BE%D1%85%D1%83-%D1%86%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%85-%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D0%B9.html>

19 Держстат України. (2023). Стан та перспективи розвитку видавничої галузі в Україні. Київ: Держстат України.

20. Коваленко О. Інновації в українській поліграфії: виклики та можливості. Київ: Видавництво "Поліграфкнига", 2022

21. Мельник І. Хмарні технології в управлінні видавничими процесами. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2023.

22. Smith J. Artificial Intelligence in Modern Publishing. New York: Publishing Tech Press, 2021.

23. Johnson L. ERP Systems in the Publishing Industry. London: Global Publishing Solutions, 2022.

24. Heidelberg. Innovations in Printing Technology. Heidelberg: Official Website, 2023.

25. Green Publishing Initiative. (). Sustainable Practices in the Publishing Industry. Brussels: GPI, 2023.

26. Як виглядає новий офіс «Видавництва Старого Лева» у Львові. URL: <https://bzh.life/ua/gorod/kak-vygliadit-novyyu-ofis-vydavnytstva-starogo-leva-vo-lvove/>

27. Офіційний сайт Видавництва Старого Лева. (2024). Інновації та розвиток. URL: <https://starylev.com.ua>

28. ISO 12647. (2019). Графічні технології - Процеси управління кольором для виробництва відбитків. Женева: Міжнародна організація зі стандартизації.
29. Видавництво Старого Лева - Вікіпедія. (2025). URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Видавництво_Старого_Лева
30. UA-Region. (2023). THE OLD LION PUBLISHING HOUSE Lviv. URL: <https://www.ua-region.com.ua/en/33981905>
31. Гнеденко Б.В., та Коваленко І.Н. *Введення в теорію масового обслуговування*. Київ: Наука, 1997
32. Клейнрок Л. *Теорія масового обслуговування*. Київ: Машибудування, (1999)
33. Russell, S., & Norvig, P. *Artificial Intelligence: A Modern Approach* (4th ed.). Pearson, 2021
34. Танаєв В.С., Гордон, В.С., та Шафранський, Я.М. *Теорія розкладів. Одностадійні системи*. Київ: Наука, 1994.
35. ISO 12647:2013. *Graphic technology - Process control for the production of half-tone colour separations, proof and production prints*. International Organization for Standardization.
36. ISO 12647: Графічні технології. Управління процесами для виробництва відбитків/ URL: <https://www.iso.org/standard/73546.html> (дата звернення: 16.12.2025).
37. FOGRA: Стандарти кольоропередачі в поліграфії/ URL: <https://www.fogra.org/en/> (дата звернення: 16.12.2025).
38. Industry 4.0: Інтеграція цифрових технологій у виробництво URL: <https://www.industry40.com/> (дата звернення: 16.12.2025).
39. OPC UA: Відкритий протокол для промислової автоматизації/ URL: <https://opcfoundation.org/> (дата звернення: 16.12.2025).
40. MQTT: Протокол для обміну даними в IoT-системах/ URL: <https://mqtt.org/> (дата звернення: 16.12.2025).
41. Моделювання комп'ютерних мереж: теорія та практика / URL: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/enterprise-networks/network-modeling-simulation.html> (дата звернення: 16.12.2025).

42. Теорія масового обслуговування в комп'ютерних мережах / URL: <https://www.mathworks.com/help/simulink/ug/queueing-theory.html> (дата звернення: 16.12.2025).

43. Алгоритми моделювання мережевого трафіку / URL: https://www.researchgate.net/publication/332345678_Network_Traffic_Modeling (дата звернення: 16.12.2025).

44. Використання Mathcad для моделювання мереж / URL: <https://www.ptc.com/en/support/article/CS293257> (дата звернення: 16.12.2025).

45 Оптимізація виробничих процесів у поліграфії / URL: <https://www.printindustry.com/optimization> (дата звернення: 16.12.2025).

ДОДАТОК А

Текст програми

Програмно-технічна реалізація комп'ютерної системи контролю параметрів виробничого процесу видавничого комплексу для друкарні «Поліграфсервіс» (м. Дніпро)

Міністерство освіти і науки України
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ
ВИРОБНИЧОГО ПРОЦЕСУ ВИДАВНИЧОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ
ДРУКАРНІ «ПОЛІГРАФСЕРВІС» (М. ДНІПРО)

Текст програми

Листів 15

АНОТАЦІЯ

Цей документ містить програмне забезпечення (ПЗ), призначене для реалізації математичної моделі комп'ютерної мережі, яка використовується для контролю параметрів виробничого процесу в рамках видавничого комплексу. Розробка орієнтована на потреби друкарні «Поліграфсервіс» (м. Дніпро) та спрямована на підвищення ефективності управління виробництвом, забезпечення якості друку та оптимізацію логістичних процесів.

Основні характеристики програмного забезпечення:

1. Середовище розробки:

- програмний код реалізовано в середовищі Mathcad 15, що забезпечує зручність роботи з математичними моделями та інженерними розрахунками;
- ПЗ функціонує під управлінням операційної системи Windows 10+, що гарантує сумісність з більшістю промислових комп'ютерних систем.

2. Методологія розрахунків:

- програма використовує рекурентний метод Бузена, який є стандартом для аналізу замкнутих СМО;
- цей метод дозволяє точно моделювати поведінку комп'ютерних мереж, визначаючи ключові параметри, такі як інтенсивність потоку даних, час обробки пакетів та ймовірність виникнення черг.

3. Функціональні можливості:

- моделювання мережевої архітектури: програма дозволяє створювати та аналізувати моделі комп'ютерних мереж, враховуючи їх структуру, пропускну здатність та особливості трафіку.
- розрахунок параметрів мережі: за допомогою методу Бузена здійснюється розрахунок основних характеристик мережі, таких як інтенсивність вхідного потоку даних, середня кількість пакетів у черзі та середній час обробки.
- оптимізація та аналіз: ПЗ надає можливість виявляти «вузькі місця» в мережі та розробляти рекомендації щодо їх усунення, що особливо важливо для підвищення продуктивності та надійності системи.

4. Практичне застосування:

- програмне забезпечення призначене для автоматизації та оптимізації виробничих процесів у друкарні «Поліграфсервіс», забезпечуючи точний контроль параметрів друку та ефективне управління ресурсами;

- ПЗ може бути використано для інтеграції з організаційною структурою видавництва «Старого Лева», сприяючи синхронізації виробничих, логістичних та контрольних процесів.

Переваги використання:

- точність та надійність: використання методу Бузена забезпечує високу точність розрахунків, що дозволяє отримувати достовірні дані про продуктивність мережі;

- гнучкість та адаптивність: програма легко адаптується до змін у структурі мережі або умов її експлуатації, що робить її універсальним інструментом для різних виробничих завдань;

- економія часу та ресурсів: автоматизація розрахунків дозволяє значно скоротити час на аналіз мережі та оптимізацію її параметрів, знижуючи операційні витрати.

Дане програмне забезпечення є потужним інструментом для аналізу та оптимізації комп'ютерних мереж у виробничих умовах. Воно дозволяє не лише підвищити ефективність управління виробництвом, але й забезпечити стійкість та надійність роботи мережі, що є критично важливим для сучасних підприємств, таких як друкарня «Поліграфсервіс».

ЗМІСТ

	стор.
1. Перелік використаних змінних	6
2. Текст програми	8
2. Результати розрахунку	10

Перелік використаних змінних

N_n (Number of Nodes)

Опис: Кількість вузлів у комп'ютерній мережі.

Призначення: Визначає розмірність матриць та векторів, які використовуються для моделювання мережі.

τ (Processing Time)

Опис: Час обробки одного пакету даних у вузлі мережі.

Призначення: Використовується для визначення продуктивності кожного вузла та розрахунку середнього часу обслуговування пакетів.

Pr (Transition Probability Matrix)

Опис: Матриця перехідних ймовірностей.

Призначення: Визначає ймовірності передачі пакетів даних між вузлами мережі. Кожен елемент матриці $Pr[i][j]$ вказує на ймовірність того, що пакет з вузла i буде передаватися до вузла j .

e (Transition Coefficients Matrix)

Опис: Матриця перехідних коефіцієнтів.

Призначення: Визначає стаціонарні ймовірності перебування пакетів у кожному вузлі мережі. Розраховується за допомогою методу Гауса на основі матриці Pr .

m (Number of Servers)

Опис: Кількість конвеєрів (серверів) у кожному вузлі мережі.

Призначення: Визначає, скільки паралельних процесів обробки пакетів може виконувати кожен вузол. У простій моделі може бути прийнято $m = 1$ для всіх вузлів.

N (Number of Packets)

Опис: Кількість пакетів, що циркулюють у мережі.

Призначення: Визначає загальне навантаження на мережу та використовується для розрахунку ймовірностей виникнення черг у вузлах.

B (Queue Probability Matrix)

Опис: Матриця ймовірностей черги у вузлах.

Призначення: Визначає ймовірність того, що у вузлі виникне черга пакетів, які чекають на обробку. Розраховується на основі інтенсивності вхідного потоку та продуктивності вузлів.

λ (Arrival Rate)

Опис: Середня інтенсивність запитів (пакетів) на вході у вузол.

Призначення: Визначає, скільки пакетів даних надходить до кожного вузла за одиницю часу. Розраховується за формулою Бузена.

L (Average Queue Length)

Опис: Середня кількість пакетів, що знаходяться у черзі у вузлі.

Призначення: Використовується для оцінки завантаженості вузлів та виявлення потенційних "вузьких місць" у мережі.

t (Average Time in Node)

Опис: Середній час перебування пакету у вузлі.

Призначення: Визначає, скільки часу в середньому пакет проводить у вузлі, включаючи час обробки та очікування у черзі.

2 Текст програми

Maximum number of nodes in the network 10 (Nn = 9)

Nn := 9

i := 0..Nn j := 0..Nn

Packet processing time at the node ti (edit here)

$\tau_i :=$

10
1
1
10
1
1
10
10
10
10

$\tau =$

	0
0	10
1	1
2	1
3	10
4	1
5	1
6	10
7	10
8	10
9	10

10 - Switch or Router 100 Mb
1 - Switch or Router 1000 Mb

Calculation of the intensity of request processing in network nodes

$$\mu_i := \frac{1}{\tau_i}$$

Transfer matrix

$\mu =$

	0
0	0.1
1	1
2	1
3	0.1
4	1
5	1
6	0.1
7	0.1
8	0.1
9	0.1

Route (edit here)

matrix 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

Pr :=

0	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.15	0	0.15	0	0.4	0.3	0	0	0	0
0	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1.0	0	0	0	0	0
0	0.3	0	0.4	0	0.3	0	0	0	0
0	0.3	0	0	0.3	0	0.3	0.1	0	0
0	0	0	0	0	0.4	0	0	0.3	0.3
0	0	0	0	0	0	1.0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0.6	0	0.4
0	0	0	0	0	0	0	0.6	0	0.4

$$\text{SumPr}_i := \sum_{j=0}^{Nn} \text{Pr}_{i,j}$$

SumPr =

	0
0	1
1	1
2	1
3	1
4	1
5	1
6	1
7	1
8	1
9	1

Determination of transmission coefficients

$$P := Pr^T$$

$$P =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	0.15	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	1	0	0.3	0.3	0	0	0	0
2	0	0.15	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0.4	0	0	0	0	0
4	0	0.4	0	1	0	0.3	0	0	0	0
5	0	0.3	0	0	0.3	0	0.4	1	0	0
6	0	0	0	0	0	0.3	0	0	0.6	0.6
7	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0.3	0	0	0.4
9	0	0	0	0	0	0	0.3	0	0.4	0

$$D :=$$

1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

$$P1 := P - D$$

$$P1 =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-1	0.15	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	-1	1	0	0.3	0.3	0	0	0	0
2	0	0.15	-1	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	-1	0.4	0	0	0	0	0
4	0	0.4	0	1	-1	0.3	0	0	0	0
5	0	0.3	0	0	0.3	-1	0.4	1	0	0
6	0	0	0	0	0	0.3	-1	0	0.6	0.6
7	0	0	0	0	0	0.1	0	-1	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0.3	0	-1	0.4
9	0	0	0	0	0	0	0.3	0	0.4	-1

$$j := 1..Nn \quad i := 0..Nn$$

$$P2_{(j-1),i} := P1_{0,i} + P1_{j,i}$$

$$P2 =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	-0.85	1	0	0.3	0.3	0	0	0	0
1	-1	0.3	-1	0	0	0	0	0	0	0
2	-1	0.15	0	-1	0.4	0	0	0	0	0
3	-1	0.55	0	1	-1	0.3	0	0	0	0
4	-1	0.45	0	0	0.3	-1	0.4	1	0	0
5	-1	0.15	0	0	0	0.3	-1	0	0.6	0.6
6	-1	0.15	0	0	0	0.1	0	-1	0	0
7	-1	0.15	0	0	0	0	0.3	0	-1	0.4
8	-1	0.15	0	0	0	0	0.3	0	0.4	-1

$$j := 0..Nn - 1 \quad i := 0..Nn - 1 \quad PP2_{j,i} := P2_{j,i+1}$$

$$PP2 = \begin{pmatrix} -0.85 & 1 & 0 & 0.3 & 0.3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.3 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.15 & 0 & -1 & 0.4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.55 & 0 & 1 & -1 & 0.3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.45 & 0 & 0 & 0.3 & -1 & 0.4 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0.15 & 0 & 0 & 0 & 0.3 & -1 & 0 & 0.6 & 0.6 & 0 \\ 0.15 & 0 & 0 & 0 & 0.1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0.15 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.3 & 0 & -1 & 0.4 & 0 \\ 0.15 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.3 & 0 & 0.4 & -1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$Q_{j,0} := P2_{j,0}$$

$$Q = \begin{pmatrix} 0 \\ -1 \\ -1 \\ -1 \\ -1 \\ -1 \\ -1 \\ -1 \\ -1 \\ -1 \end{pmatrix}$$

$$E := \text{Isolve}(PP2, Q)$$

$$E = \begin{pmatrix} -6.667 \\ -1 \\ -3.259 \\ -8.148 \\ -7.407 \\ -5.556 \\ -0.741 \\ -2.778 \\ -2.778 \end{pmatrix}$$

Matrix of transfer coefficients $Nn \times 1$ (manual input, First=1)

$$e := \begin{pmatrix} 1 \\ 0.3 \\ 0.2 \\ 0.333 \\ 0.3 \\ 0.3 \\ 0.111 \\ 0.111 \\ 0.15 \\ 0.15 \end{pmatrix}$$

The number of packets circulating in the network N (edit here)

$$N := 5$$

$$i := 0..Nn \quad j := 0..N-1$$

The number of pipelines in each node

$$m :=$$

1
1
1
1
1
1
1
1
1
1
1

$$m =$$

	0
0	1
1	1
2	1
3	1
4	1
5	1
6	1
7	1
8	1
9	1

Calculation of function A

$$A_{i,j} := \begin{cases} j! & \text{if } m_1 \geq N - 1 \\ 1 & \text{if } m_1 = 1 \\ j! & \text{if } 1 < m_1 < N - 1 \wedge j \leq m_1 \\ m_1! \cdot (m_1)^{j-m_1} & \text{if } 1 < m_1 < N - 1 \wedge j > m_1 \end{cases}$$

A =

	0	1	2	3	4
0	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1

$$X_i := \frac{e_i}{\mu_i}$$

X =

	0
0	10
1	0.3
2	0.2
3	3.33
4	0.3
5	0.3
6	1.11
7	1.11
8	1.5
9	1.5

Calculation of the matrix of constants T

$$T_{i,j} := \frac{(X_i)^j}{A_{i,j}} \quad T_{i,0} := 1$$

$$T =$$

	0	1	2	3	4
0	1	10	100	$1 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^4$
1	1	0.3	0.09	0.027	$8.1 \cdot 10^{-3}$
2	1	0.2	0.04	$8 \cdot 10^{-3}$	$1.6 \cdot 10^{-3}$
3	1	3.33	11.089	36.926	122.964
4	1	0.3	0.09	0.027	$8.1 \cdot 10^{-3}$
5	1	0.3	0.09	0.027	$8.1 \cdot 10^{-3}$
6	1	1.11	1.232	1.368	1.518
7	1	1.11	1.232	1.368	1.518
8	1	1.5	2.25	3.375	5.062
9	1	1.5	2.25	3.375	5.062

Calculate the constants for the second and subsequent nodes

$$i := 1..Nn \quad k := 0..N-1$$

$$G_{0,j} := T_{0,j}$$

$$G_{i,k} := \sum_{j=0}^k (T_{i,j} \cdot G_{i-1,k-j})$$

$$G =$$

	0	1	2	3	4
0	1	10	100	$1 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^4$
1	1	10.3	103.09	$1.031 \cdot 10^3$	$1.031 \cdot 10^4$
2	1	10.5	105.19	$1.052 \cdot 10^3$	$1.052 \cdot 10^4$
3	1	13.83	151.244	$1.556 \cdot 10^3$	$1.57 \cdot 10^4$
4	1	14.13	155.483	$1.602 \cdot 10^3$	$1.618 \cdot 10^4$
5	1	14.43	159.812	$1.65 \cdot 10^3$	$1.668 \cdot 10^4$
6	1	15.54	177.061	$1.847 \cdot 10^3$	$1.873 \cdot 10^4$
7	1	16.65	195.543	$2.064 \cdot 10^3$	$2.102 \cdot 10^4$
8	1	18.15	222.768	$2.398 \cdot 10^3$	$2.461 \cdot 10^4$
9	1	19.65	252.243	$2.776 \cdot 10^3$	$2.878 \cdot 10^4$

Calculation of probabilities of receipt in the last node of applications - j

$$B_{Nn,j} := \frac{T_{Nn,j}}{G_{Nn,N-1}} \cdot G_{Nn,N-1-j}$$

$$B_{Nn,0} := 1 - B_{Nn,1}$$

	0	1	2	3	4
0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
B = 4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0
9	0.855	0.145	0.02	$2.305 \cdot 10^{-3}$	$1.759 \cdot 10^{-4}$

Calculation of auxiliary coefficients

$$G_n = \begin{pmatrix} 1 & 9.65 & 55.743 & 253.874 & 1.015 \times 10^3 \\ 1 & 19.35 & 246.348 & 2.701 \times 10^3 & 2.794 \times 10^4 \\ 1 & 19.45 & 248.313 & 2.726 \times 10^3 & 2.822 \times 10^4 \\ 1 & 16.32 & 186.808 & 1.936 \times 10^3 & 1.953 \times 10^4 \\ 1 & 19.35 & 246.348 & 2.701 \times 10^3 & 2.794 \times 10^4 \\ 1 & 19.35 & 246.348 & 2.701 \times 10^3 & 2.794 \times 10^4 \\ 1 & 18.54 & 230.431 & 2.496 \times 10^3 & 2.57 \times 10^4 \\ 1 & 18.54 & 230.431 & 2.496 \times 10^3 & 2.57 \times 10^4 \\ i := 0..Nn - 1; 768 & j := 0..N - 1 & 2.461 \times 10^4 \end{pmatrix} \quad G_{n,0} := 1$$

$$B_{i,j} := \frac{T_{i,j}}{G_{Nn,N-1}} G_{n,N-1-j}$$

B = 1

$$i := 0..Nn$$

$$j := 0..N -$$

$$\text{SumB}_i := \sum_j B_{i,j}$$

$$\text{SumB} =$$

	0
0	1
1	1
2	1
3	1
4	1
5	1
6	1
7	1
8	1
9	1.022

$$\lambda_i := e_i \cdot \frac{G_{Nn-1, N-2}}{G_{Nn, N-1}}$$

$$L_i := \sum_{n=0}^{N-1} (n \cdot B_{i,n})$$

The intensity of the input stream

The average number of packets per node

$$\lambda =$$

	0
0	0.083
1	0.025
2	0.017
3	0.028
4	0.025
5	0.025
6	9.249 · 10 ⁻³
7	9.249 · 10 ⁻³
8	0.012
9	0.012

$$L =$$

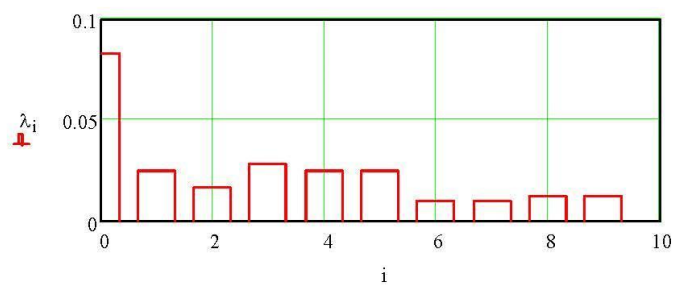
	0
0	2.872
1	0.03
2	0.02
3	0.448
4	0.03
5	0.03
6	0.119
7	0.119
8	0.167
9	0.192

$$t_i := \frac{L_i}{\lambda_i}$$

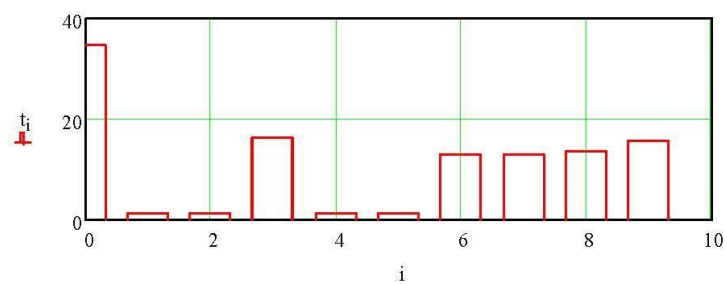
Average time spent in the node

$$t =$$

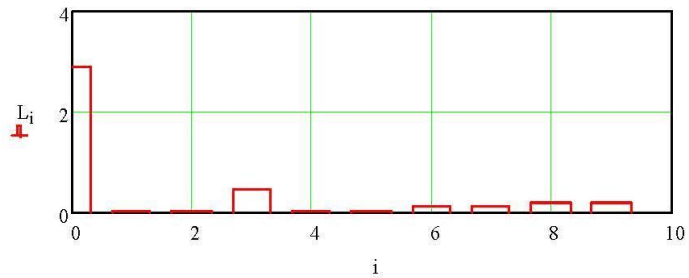
	0
0	34.462
1	1.19
2	1.179
3	16.143
4	1.19
5	1.19
6	12.852
7	12.852
8	13.354
9	15.343



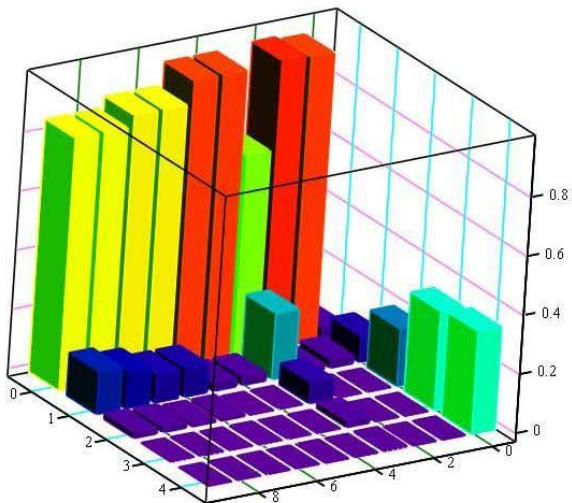
The intensity of the flow entering the node



The average residence time of a packet in a node

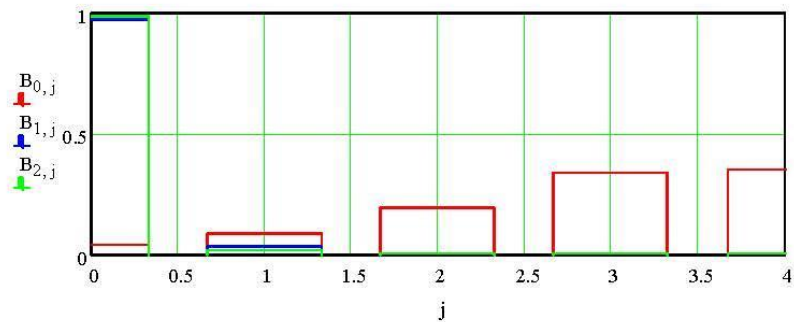


The average number of packets in a node



B

The probability of queuing at network nodes



The probability of queuing at nodes if the specified number of packets is circulating in the network

