

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра Комп'ютерних інформаційних технологій

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ  
Завідувач випускової кафедри  
Аліна САВЧЕНКО.  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**  
ЗДОБУВАЧА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ “БАКАЛАВР”

**Тема: “Методи та програмні додатки до операційної системи виробничого підприємства”**

**Виконавець:** студент групи УС-414 Глазунов Данило Вадимович

**Керівник:** Професор кафедри Віноградов Микола Анатолійович

**Нормоконтролер:** \_\_\_\_\_ Олександр ШЕВЧЕНКО

**Київ – 2024**

# НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет комп'ютерних наук та технологій

Кафедра Комп'ютерних інформаційних технологій

Галузь знань, спеціальність, освітньо-професійна програма: 12 “Інформаційні технології”, 122 “Комп'ютерні науки”, “Інформаційні управляючі системи та технології”

---

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач випускової кафедри

Аліна САВЧЕНКО

«    »      2024р.

## ЗАВДАННЯ

**на виконання кваліфікаційної роботи (проєкту)**

Глазунова Данила Вадимовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

- 1. Тема роботи:** «Методи та програмні додатки до операційної системи виробничого підприємства» затверджена наказом ректора від “5” квітня 2024 р. за № 517/ст.
- 2. Термін виконання роботи:** 06.05.2024 – 14.06.2024
- 3. Вихідні дані до роботи:** структура та основні процеси виробничого підприємства; сучасні методи управління виробничим процесом; програмні додатки, що використовуються в операційних системах підприємств; математичні моделі для оптимізації виробничого процесу.
- 4. Зміст пояснювальної записки:** вступ, аналіз сучасних методів управління виробничим процесом в операційних системах підприємств, математичні моделі та програмні додатки для оптимізації виробничого процесу, дослідження та обґрунтування використання програмних додатків в операційній системі виробничого підприємства, висновки.
- 5. Перелік обов'язкового графічного матеріалу:** графічне зображення груп властивостей і характеристик ВПЗ; діаграма чинників якості, що відображають корисність ВПЗ; схема управління якістю і розробки ВПЗ; графічна схема різновидів нормативних документів.

## 6. Календарний план-графік

№ п/п	Завдання	Термін виконання	Підпис керівника
1.	Призначення теми для дипломної роботи, формування її структури та розробка графіку виконання роботи.	06.05.2024 – 09.05.2024	
2.	Створення та узгодження календарного плану реалізації дипломного проекту.	09.05.2024 – 12.05.2024	
3.	Консультавання з науковим керівником щодо деталей роботи.	13.05.2024	
4.	Вивчення наукових джерел по обраній темі та підготовка першого Розділу дипломної роботи.	14.05.2024 – 18.05.2024	
5.	Розробка другого Розділу дипломної роботи.	19.05.2024 – 23.05.2024	
6.	Підготовка третього Розділу дипломної роботи. Завершення роботи над текстовою частиною дипломного проекту.	24.05.2024 – 29.05.2024	
7.	Остаточне оформлення та друк текстової частини дипломної роботи.	30.05.2022 – 07.06.2024	
8.	Створення презентації та доповіді для захисту дипломної роботи, підготовка до захисту.	08.06.2024 – 09.06.2024	
9.	Підготовка та передача всіх необхідних матеріалів для захисту дипломної роботи секретарю ДЕК (папка, конверт, диск із файлом диплому, рецензія, відгук).	10.06.2024 – 11.06.2024	

7. Дата видачі завдання: «6» \_\_\_\_\_ травня \_\_\_\_\_ 2024 р.

Керівник дипломної роботи \_\_\_\_\_ Микола ВІНОГРАДОВ  
(підпис керівника) (П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ Данило ГЛАЗУНОВ  
(підпис випускника) (П.І.Б.)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи «Методи та програмні додатки до операційної системи виробничого підприємства»: 61 с., 4 рис., 1 табл., 27 літературних джерела.

**Об'єкт дослідження:** виробничий процес підприємства.

**Предмет дослідження:** Методи та програмні додатки для оптимізації виробничого процесу підприємства.

**Мета роботи:** дослідження та розробка методів і програмних засобів, спрямованих на оптимізацію виробничих процесів підприємства.

**Методи дослідження:** аналіз літературних джерел та наукових публікацій; експериментальне моделювання виробничих процесів; анкетування та опитування фахівців з підприємства.

**Отримані результати та їх новизна** виявилися новаторськими завдяки розробці передових методів управління виробничими процесами, які інтегрують програмні додатки з операційними системами. Вони дозволяють підвищити точність та ефективність управління, а також сприяють автоматизації та оптимізації виробництва. Розроблені програмні засоби адаптовані до специфіки виробничих підприємств та можуть значно покращити їх продуктивність.

**Результати кваліфікаційної роботи** можуть бути корисними для підвищення продуктивності та ефективності виробничих процесів на підприємствах, зменшення витрат і покращення управління ресурсами. Вони також сприятимуть навчанню персоналу сучасним методам оптимізації, підвищенню конкурентоспроможності компаній та розвитку наукових досліджень у цій галузі.

ОПЕРАЦІЙНА СИСТЕМА, ВИРОБНИЧИЙ ПРОЦЕС, АВТОМАТИЗАЦІЯ, КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНІСТЬ, СИСТЕМИ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ, МЕРЕЖЕВІ ТЕХНОЛОГІЇ, СТАНДАРТИЗАЦІЯ, ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ, БЕЗПЕКА ДАНИХ.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ .....	6
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЧИМ ПРОЦЕСОМ В ОПЕРАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ ПІДПРИЄМСТВ .....	11
1.1. Огляд сучасних методів управління виробничим процесом.....	11
1.2. Аналіз технологій управління виробничим процесом .....	13
1.3. Методи оптимізації виробничого процесу в операційних системах.....	17
1.4. Сучасні підходи до вирішення проблем управління в операційних системах підприємств .....	20
1.5. Висновки до розділу 1 .....	24
РОЗДІЛ 2. МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ВИРОБНИЧОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ .....	25
2.1. Концепція і сутність якості виробничого програмного забезпечення .....	25
2.2. Математична модель процесу захисту програмного забезпечення виробничої корпоративної мережі.....	33
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК МЕРЕЖНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ .....	41
3.1. Дослідження впливу зовнішніх факторів на основні характеристики мережного програмного забезпечення .....	41
3.2. Кількісний аналіз основних характеристик мережного програмного забезпечення.....	43
3.3. Темпоральні характеристики реально-часових операційних систем.....	49
3.4. Висновки по розділу 3 .....	55
ВИСНОВКИ .....	56
СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	58

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

<b>JIT</b>	Just-In-Time, метод управління виробництвом, який передбачає мінімізацію запасів сировини та компонентів, виробництво товарів строго під замовлення.
<b>TQM</b>	Total Quality Management, система загального управління якістю, яка охоплює всю компанію і спрямована на неперервне поліпшення всіх процесів і операцій.
<b>IoT</b>	Internet of Things, Інтернет речей, концепція мережі фізичних об'єктів (речей), оснащених вбудованими технологіями для взаємодії один з одним або з зовнішнім середовищем.
<b>AI</b>	Artificial Intelligence, штучний інтелект, область комп'ютерних наук, що займається створенням машин, які можуть виконувати завдання, що традиційно потребують людського інтелекту.
<b>MES</b>	Manufacturing Execution Systems, системи управління виробництвом, які координують роботу обладнання, матеріалів та працівників на підприємстві.
<b>SCM</b>	Supply Chain Management, управління ланцюгом постачання, стратегії та практики для оптимізації руху товарів, послуг та пов'язаної інформації між початковою точкою та кінцевим споживачем.
<b>ERP</b>	Enterprise Resource Planning, планування ресурсів підприємства, інтегровані системи управління, які об'єднують і автоматизують багато функцій, пов'язаних із технологіями, послугами та людськими ресурсами.
<b>CRM</b>	Customer Relationship Management, управління відносинами з клієнтами, підхід до управління взаємодією компанії з поточними та потенційними клієнтами.
<b>ВПЗ</b>	Виробниче програмне забезпечення.

<b>COI</b>	Система обробки інформації.
<b>НСД</b>	Несанкціонований доступ.
<b>СБЖ</b>	Система безперебійного живлення.
<b>ISO</b>	Міжнародна організація по стандартизації (International Organization for Standardization).
<b>IEC</b>	Міжнародна електротехнічна комісія (International Electrotechnical Commission)

## ВСТУП

В сучасному виробничому середовищі операційна система стала невід'ємною складовою ефективного управління та оптимізації процесів. Інтеграція відповідних програмних додатків та методів до операційної системи стає ключовим аспектом для досягнення успіху в бізнесі. Виробничі підприємства постійно шукають нові способи підвищення продуктивності, зменшення витрат та оптимізації виробничих процесів. У цьому контексті важливо розглянути різноманітні методи та програмні рішення, які спрямовані на автоматизацію, управління та контроль над ключовими аспектами діяльності підприємства.

Операційні системи на сьогоднішній день стали головними платформами для функціонування комп'ютерних систем у виробничому секторі. Вони забезпечують інтерфейс для взаємодії з апаратним забезпеченням, а також базові сервіси для виконання програм. Проте, сама наявність операційної системи ще не гарантує оптимального функціонування підприємства. Справжня сила схована в програмних додатках та методиках, які інтегруються з операційною системою та розробляються з метою підвищення продуктивності, зменшення витрат і підвищення загальної ефективності виробничих процесів.

Методи та програмні додатки виробничого призначення можуть бути спрямовані на різні аспекти управління та виробництва. Це може включати в себе системи моніторингу та аналізу даних, системи автоматизації виробничих ліній, програмні рішення для планування виробництва та управління запасами, а також інструменти для відстеження якості продукції та забезпечення дотримання стандартів безпеки та якості.

Зростаючий обсяг даних та складність виробничих процесів ставлять перед підприємствами вимогу до впровадження все більш продуктивних та інноваційних методів та програмних рішень. Тільки завдяки впровадженню сучасних технологій та відповідній методиці виробничі підприємства можуть досягти конкурентних переваг,



забезпечити стабільний ріст та успішно функціонувати в умовах постійної динаміки ринку.

Тема бакалаврської роботи "Методи та програмні додатки до операційної системи виробничого підприємства" є важливою, у зв'язку із виникненням необхідності вдосконалення систем управління виробництвом в умовах сучасного бізнесу, де швидкість реакції на зміни, точність прогнозування та ефективність використання ресурсів стають визначальними факторами конкурентоспроможності.

Актуальність даної теми обумовлена необхідністю впровадження інноваційних підходів у виробничі процеси, що забезпечують не лише оптимізацію витрат, а й збільшення якості та швидкості виробництва. Зараз, у зв'язку з швидким технологічним розвитком та зростанням конкуренції, підприємства змушені активно впроваджувати нові рішення, які допомагають підвищити ефективність управління виробництвом.

Метою даної роботи є дослідження та розробка методів і програмних засобів, спрямованих на оптимізацію виробничих процесів підприємства. Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі завдання:

- дослідити сучасні технології та методи управління виробничим процесом;
- вивчити особливості впровадження програмних додатків до операційних систем для підвищення ефективності виробництва;
- розробити програмні засоби, що враховують специфіку виробничого підприємства та його потреби.

Об'єктом дослідження є виробничий процес підприємства, а предметом - методи та програмні додатки для оптимізації цього процесу.

Для досягнення поставленої мети використовувалися такі методи дослідження:

- аналіз літературних джерел та наукових публікацій;
- експериментальне моделювання виробничих процесів;
- анкетування та опитування фахівців з підприємств.

Науковою новизною отриманих результатів є розробка нових підходів до управління виробничими процесами, що базуються на інтеграції програмних додатків

до операційних систем. Ці підходи відрізняються від традиційних методів та спрямовані на забезпечення більшої точності та ефективності управління.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості їх використання для підвищення продуктивності та конкурентоспроможності підприємства. Розроблені програмні засоби можуть бути успішно впроваджені на практиці для автоматизації та оптимізації виробничих процесів.

Особистий внесок автора полягає у розробці концепції, виборі методів дослідження та впровадженні результатів дослідження на практиці.

Отримані результати були апробовані та представлені на різноманітних конференціях та наукових заходах, що сприяло їх відомості та обговоренню в науковій спільноті. Результати дослідження також були опубліковані у відповідних наукових журналах та збірниках наукових праць, що підвищує їх доступність та розповсюдження серед зацікавлених учасників галузі.

## РОЗДІЛ 1

# АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЧИМ ПРОЦЕСОМ В ОПЕРАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ ПІДПРИЄМСТВ

### 1.1. Огляд сучасних методів управління виробничим процесом

Управління виробничим процесом в сучасному світі стає все більш складним завданням, оскільки компанії шукають способи оптимізації своєї діяльності, зменшення витрат і підвищення якості продукції. Спираючись на передові технології, вони впроваджують різноманітні методи управління, спрямовані на підвищення продуктивності та конкурентоспроможності.

Сучасні методи управління виробничим процесом охоплюють широкий спектр підходів, від традиційних методів, таких як системи "Just-In-Time" (Точно-в-час) та "Total Quality Management" (Загальне управління якістю), до передових стратегій, що базуються на штучному інтелекті, аналітиці даних та інтернеті речей.

Одним з ключових напрямків є перехід до цифрового формату виробничих процесів, коли за допомогою сенсорів, зв'язку між пристроями та аналізу даних створюються "розумні" фабрики, які можуть автоматизувати та оптимізувати бізнес-процеси в реальному часі.

Зростання значення сталого розвитку також підштовхує компанії до впровадження зелених технологій та методів, спрямованих на зменшення викидів та енергоспоживання, що стає важливою складовою управління виробничим процесом у сучасному світі.

НАУ 24 60 66 000 ПЗ

				НАУ 24 60 66 000 ПЗ				
<i>Виконав</i>	Глазунов Д.В.			АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЧИМ ПРОЦЕСОМ В ОПЕРАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ ПІДПРИЄМСТВ	<i>Літера</i>		<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Керівник</i>	Віноградов М.А.				У		11	14
<i>Консульт.</i>					УС-414 122			
<i>Норм. контр.</i>	Шевченко О.П.							

Попри різноманітність доступних методів, вибір підходу до управління виробничим процесом завжди пов'язаний з унікальними потребами та характеристиками конкретної компанії. Тим не менш, впровадження сучасних методів управління стає необхідністю для досягнення конкурентної переваги та забезпечення стійкого розвитку у сучасному глобальному бізнес-середовищі.

Огляд сучасних методів управління виробничим процесом дає можливість краще зрозуміти та оцінити актуальні стратегії та підходи, які використовуються у сучасній промисловості для оптимізації виробничих процесів. Зростання конкуренції та швидкі технологічні зміни вимагають постійного вдосконалення методів управління, щоб забезпечити ефективність та конкурентоспроможність підприємств.

Один з ключових напрямків в сучасному управлінні виробничим процесом - це застосування принципів Lean та Just-in-Time (JIT). Ці підходи спрямовані на мінімізацію втрат та оптимізацію ресурсів шляхом елімінації зайвих запасів та оптимізації робочих процесів. Lean дозволяє зосередитися на створенні максимальної вартості для клієнта з мінімальними витратами, тоді як JIT спрямований на забезпечення виробництва товарів або послуг у відповідності з попитом без надмірних запасів [1, с. 70].

Ще одним важливим аспектом управління виробничим процесом є застосування методів індустрії 4.0, таких як Інтернет речей (IoT), штучний інтелект (AI) та аналітика даних. Вони дозволяють збирати та аналізувати великі обсяги даних з виробничих процесів для виявлення тенденцій, покращення прогнозування попиту, автоматизації процесів та зниження витрат [1, с. 81].

Також управління виробничим процесом включає в себе використання методів проектного менеджменту для планування та керування проектами з впровадження нових технологій, виробничих ліній чи процесів оптимізації. Застосування загальних методів управління проектами дозволяє швидко реагувати на зміни та впроваджувати інновації більш ефективно.

В додаток до вищезазначених методів, розробники також активно використовують концепції та інструменти Supply Chain Management (управління ланцюгом постачання) для оптимізації виробничих процесів. Це включає в себе

стратегії управління запасами, виробництвом на замовлення, плануванням попиту та інші підходи, спрямовані на забезпечення ефективного руху матеріалів та інформації від постачальників до кінцевих споживачів.

Одним з ключових напрямків управління виробничими процесами є також використання методів Total Quality Management (загальне управління якістю), Six Sigma та Continuous Improvement (постійне удосконалення). Ці підходи спрямовані на постійне покращення якості продукції та процесів виробництва шляхом виявлення та виправлення дефектів, зменшення варіацій та впровадження стандартів якості.

Крім того, в управлінні виробничим процесом широко застосовуються методи оптимізації логістики та дистрибуції, такі як Cross-Docking, Vendor-Managed Inventory (VMI) та Outsourcing. Ці стратегії дозволяють підприємствам знижувати витрати на логістику, прискорювати постачальні ланцюги та підвищувати рівень обслуговування клієнтів.

Загалом, сучасні методи управління виробничим процесом є комплексними та включають в себе широкий спектр стратегій, підходів та інструментів, спрямованих на підвищення ефективності та конкурентоспроможності підприємств у глобальному ринковому середовищі.

## **1.2. Аналіз технологій управління виробничим процесом**

Управління виробничим процесом - це ключовий аспект ефективного функціонування будь-якого виробничого підприємства чи організації. Сучасні технології не лише революціонізували способи виробництва, але й значно поширили можливості в управлінні процесами. Аналіз технологій управління виробничим процесом відображає важливий аспект в контексті підвищення ефективності, зниження витрат та досягнення конкурентної переваги на ринку.

В цьому підрозділі розглянемо різноманітні аспекти технологічних інновацій, які стосуються управління виробничим процесом. Починаючи від використання інтернету речей (IoT) та аналітики даних для моніторингу та оптимізації процесів до

впровадження штучного інтелекту (AI) та автоматизації через робототехніку, наш аналіз охопить широкий спектр інструментів та підходів.

В цілому, аналіз технологій управління виробничим процесом є не лише актуальним, але й критично важливим для будь-якої компанії, яка прагне залишатися конкурентоспроможною в сучасному, швидкозмінному світі виробництва.

Аналіз технологій управління виробничим процесом в сучасному світі важливий для підтримки ефективності та конкурентоспроможності підприємств. Виробничий процес - це складна система, що включає в себе різноманітні етапи та операції, і правильне управління ним може значно вплинути на якість продукції, швидкість виробництва, витрати та загальну продуктивність підприємства [2, с. 47].

Однією з ключових технологій управління виробничим процесом є системи Індустрії 4.0, які використовують передові цифрові технології, такі як Інтернет речей (IoT), штучний інтелект (AI), аналітика даних, хмарні технології тощо. Ці технології дозволяють збирати великі обсяги даних з обладнання та процесів в реальному часі, а потім аналізувати їх для виявлення тенденцій, оптимізації виробничих процесів та прийняття швидких та точних управлінських рішень.

Ще однією важливою технологією є системи управління виробництвом (Manufacturing Execution Systems - MES), які координують роботу обладнання, матеріалів та працівників на підприємстві. Вони забезпечують моніторинг виробничих процесів, реалізацію графіків виробництва, контроль якості та звітність [3, с. 130].

Технології автоматизації також відіграють важливу роль у виробничому управлінні. Вони дозволяють замінити рутинні та повторювані операції на автоматизовані процеси, що зменшує ризик помилок та підвищує ефективність виробництва.

Також варто зазначити значення технологій управління ланцюжком постачання (Supply Chain Management - SCM), які дозволяють оптимізувати логістику, замовлення матеріалів та складський облік для забезпечення безперебійного виробництва [3, с. 97].

Узагальнюючи, аналіз технологій управління виробничим процесом вказує на те, що впровадження передових цифрових рішень може значно підвищити ефективність, якість та конкурентоспроможність підприємства в сучасному глобальному ринковому середовищі.

Важливого значення має використання інформаційних технологій для оптимізації управління, воно стає ключовим фактором в ефективному функціонуванні різноманітних організацій, від підприємств до урядових установ. Це охоплює використання різноманітних програмних засобів, аналітичних інструментів, Інтернету речей (IoT), штучного інтелекту (AI) та інших передових технологій.

Застосування інформаційних технологій дозволяє автоматизувати багато рутинних процесів управління, що полегшує роботу персоналу і знижує ймовірність помилок. Наприклад, використання спеціалізованих програм для обліку фінансів чи управління персоналом дозволяє швидко та ефективно обробляти великі обсяги даних, а також надає можливість аналізу цих даних для прийняття обґрунтованих управлінських рішень.

Однією з ключових переваг використання інформаційних технологій є можливість зберігання та доступу до великої кількості даних в електронному вигляді. Це сприяє покращенню комунікації між відділами та співробітниками, забезпечує зручний доступ до необхідної інформації в будь-який час та з будь-якого місця.

Крім того, інформаційні технології дозволяють впроваджувати системи моніторингу та аналізу даних в реальному часі. Це допомагає управлінцям оперативно реагувати на зміни у внутрішньому та зовнішньому середовищі, що сприяє підвищенню адаптивності організації.

Необхідно також зазначити, що використання інформаційних технологій вимагає належного управління кібербезпекою, оскільки збільшується ризик кібератак та витоку конфіденційної інформації. Тому важливо регулярно оновлювати програмне забезпечення та вживати заходів з захисту даних.

У підсумку, використання інформаційних технологій для оптимізації управління є важливим і необхідним елементом сучасного бізнесу та управління, що

дозволяє підвищити ефективність, швидкість та точність процесів управління, забезпечуючи конкурентні переваги організації.

Використання інформаційних технологій для оптимізації управління стає необхідністю в епоху швидкого технологічного розвитку. Це поле знань постійно зростає та еволюціонує, впливаючи на всі сфери життя, включаючи бізнес, освіту, організаційні структури та навіть уряд. Інформаційні технології допомагають управлінцям та організаціям збирати, зберігати, обробляти та аналізувати великі обсяги даних швидше та ефективніше, що в свою чергу дозволяє приймати кращі та обґрунтовані рішення.

Оптимізація управління через використання ІТ включає в себе різноманітні методи та інструменти, такі як системи управління відносинами з клієнтами (CRM), Ентерпрайз-ресурсні планувальні системи (ERP), аналітика даних, хмарні технології, штучний інтелект та багато інших. Вони допомагають управлінцям отримувати доступ до необхідної інформації в будь-який час та в будь-якому місці, покращуючи комунікацію, прийняття рішень та вирішення проблем.

Інформаційні технології також дозволяють управлінцям створювати більш гнучкі та адаптивні організаційні структури, зменшуючи бюрократію та прискорюючи процеси прийняття рішень. Завдяки автоматизації та оптимізації рутинних задач, співробітники можуть сконцентруватися на стратегічних завданнях та творчому розвитку.

Усе це допомагає підвищити конкурентоспроможність підприємств, покращити якість послуг та продуктів, знизити витрати та підвищити задоволеність клієнтів. Проте, важливо пам'ятати, що успіх використання ІТ для оптимізації управління залежить від правильного вибору технологій, їх належної інтеграції та відповідного управління змінами в організації.



### **1.3. Методи оптимізації виробничого процесу в операційних системах**

Виробничі процеси є невід'ємною частиною будь-якої організації, і їх ефективність визначається великою мірою застосованими методами оптимізації. Операційні системи, як ключові компоненти управління виробництвом, відіграють важливу роль у забезпеченні ефективності та продуктивності. В контексті сучасних технологій і конкурентного ринкового середовища, методи оптимізації виробничого процесу стають ще більш актуальними.

Даний підрозділ відкриває перед нами широкий спектр можливостей та викликів. Від впровадження автоматизованих систем до вдосконалення розкладів виробництва, відбувається постійний пошук оптимальних рішень для підвищення продуктивності, зниження витрат та підвищення якості продукції. Для досягнення цих цілей використовуються різноманітні методи оптимізації, які враховують технологічні, економічні та організаційні аспекти виробництва. Вивчення цієї теми допомагає розуміти сучасні підходи до управління виробничими процесами та розробці стратегій для підвищення конкурентоспроможності підприємств.

Одним з методів оптимізації є впровадження передових технологій виробництва. Це включає в себе автоматизацію процесів за допомогою роботів, автоматизованих систем керування та моніторингу, використання розумних алгоритмів для планування виробничих операцій, а також впровадження інтернету речей (IoT) для збору даних та аналізу робочих процесів [4, с. 153].

Іншим важливим методом є вдосконалення логістики виробництва. Це включає в себе оптимізацію постачання сировини та матеріалів, організацію робочих місць та транспортування готової продукції. Шляхом оптимізації логістики можна значно скоротити час, необхідний для виробничого циклу, та знизити загальні витрати на операції.

Важливим методом є управління якістю. Це включає в себе впровадження систем контролю якості продукції на кожному етапі виробничого процесу, виявлення та усунення дефектів, а також постійне вдосконалення технологічних процесів для забезпечення високої якості кінцевого продукту [5, с. 97].

Не менш важливим методом є ефективне управління людськими ресурсами. Це включає в себе навчання та розвиток персоналу, мотивацію та стимулювання працівників, створення командної робочої атмосфери та сприяння ефективному спілкуванню всередині організації.

Для моделювання виробничих процесів використовуються математичні моделі, що дозволяють описати різні аспекти виробництва, такі як обсяги виробництва, витрати ресурсів, часові параметри тощо. Ці моделі можуть бути як аналітичними, так і імітаційними, залежно від складності виробничих процесів та необхідності врахування різних факторів.

Важливого значення має застосування інтелектуальних систем для оптимізації управління виробництвом полягає у використанні різних алгоритмів та методів штучного інтелекту, які дозволяють автоматизувати та оптимізувати рішення, пов'язані з управлінням виробничими процесами. Одним із ключових напрямків є застосування систем управління на основі експертних знань, які використовують збережені знання та правила для прийняття рішень у реальному часі [6, с. 29].

Інтелектуальні системи можуть використовуватися для прогнозування попиту на продукцію, аналізу ризиків, оптимізації ланцюга постачання, розподілу ресурсів та багатьох інших аспектів управління виробництвом. Вони дозволяють підприємствам швидше реагувати на зміни в ринкових умовах, знижувати витрати та підвищувати продуктивність.

Загалом, використання інтелектуальних систем для оптимізації управління виробництвом є важливим інструментом сучасного підприємства, який дозволяє підвищувати його конкурентоспроможність, ефективність та адаптивність до змінних умов ринку.

Усі ці методи та стратегії можуть бути успішно впроваджені в операційні системи підприємств для досягнення більшої ефективності, продуктивності та конкурентоспроможності на ринку. Важливою складовою успіху є постійний аналіз та вдосконалення виробничих процесів з метою адаптації до змінних умов ринку та технологічного прогресу.

Важливо також зазначити значення інновацій у виробничому процесі. Постійний пошук новаторських ідей та технологій дозволяє підприємствам підтримувати своє конкурентне перевагу. Це може включати в себе впровадження нових методів виробництва, застосування передових матеріалів та обладнання, а також розробку унікальних продуктів або послуг.

Крім того, важливою складовою оптимізації виробничого процесу є ефективне управління ризиками. Ідентифікація потенційних загроз та розробка стратегій їх управління дозволяють зменшити можливі негативні наслідки для виробництва та підприємства в цілому.

Ключовим аспектом успішної оптимізації є також збільшення гнучкості виробничого процесу. Здатність швидко реагувати на зміни у попиті, технологіях або інших умовах дозволяє підприємствам підтримувати конкурентоспроможність і адаптуватися до нових викликів.

Нарешті, важливо зазначити, що оптимізація виробничого процесу - це постійний процес. Підприємства повинні постійно вдосконалювати свої методи та стратегії, враховуючи зміни на ринку, технологічні інновації та внутрішні фактори, щоб забезпечити ефективність та стабільність виробництва в майбутньому [6, с. 106].

Таким чином, оптимізація виробничих процесів у сучасних операційних системах є ключовим аспектом для досягнення ефективності, продуктивності та конкурентоспроможності підприємств у сучасному світі. Незалежно від галузі або масштабу бізнесу, оптимізація процесів дозволяє підприємствам знижувати витрати, підвищувати якість продукції та послуг, зменшувати час виробництва та реагування на зміни у середовищі.

Методи оптимізації виробничих процесів в операційних системах включають в себе використання передових технологій, таких як штучний інтелект, машинне навчання, аналіз даних, інтернет речей тощо. Ці технології дозволяють автоматизувати багато рутинних завдань, зменшити людський фактор у виробництві, а також виявляти патерни та прогнозувати розвиток ситуацій у реальному часі.

Важливими аспектами оптимізації є стандартизація процесів, постійний моніторинг та аналіз ефективності, а також впровадження систем управління якістю,

таких як Lean, Six Sigma тощо. Ці підходи допомагають ідентифікувати проблемні місця у виробництві та забезпечують постійне покращення процесів.

Загалом, ефективна оптимізація виробничих процесів у операційних системах вимагає комплексного підходу, що включає в себе використання передових технологій, стандартизацію, постійний моніторинг та пошук нових можливостей для покращення. Вона стає важливою складовою успіху будь-якого підприємства в умовах постійної конкуренції та змін у ринковому середовищі.

#### **1.4. Сучасні підходи до вирішення проблем управління в операційних системах підприємств**

Управління в операційних системах підприємств є важливим аспектом сучасного бізнесу, який визначає ефективність, конкурентоспроможність та стійкість організації в умовах постійних змін та викликів ринкового середовища. Сучасні підходи до вирішення проблем управління в операційних системах підприємств на сьогоднішній день відображають широкий спектр стратегій, методів та інструментів, спрямованих на оптимізацію процесів, забезпечення якості продукції та послуг, а також зниження витрат та підвищення продуктивності.

Зростання конкуренції, швидкі технологічні зміни та зміни в споживчих уподобаннях створюють складні виклики для підприємств у всіх секторах економіки. Однак, з усією складністю сучасного бізнес-середовища, також приходять і нові можливості для підприємств, які можуть успішно використовувати інноваційні методи та стратегії управління.

У цьому контексті, сучасні підходи до управління в операційних системах підприємств орієнтовані на вирішення таких ключових завдань, як оптимізація процесів, вдосконалення ланцюга постачання, зниження ризиків та підвищення гнучкості бізнесу. Це включає в себе застосування новітніх технологій, таких як Штучний Інтелект, Інтернет Речей, Аналітика Даних та Хмарні Технології, а також використання методів управління якістю, таких як Lean та Six Sigma.

Поряд з цим, важливим елементом сучасного управління в операційних системах підприємств є інтеграція стандартів та методологій, таких як ISO 9001, ISO 14001 та ISO 45001, які сприяють вдосконаленню процесів, забезпечуючи високу якість продукції та послуг, а також збільшення довіри споживачів та партнерів [7, с. 37].

Враховуючи цей широкий спектр викликів та можливостей, дослідження сучасних підходів до управління в операційних системах підприємств стає надзвичайно важливим для забезпечення стабільного та успішного функціонування сучасних організацій у глобальному бізнес-середовищі.

Сучасні підходи до вирішення проблем управління в операційних системах підприємств є важливою складовою успішної діяльності будь-якої компанії в умовах постійно змінюваного бізнес-середовища. Враховуючи швидкі технологічні зміни, зростаючу конкуренцію і змінні потреби споживачів, ефективне управління операційними процесами стає ключовим фактором успіху.

Один з сучасних підходів до вирішення цих проблем - це використання інтегрованих програмних рішень для автоматизації бізнес-процесів. Ці рішення включають в себе системи планування ресурсів підприємства (ERP), які об'єднують усі аспекти бізнесу, від фінансів і управління персоналом до логістики і виробництва, в одній централізованій платформі. Це дозволяє компаніям ефективно керувати всіма аспектами своєї діяльності, забезпечуючи більшу прозорість, контроль і оптимізацію процесів [8, с. 54].

Ще одним важливим аспектом сучасного управління є використання аналітики даних для прийняття стратегічних рішень. Збір, аналіз і інтерпретація великих обсягів даних дозволяють підприємствам зрозуміти ринкові тенденції, виявити можливості для оптимізації процесів та підвищення ефективності, а також передбачити майбутні тенденції і вимоги споживачів.

Управління операційними системами включає в себе постійний пошук і впровадження новітніх технологій, таких як штучний інтелект, автоматизація процесів з використанням роботів, інтернет речей (IoT) та децентралізована база даних. Ці технології можуть допомогти вдосконалити процеси виробництва,

скоротити час доставки продукції, підвищити якість продукції і послуг, а також зменшити витрати [9, с. 21].

Важливими стратегіями, які використовуються для вирішення проблем управління в операційних системах підприємств, є впровадження принципів Lean та Six Sigma. Lean-підхід передбачає постійне удосконалення процесів шляхом усунення зайвих витрат часу, ресурсів і матеріалів. Six Sigma спрямований на мінімізацію дефектів та варіацій у продукції чи послугах, що дозволяє підприємствам підвищувати якість продукції та задоволеність клієнтів.

Стратегії управління операційними системами включають в себе інтеграцію з цифровими технологіями, такими як хмарні обчислення, що дозволяють підприємствам зберігати та обробляти великі обсяги даних, а також впроваджувати нові функціональності без значних витрат на інфраструктуру.

Нарешті, ефективне управління операційними системами передбачає постійний розвиток персоналу. Компанії інвестують у навчання та розвиток своїх працівників, щоб вони могли впроваджувати нові технології та методи управління, а також ефективно працювати в умовах постійної зміни.

Важливого значення має впровадження концепції "індустрії 4.0" у виробничі процеси. Це є одним з ключових напрямів розвитку сучасних підприємств. Однією з важливих складових цієї концепції є розумна автоматизація та використання передових технологій, зокрема штучного інтелекту та машинного навчання [10, с. 39].

Роль штучного інтелекту та машинного навчання в управлінні виробничим процесом вельми значуща. Ці технології дозволяють оптимізувати та автоматизувати багато аспектів виробничої діяльності, забезпечуючи підприємствам значні переваги в конкурентній боротьбі.

Перш за все, штучний інтелект дозволяє здійснювати аналіз великих обсягів даних, що збираються в ході виробничих процесів. Це дозволяє виявляти тенденції, прогнозувати попит, виявляти аномалії та помилки, що допомагає підприємствам приймати обґрунтовані рішення.

Машинне навчання дозволяє побудувати прогностичні моделі, які можуть передбачати події та результати на основі наявних даних. Це допомагає в управлінні

виробничими процесами, оптимізує виробничі потоки, підвищує ефективність використання ресурсів та знижує витрати [10, с. 87].

Штучний інтелект може бути використаний для створення інтелектуальних систем управління, які можуть автоматично реагувати на зміни в середовищі виробництва, виправляти помилки та вдосконалювати процеси без прямого втручання операторів.

Отже, роль штучного інтелекту та машинного навчання в управлінні виробничим процесом полягає в створенні інтелектуальних та ефективних систем, які сприяють оптимізації робочих процесів, підвищенню продуктивності та конкурентоспроможності підприємства.

Загалом, сучасні підходи до управління в операційних системах підприємств є комплексними та орієнтованими на інновації. Вони допомагають підприємствам підтримувати конкурентоспроможність, забезпечуючи ефективне використання ресурсів, максимізацію прибутковості та надійність операцій.

Таким чином, управління в операційних системах підприємств нині стає все складнішим завдяки швидкому розвитку технологій, змінюючимся ринковим умовам і зростаючими вимогами клієнтів. Сучасні підходи до цієї проблеми відображають тренд на перехід до більш гнучких, інтегрованих та інноваційних методів управління. Це включає в себе використання цифрових технологій, таких як штучний інтелект, аналітика даних, інтернет речей тощо, для автоматизації процесів та покращення ефективності операцій.

Поряд з цим, важливо враховувати людський фактор, сприйняття та участь співробітників у процесах управління. Культура підприємства, комунікація та розвиток персоналу також мають вирішальне значення для успішної реалізації сучасних підходів до управління.

Ключовою складовою успіху є постійна адаптація до змін, швидке реагування на виклики та прийняття нових технологій та методів управління. Підприємства, які здатні ефективно впроваджувати інновації та адаптуватися до нових умов, матимуть конкурентну перевагу в сучасному бізнес-середовищі.

## **1.5. Висновки до розділу 1**

Сучасні методи управління виробничим процесом включають широкий спектр підходів, які базуються на використанні передових технологій, таких як штучний інтелект, аналітика даних та інтернет речей, для оптимізації виробничих процесів, зменшення витрат і підвищення якості продукції.

Аналіз технологій управління виробничим процесом показує важливість інтеграції цифрових рішень у виробничі системи для підвищення ефективності, якості та конкурентоспроможності підприємств.

Методи оптимізації виробничого процесу в операційних системах охоплюють застосування передових технологій, стандартизацію процесів, постійний моніторинг та аналіз ефективності, що дозволяє підприємствам знижувати витрати, підвищувати якість продукції та послуг, зменшувати час виробництва та реагування на зміни у середовищі.

Сучасні підходи до вирішення проблем управління в операційних системах підприємств включають інтеграцію з цифровими технологіями, використання аналітики даних, штучного інтелекту, автоматизації процесів та інших інноваційних методів для підвищення ефективності та конкурентоспроможності.

Ефективне управління в операційних системах підприємств вимагає комплексного підходу, що включає в себе використання передових технологій, стандартизацію, постійний моніторинг та пошук нових можливостей для покращення, а також врахування людського фактору та розвиток персоналу.



**РОЗДІЛ 2**  
**МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ**  
**ВИРОБНИЧОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ**

**2.1. Концепція і сутність якості виробничого програмного забезпечення**

Для оцінки характеристик виробничого програмного забезпечення (ВПЗ) зазвичай використовують вимірювальні, реєстраційні, розрахункові, експертні, соціологічні, традиційні.

Методи вимірювання базуються на отриманні даних про характеристики ВПЗ за допомогою спеціалізованих інструментів (технологічних або програмних), які дозволяють проводити вимірювання та їхню автоматизацію. Методи реєстрації ґрунтуються на зборі інформації про характеристики ВПЗ під час тестувань або роботи шляхом запису та обліку певних подій (наприклад, моментів та кількості помилок, часу початку та завершення обчислень і т.д.), які фіксуються зовні програми за допомогою універсальних вимірювальних пристроїв. Методи обчислення базуються на отриманні даних про характеристики ВПЗ через використання теоретичних або емпіричних зв'язків. Експертні методи використовують знання та досвід експертів, які компетентні в оцінюванні характеристик ВПЗ. Соціологічні методи включають обробку спеціалізованих анкет, які містять кількісні оцінки характеристик ВПЗ соціальними групами, пов'язаними з використанням ВПЗ. Традиційні методи об'єднують набір методів кількісної оцінки характеристик ВПЗ, які були розроблені і традиційно використовуються в організаціях.

НАУ 24 60 66 000 ПЗ

<i>Виконав</i>	Глазунов Д.В.			<b>МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ВИРОБНИЧОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ</b>	<i>Літера</i>		<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Керівник</i>	Віноградов М.А.				У		25	16
<i>Консульт.</i>					УС-414 122			
<i>Норм. контр.</i>	Шевченко О.П.							

Властивості ВПЗ можна умовно поділити на дві групи (рис. 2.1): функціональні (зовнішні) та конструктивні (внутрішні). Для розробників і користувачів програми важливі певні функціональні і конструктивні властивості (наприклад, надійність, ефективність, модульність, структурність). Зазвичай, користувача (замовника) цікавлять функціональні властивості, які характеризують корисність ВПЗ. Ці зовнішні властивості, які відображають погляд користувача, визначають якість ВПЗ, тобто є його факторами. Зазначимо, що для розробників важливі не тільки зовнішні, але і внутрішні, або конструктивні властивості, від яких залежить виконання вимог до ВПЗ і його сприйняття користувачем.

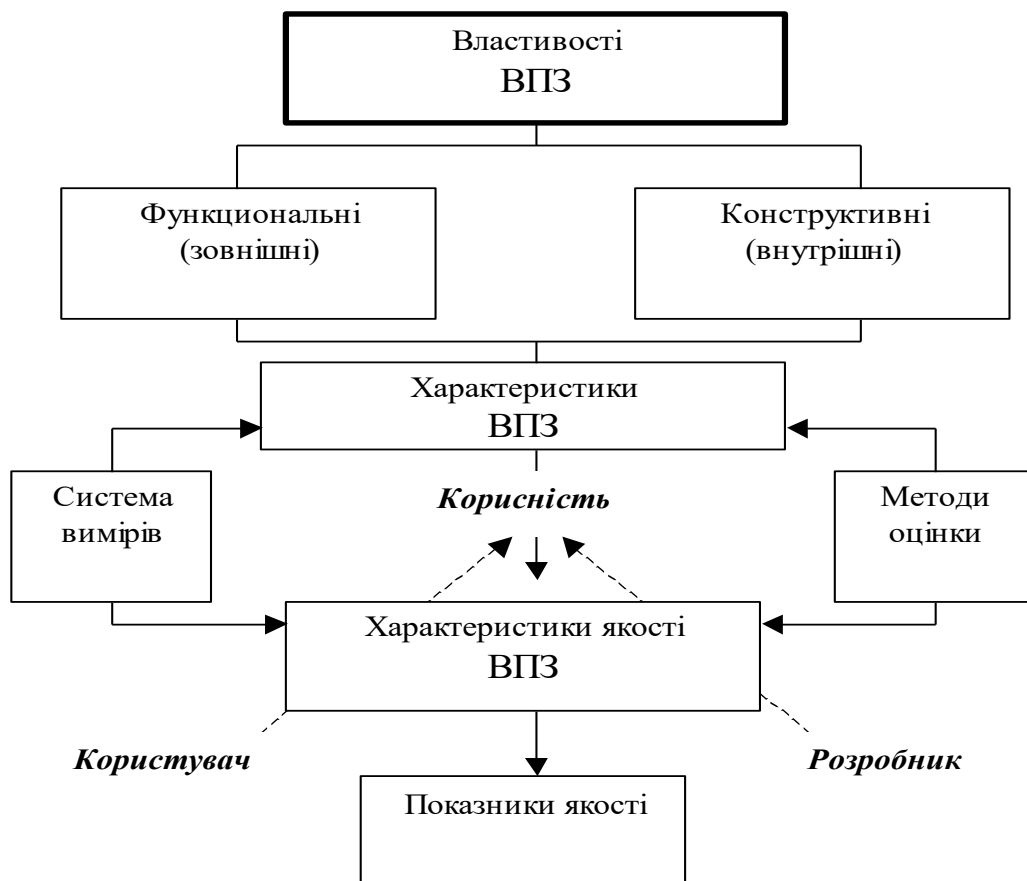


Рис. 2.1. Групи властивостей і характеристики ВПЗ

Характеристики якості представляють властивості, що визначають якість ВПЗ. Через складність кількісної оцінки характеристик якості ВПЗ, для їх оцінювання

застосовують ієрархічні системи вимірювань. Ієрархія характеристик якості складається з чинників, критеріїв, метрик та оцінних елементів. Чинники та критерії, які формують два верхні рівні ієрархії вимірювань, представляють функціональні характеристики ВПЗ, тоді як нижні рівні (метрики та оцінні елементи) відображають конструктивні характеристики, на яких базується якість ВПЗ. Вимірюваність характеристик якості забезпечується набором характеристик найнижчого рівня - оцінних елементів.

Чинником якості вважаємо властивість, що до певної міри впливає на якість ВПЗ. При оцінюванні якості беруть до уваги декілька чинників (див. рис. 2.2). Для отримання числової оцінки чинника якості застосовують один або кілька критеріїв якості.



Рис. 2.2. Чинники якості, що відображають корисність ВПЗ

Мереже орієнтоване виробниче програмне забезпечення у широкому сенсі включає в себе такі складові:

- а) операційні системи реального часу;
- б) архітектуру програмного забезпечення розподілених комп'ютерних систем;
- в) інтерфейси та протоколи доступу до мережних та термінальних вузлів;
- г) методи та засоби інтегрованого сервісу в глобальних та корпоративних мережах;
- д) компоненти телекомунікаційних технологій обміну даними.

У контексті виробничих мереже орієнтованих комп'ютерних технологій, ключовими компонентами є наступні:

а) методики та інструменти для безпечної обробки та передачі даних через відкриті канали, зокрема, канали "конструкторське бюро – виробничі підрозділи", "склад – логістичний центр" та інші;

б) методи та інструменти захисту виробничого програмного забезпечення (ВПЗ) від порушень його цілісності, розробка ВПЗ, яке є стійким до спроб його модифікації та неправомірного використання.

Без врахування специфіки ВПЗ та формулювання вимог до його стабільності як важливої складової якості в загальному розумінні, неможливо встановити вимоги до ступеня захищеності виробничої інформаційно-управляючої системи, а ще більше – оцінити ступінь загального захисту апаратних та програмних засобів обробки та передачі даних. Тому ми коротко розглянемо загальні підходи до управління якістю мереже орієнтованих комп'ютерних технологій та визначимо специфічні особливості, що є характерними для виробничих систем.

Основні принципи концепції управління якістю включають наступне:

- а) вимоги до рівня якості по кожному чиннику встановлюються базовим значенням показника якості;
- б) потрібний рівень якості забезпечується в процесі виробництва;
- в) вимірювання, оцінка та контроль рівня якості проводяться на всіх етапах життєвого циклу;

г) Управління якістю є неперервним, інформаційним і цілеспрямованим процесом впливу на програми та документацію, а також на команди розробників ПЗ з метою забезпечення необхідної якості при змінних зовнішніх і внутрішніх умовах, через прийняття управлінських рішень. Можна уточнити види управлінських рішень: повернення, перехід, випуск і т.д.

Відповідно до цієї концепції, можна стверджувати, що управління якістю в процесі розробки ВПЗ складається з трьох ключових видів активності (рис. 2.3):

а) Забезпечення якості. Це включає визначення численних організаційних процедур та стандартів, спрямованих на створення ВПЗ високої якості.

б) Планування якості. Це передбачає вибір відповідної підмножини процедур та стандартів з цієї великої кількості та їх адаптацію до конкретного проекту розробки ВПЗ.

в) Контроль якості. Це включає визначення та проведення заходів, які гарантують дотримання нормативних процедур та стандартів якості всіма членами команди розробників ВПЗ.

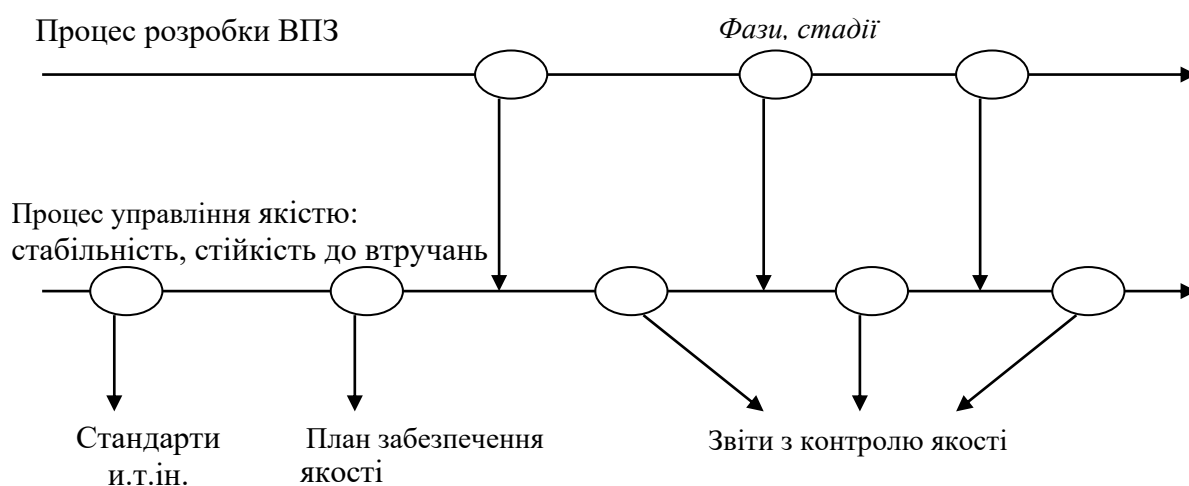


Рис. 2.3. Управління якістю і розробка ВПЗ.

Управління якістю включає можливість автономного контролю процесу розробки програмного забезпечення. Елементи проекту, що створюються під час розробки ПЗ, стають основою для контролю якості. Їх детально перевіряють на

відповідність стандартам та цілям проекту (рис. 2.3). Оскільки роботи, пов'язані з забезпеченням та контролем якості, до певної міри автономні, це дозволяє об'єктивно оцінювати процес розробки програмного забезпечення (ПЗ), що дозволяє керівництву компанії своєчасно отримувати інформацію про проблеми або труднощі, що виникають під час роботи над проектом.

Процес управління якістю слід відрізнити від процесу управління проектом, щоб не порушувати баланс між якістю створюваного ПЗ та бюджетом або графіком виконання проекту. Контроль якості повинна здійснювати незалежна команда, яка подає звіти безпосередньо керівництву замовника, оминаючи керівника проекту (менеджера проекту). При цьому визнається, що команда контролю якості повинна співпрацювати з групами розробки і нести відповідальність за якість на рівні всієї організації розробника.

Розглянемо роль та застосування вимог стандартизації і сертифікації в управлінні якістю ПЗ.

Одним з ключових елементів сучасного управління якістю є стандартизація. Згідно з визначенням Міжнародної організації по стандартизації (ISO), стандартизація - це "процес встановлення і застосування правил з метою організації в певній області на користь і за участю всіх зацікавлених сторін, зокрема, для досягнення максимальної економії з дотриманням функціональних умов і вимог безпеки". Стандартизація визначається як прийняття угоди щодо специфікації, виробництва і використання апаратних і програмних засобів обчислювальної техніки; встановлення і застосування стандартів, норм, правил і т.д.

Стандартизація виконує наступні функції:

- організація об'єктів (продукції, робіт, послуг, процесів), створених людьми в різних країнах;
- закріплення в нормативних документах оптимальних вимог до організованих об'єктів;
- встановлення правил застосування цих нормативних документів.

На міжнародному рівні стандартизація:

- забезпечує взаємозамінність елементів складної продукції;

- наближає рівень якості товарів, вироблених в різних країнах;
- сприяє взаємному обміну науково-технічною інформацією;
- сприяє міжнародній торгівлі;
- прискорює науково-технічний прогрес учасників міжнародних організацій.

Необхідність уніфікації процесу створення програмного забезпечення на глобальному рівні, відповідно до стандарту ISO/IEC 12207 (інтродукція), можна визначити так: «Програмне забезпечення є ключовим елементом інформаційних систем та традиційних сфер, таких як транспорт, оборона, охорона здоров'я та фінанси. Існує багато різних стандартів, процедур, методів, інструментів та типів операційних систем для створення та управління програмним забезпеченням. Ця розмаїтість може створювати проблеми при проектуванні та управлінні програмним забезпеченням, особливо при інтеграції програмних продуктів та сервісних програм. Стратегія створення програмного забезпечення вимагає перехід від цієї розмаїтості до загального порядку, який дозволить фахівцям, що працюють в області програмного забезпечення, «говорити однією мовою» при створенні та управлінні ПЗ. Цей міжнародний стандарт надає такий загальний порядок». Таким чином, в процесі стандартизації формуються норми, правила, вимоги, характеристики, що стосуються об'єкту стандартизації, які оформляються у вигляді регулятивного документа. Очевидно, що все вище сказане повністю застосовується до системного програмного забезпечення як виду загального призначення ПЗ. Додатково слід зазначити, що для системного ПЗ важливим є забезпечення його стабільності як від випадкових, так і від цілеспрямованих (шкідливих) впливів.

Оскільки сертифікація підтверджує відповідність діючому стандарту, без наявності стандартів неможлива і сертифікація.

Види регулятивних документів, що рекомендуються міжнародними організаціями зі стандартизації (ISO/IEC), а також прийняті в національних системах стандартизації, представлені на рис. 2.4 (стандарти, технічні умови, компіляції правил, регламенти, положення).

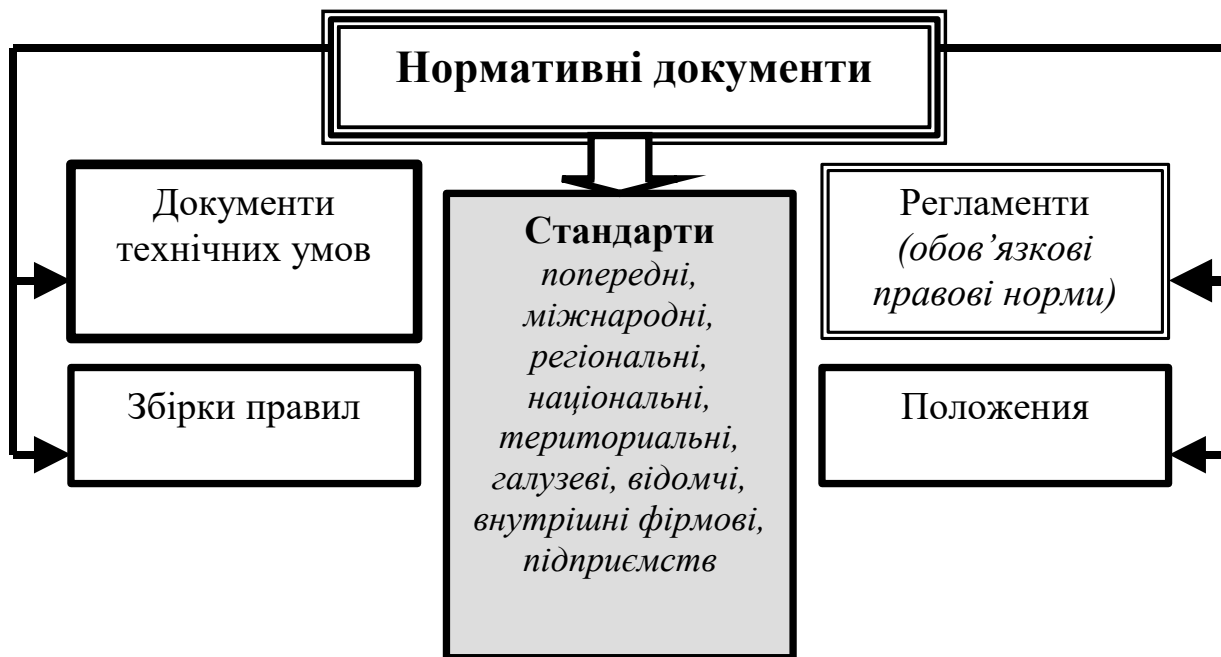


Рис. 2.4 Схема різновидів нормативних документів

Стандарт – це регулятивний документ, створений на основі загальної згоди, схвалений авторитетним органом, спрямований на досягнення найбільш ефективного упорядкування в конкретній сфері. Протокол визначає для загального та повторного використання основні принципи, правила, характеристики рекомендаційного характеру, що стосуються різних аспектів діяльності або їх результатів.

Отже, протоколи в розробці програмного забезпечення важливі з багатьох причин. Основними з них є такі:

а) стандарти збирають все найкраще з практичного досвіду створення програмного забезпечення і допомагають уникнути повторення минулих помилок;

б) стандарти забезпечують необхідну базу для процесу забезпечення якості, достатньо контролювати дотримання протоколів;

в) стандарти дозволяють організувати процес розробки, що робить розробку прозорою і зменшує витрати на навчання професійній діяльності при обертанні персоналу.



## 2.2. Математична модель процесу захисту програмного забезпечення виробничої корпоративної мережі

У математичному моделюванні процесу захисту корпоративної інформації з різними методами доступу до даних і серверів, як найбільш відповідний математичний інструментарій, слід використовувати статистичні методи, зокрема, теорію напівмарківських процесів і теорію перевірки статистичних гіпотез з інформаційною функцією втрат. У якості важливого компонента кінцевого значення інформаційної функції втрат вводиться функція складності створення програмного забезпечення, розглянута у попередніх розділах.

Ціль дослідження - створення математичної моделі зловмисника, який намагається викрасти ту чи іншу комерційну інформацію.

Математична модель зловмисника повинна дати відповідь на питання, які числові характеристики ймовірності виявлення спроб НСД протягом певного періоду часу.

Враховуючи, що завдання дослідження (декодування) програми довжиною  $N$ , написаної на певній алгоритмічній мові, за складністю подібне до того, що пише програми довжиною  $N$  біт тією ж мовою, використаємо апроксимацію рівняння часу, необхідного для створення програми, якщо відома лише довжина програми  $N$  біт. У цьому випадку середній час дослідження (декодування) програми  $T$  можна обчислити як:

$$T = \frac{N^2 \times \log_2 \eta}{4 \times S} \quad [c] \quad (2.1)$$

де:  $\eta$  – алфавіт мови тексту програми;

$S$  – число Страуда ( $S=5 \div 20$  операцій в секунду), яке вже розглядалося; тут воно характеризує кількість об'єктів, якими може оперувати зловмисник одночасно (свого роду характеристика швидкодії зловмисника, що вивчає текст програми);

$N$  – довжина тексту програми (команди + операнди) в бітах.

По Холстеду, в разі, якщо доводиться писати програму машинною мовою:

$$T \approx N^2, [c].$$

Оскільки алгоритми криптографічного захисту характеризуються високою складністю, а дії зловмисника характеризуються виснажливістю, введемо коригувальний коефіцієнт на виснажливість зловмисника. Тоді формула для  $T$  набуде такого вигляду:

$$T \approx 3N^2, [c].$$

Процес взаємодії:

- зловмисника, який аналізує систему захисту даних та оцінює ефективність захисних механізмів;
- здатність системи обробки інформації (COI) обробляти (зберігати) дані, що надійшли до неї та вимагають захисту;
- розроблена автором системи захисту даних характеризується фінальною множиною потенційних станів.

Ситуація в кожен конкретний момент  $t$  визначається тільки одним з цих умов. Через певні проміжки часу відбуваються переходи з одного стану в інший (відбувається етап ситуації).

$$S = \{S_1, S_2, \dots, S_r\}. \quad (2.2)$$

Ймовірність того, що на наступному етапі система перейде з умови  $S_i$  в умову  $S_j$ , в загальному випадку, залежить від початкового стану системи і від всіх проміжних умов, до поточного стану. Наразі найбільш досліджені послідовності, які мають Марківську властивість. В цьому випадку ймовірність переходу на наступному етапі з умови  $S_i$  в умову  $S_j$  залежить тільки від умови  $S_i$ , в якій послідовність опинилася

після попереднього етапу (поведінка системи в майбутньому залежить від її стану в даний момент і не залежить від того, яким способом вона опинилася в цьому стану).

Можна припустити, що:

- ймовірність одночасної зміни умов два і більше елементів (наприклад, відбулася подія, що асоціюється із спробою НСД і звільнення системи від даних, і тому подібне), настільки мала, що нею можна знехтувати;
- ймовірність переходів з одного стану в інший не залежить від часу;
- за нескінченно малий проміжок часу неможливий перехід в деякий «сусідній» стан і повернення з нього.

Отже, цей процес взаємодії може бути математично описаний за допомогою напівмарковського процесу з матрицею імовірностей переходів абсорбуючого ланцюга (абсорбуючий стан відображає той момент, коли зломисник вважає, що він розуміє (дешифрує) систему захисту даних і готовий до практичного застосування спроби несанкціонованого доступу до захищеної інформації):

$$P = \begin{vmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1r} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2r} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{r1} & P_{r2} & \dots & P_{rr} \end{vmatrix}$$

де  $S_I$  – безліч неперворотних станів напівмарковського процесу;

$\mathbf{N} = \|\|n_{ij}\|\|$  – фундаментальна матриця вкладеного поглинаючого марковського ланцюга;

$m_i$  – середній час однократного перебування напівмарковського процесу в неперворотних станах,  $S_i \in S$ ;

$\mathbf{N}^* = \|\|n_{ij}^*\|\|$  – матриця середніх часів  $n_{ij}^*$  перебування напівмарковського процесу в стані  $S_i \in S$  до поглинання за умови, що початковим був стан  $S_i \in S$ ;

$\mathbf{T}^* = \|\|t_i^*\|$  – матриця-рядок середніх часів  $t_i^*$  перебування напівмарковського процесу в множині неперворотних станів при початковому стані  $S_i \in S$  до переходу в сусідній стан;

$t^*$  – середній час перебування напівмарковського процесу в безлічі неперворотних станів при довільному початковому розподілі імовірності станів  $P(0)$ .

У конкретному випадку, дана структура формально представляє собою систему обробки інформації (СОІ), на вхід якої надходить дані (файли), що мають бути захищені. Потік файлів характеризується пуасонівським розподілом з параметром  $\beta$ .

Файли перебувають в СОІ протягом певного періоду, час знаходження файлу в СОІ характеризується параметром  $\gamma$ .

«Інтерес» зловмисника щодо файлів, об'єктом захисту, характеризується потоком спроб НСД з параметром  $\lambda$ .

Чисельні значення імовірності:

- $P_1$  – ймовірність виявлення спроби НСД в моменти часу, коли в системі немає даних, що захищаються;
- $P_2$  – ймовірність виявлення спроби НСД на етапі аутентифікації прийнятого файлу;
- $P_3$  – ймовірність виявлення спроби НСД на етапі обробки (зберігання) файлу, що надійшов.

Оскільки дана структура характеризується абсорбуючим станом, тобто станом, коли зловмисник зрозумів, що для нього немає секретів і він готовий реалізувати атаку, то математичне вираження середнього часу безпечної роботи досліджуваної структури можна визначити як середній час перебування даної структури в множині непервернених станів. Відповідно до [21] середній час  $t$  перебування досліджуваного процесу в множині непервернених станів може бути знайдений як добуток матриць:

$$t = \mathbf{P}(0)\mathbf{N}^* \mathbf{E}, \quad (2.3)$$

де:  $P(0)$ . матриця-вектор початкового стану, з якого почався досліджуваний

процес;

$\mathbf{N}^* = \| \| n_{ij}^* \| \|$  . матриця середніх часів  $n_{ij}^*$  перебування напівмарковського процесу в стані  $S_i \in S$  до поглинання за умови, що початковим був стан  $S_j \in S$ ;

$\mathbf{N}^* = \| \| n_{ij} m_j \| \|$ ;

$m_j$  – середній час однократного перебування напівмарковського процесу в неповоротних станах  $S_i \in S$ ;

$n_{ij}$  . елемент фундаментальної матриці  $\mathbf{N} = \| \| n_{ij} \| \|$ , який виходить з виразу:

$$\mathbf{N} = (\mathbf{I} - \mathbf{Q})^{-1};$$

де  $\mathbf{I}$  – одинична діагональна матриця;

$\mathbf{Q}$  – матриця переходів в неповортній безлічі станів;

$\mathbf{E}$  – вектор-стовпець одиничних елементів.

Отже, з метою визначення середнього періоду стабільної роботи аналізованої системи потрібно виконати наступні кроки:

а) із матриці перехідних станів аналізованого процесу  $\mathbf{P}$  отримати матрицю перехідних станів у незворотній множині станів  $\mathbf{Q}$  і  $m_j$  – середні періоди одноразового знаходження напівмарковського процесу в незворотних станах  $S_i \in S$ ;

б) отримати фундаментальну матрицю  $\mathbf{N} = \| \| n_{ij} \| \|$  згідно виразу  $\mathbf{N} = (\mathbf{I} - \mathbf{Q})^{-1}$ ;

в) отримати матрицю середніх часів  $n_{ij}^*$  перебування напівмарковського руху в стані  $S_i \in S$  до поглинання при умові, що початковим була позиція  $S_j \in S$ ;

г) визначити вектор-рядок початкової конфігурації, з якої зініціювався аналізований процес;

д) застосувавши формулу  $t = \mathbf{P}(0)\mathbf{N}^*\mathbf{E}$  тримати числове значення середнього періоду надійної роботи захищеної системи.

Визначимо математичний формулу для визначення періоду часу, протягом якого ймовірність відключення системи безперебійного живлення (СБЖ) до даних, що мають захист, не менше заданого рівня. Формула (2.3) дозволяє визначити середній час безпомилкової роботи захищеної системи. Однак, система захисту даних повинна

бути використана. Використання має включати перевірку ефективності системи захисту даних після досягнення системою певного рівня надійності. Ймовірність відключення СБЖ до даних, що мають захист, менше заданого.

Наблизимо функцію розподілу часу, протягом якого надійність системи захисту даних не менше заданого, а також функцію розподілу часу безпомилкової роботи експоненціальними розподілами з параметрами  $s$  і  $\mu$  відповідно.

Оскільки імовірність виключення НСД –  $P_{нсд}$  на інтервалі, розподіленому по експоненціальному закону з параметром  $s$  складе

$$P_{нсд} = \int_0^{\infty} e^{-st} dS(t) = \frac{s}{s + \mu}$$

тоді  $T_0$  – середній час безпечного функціонування системи, що захищається, з імовірністю виключення НСД не нижче  $P_{нсд}$ , можна знайти як:

$$T_0 = \frac{1}{s} = \frac{t(1 - P_{i\text{ня}})}{P_{i\text{ня}}} \quad (2.4)$$

З формули (2.4) стає очевидним, що після завершення періоду  $T_1$  для забезпечення надійності розробленої системи безпеки даних необхідно провести аналіз працездатності системи безпеки даних з метою відновлення надійності до системи безпеки даних. Методологія проведення аналізу повинна бути достатньо ефективною.

Як спосіб відновлення надійності до системи безпеки даних може бути і реалізація наступної версії технологічного інструменту безпеки даних. Таким чином, злочинець стикається з необхідністю витрати значних зусиль для освоєння кожного нового технологічного інструменту безпеки.

Отже, для оцінки середнього часу між проведеннями регламентних робіт, потрібно:

- згідно з формулою (2.3) отримати числове значення середнього часу безпечної роботи системи, яка захищається;
- визначити потрібний рівень безпеки даних нижньою межею довіри до системи захисту даних  $P_{нсд}$ ;
- за допомогою формули (2.4) отримати числове значення періоду часу, протягом якого гарантується безпека програмного забезпечення не нижче встановленої нижньої межі.

### 2.3. Висновки до розділу 2

Висновки наукового дослідження свідчать про відсутність уніфікованої метрики, яка б надавала загальний підхід до числової оцінки якості програмного забезпечення. Методики вимірювання та оцінювання якості пропонують ряд метрик, що стають основою для прийняття рішень під час розробки, замовлення та супроводу програмного забезпечення.

Історично спочатку було виділено декілька універсальних та неповних метрик, заснованих на таких етапах:

- визначення множини характеристик, які є важливими для програмного забезпечення, можуть бути просто виміряні та не перетинаються;
- вибір потенційних метрик, які вимірюють ступінь задоволення вказаними характеристиками;
- дослідження характеристик та пов'язаних з ними метрик для визначення кореляції, значущості, ступеня автоматизації;
- вивчення кореляції між метриками, ступеня перекриття, залежностей та недоліків.
- уточнення множини метрик в загальну множину метрик, які в сукупності адекватно відображають якість програмного забезпечення;

– коригування кожної метрики в кінцевій множині в контексті визначеної множини характеристик та метрик.

Стандартизація та сертифікація програмного забезпечення сприяє формуванню єдиних методів та норм управління якістю на різних рівнях стандартизації: міжнародному, національному, регіональному, відомчому, виробничому тощо.

Метрична теорія програм при їх використанні в технічних, зокрема, виробничих системах дозволяє використовувати математичні моделі для визначення числових значень характеристик програм, включаючи якість.



**РОЗДІЛ 3**  
**АНАЛІЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК МЕРЕЖНОГО**  
**ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ**

**3.1. Дослідження впливу зовнішніх факторів на основні характеристики мережного програмного забезпечення**

Оцінювання ключових параметрів мережної інфраструктури, зокрема, мережних операційних систем – які вже використовуються, а особливо тих, що розробляються – є складним та багатограним завданням. Воно ґрунтується на дослідженні внутрішніх та зовнішніх чинників впливу. Внутрішні чинники, що впливають на параметри інфраструктури, дуже різноманітні, іноді – протирічливі: від апаратних збоїв до помилок програмного забезпечення та випливаючи з цього затримок та втрат інформації. В результаті, для опису та отримання кількісних оцінок доводиться використовувати різні (переважно – ймовірнісні) методи.

Перевагами статистичного підходу є повна універсальність математичних інструментів та потенційна можливість отримання асимптотичних оцінок для будь-яких розподілів ймовірностей. Однак, поряд з цими перевагами є й недоліки, характерні для всіх евристичних підходів (або підходів на основі "чорного ящика"):

- оцінка показників продуктивності ПЗ отримується в результаті статистичного аналізу даних, які накопичуються користувачами лише під час дослідницької експлуатації ПЗ, що не сприяє репрезентативності вибірки;

				НАУ 24 60 66 000 ПЗ			
<i>Виконав</i>	Глазунов Д.В.			<b>АНАЛІЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК МЕРЕЖНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ</b>	<i>Літера</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Керівник</i>	Віноградов М.А.				У	41	15
<i>Консульт.</i>					УС-414 122		
<i>Норм. контр.</i>	Шевченко О.П.						

- неможливість проведення стрес-тестів, експериментів з створенням пікового навантаження, нештатних ситуацій і т.д;
- оцінки часової ефективності ПЗ для систем реального часу "розмиваються" (мають низьку вірогідність) через об'єктивні фактори зростання складності ПЗ та протирічливості застосованих архітектурних рішень.

Для оцінки впливу зовнішніх чинників пропонуються евристичні, графічні та аналітичні методи:

- аналіз на основі методу головних компонентів (principal-component - PCA);
- метод аналізу на основі ескізів (sketch-based method);
- метод аналізу сигналів (кодованих повідомлень).

Спроба порівняти ці методи може бути складною через наступні причини:

а) існує велика кількість типів аномалій. Оціночні дослідження, зазвичай, фокусуються лише на певній підмножині аномалій; різні дослідження використовують різні набори даних без об'єктивного обґрунтування;

б) немає жодного методу, який би мав значні переваги над іншими у виявленні різних типів аномалій [21, 22];

в) незважаючи на постійні спроби оптимізації кожного методу, значних результатів все ще не досягнуто;

г) загалом, графічний метод на основі ескізів вимагає менше обчислювальних ресурсів та пам'яті для зберігання проміжних результатів, але інші методи іноді дають кращі показники виявлення.

Всі евристичні методи, по суті, реалізуються за принципом "спроб та помилок". Через відсутність регулярного математичного підґрунтя, принципово неможливо отримати достовірні оцінки, навіть асимптотичні.

Єдиною стратегією подолання цього обмеження є статистичні техніки. У дослідженні [19] було розроблено методологію ймовірнісного вимірювання та прогнозування кількості помилок програмного забезпечення, базуючись на інтегрованій метриці складності програмних модулів. Отримані оцінки були

проведені для досить вузького спектра ймовірнісних розподілів, зокрема, для логістичного та нормального розподілів помилок. Це повністю обґрунтовується складністю отримання результатів у закритій формі для довільних статистичних розподілів. На наш погляд, треба досліджувати інші підходи, наприклад, за допомогою інформаційно-ентропійних критеріїв [20].

### **3.2. Кількісний аналіз основних характеристик мережного програмного забезпечення**

Сучасні інформаційно-комунікаційні технології відрізняються значною складністю і високою вартістю. В результаті цього, евристичні методики створення архітектури, визначення ключових конструктивних та експлуатаційних характеристик і оцінювання параметрів поступово заміщуються систематичними методами аналізу та синтезу.

Якщо раніше при впровадженні комп'ютерних мереж достатньо було застосовувати інтуїтивне мислення та здоровий глузд, то тепер стає необхідним володіти математичними інструментами, які дозволяють обчислити оптимальну структуру окремих сегментів та пристроїв, іноді навіть форму всієї мережі в цілому. У складних сучасних завданнях за допомогою інтуїції та "фізичної інтуїції" можна створити лише досить середні структури, які, як правило, можуть бути замінені на більш вдосконалені, якщо використати системний теоретичний підхід.

Необхідно використовувати, перш за все, математичні методи синтезу, обчислення та проектування, враховуючи особливості комп'ютерних мереж. З часом вони стають все більш значущими.

Серед теорій, які допомагають у цих обчисленнях, слід в першу чергу вказати теорію масового обслуговування, теорію оптимального та адаптивного керування, лінійної та нелінійної фільтрації, а також інші розділи математичної статистики, теорію графів, мереж, теорію інформації тощо.

На сучасному етапі відзначається значний інтерес до методики дослідження та оптимізації комп'ютерних та інтегрованих мереж, "розуміння", "конвертації",

формування так званих "мереж нової ери" або "мереж майбутнього", до включення в комп'ютерні мережі систем керування, які "адаптуються", "саморегулюються", "навчаються" і т.д. Немає проблеми з недостатнім числом прикладів таких систем, розробок різноманітних протоколів, технологій, проектів та пов'язаних з ними думок, реалістичних або фантастичних. Більш складною є систематизація в цій галузі знань, освітлення питання про роль математичного апарату теорії мереж у задачах створення мереж, і, нарешті, розробка обґрунтованої термінології. Навіть роботи провідних спеціалістів у цій області страждають від прогалин у зазначених аспектах.

Іншим важливим питанням є розробка базових математичних методів і рівнянь, які були б зручними для вирішення конкретних практичних мережних завдань.

Представлення мережі будь-якої величини у вигляді детермінованої системи і опис її відповідними рівняннями з детермінованими параметрами приведе до досить грубого, практично непридатного результату з наступних причин.

По-перше, потрібно мати повну апріорну інформацію про параметри і стан мережі в кожний момент. Таке завдання є практично неможливим у більшості випадків.

По-друге, відмови обладнання, незвичайні обставини, порушення в роботі мережі, перевантаження через коливання мережної та обчислювальної навантаження є принципово випадковими подіями, які ми не можемо контролювати і якими неможливо керувати - їх можна тільки прогнозувати з певною точністю.

По-третє, навіть у ідеальному випадку наявності повної апріорної інформації про параметри, структуру і миттєвий стан мережі ці дані будуть практично безцінні. Системи рівнянь, якими описується мережа, матимуть порядок, який можна порівняти з числом мережних і термінальних вузлів. Для чисельного розв'язання такої системи рівнянь в реальному часі потрібний практично недосяжний обсяг обчислювальних ресурсів. Більше того, можна стверджувати, що похибки обчислень будуть неприпустимо великі, і отриманий результат буде абсолютно непридатний. Тому в даний час тільки статистичні методи опису мереж, процесів обміну даними, синтезу структури мережі і оцінки параметрів, управління мережами можуть давати

результати задовільної точності. При цьому і потрібні обчислювальні ресурси виявляються прийнятними.

При створенні систем виявлення ризиків для роботи комп'ютерних пристроїв та мереж, історично використовувались детерміновані методи аналізу. Доки кількість можливих загроз була відносно невеликою, детерміністський підхід був ефективним. Наприклад, в найбільш продуманих антивірусних програмах аналіз відомих шаблонів вірусів проводився майже в реальному часі. Однак з часом кількість вірусів та інших шкідливих програм (далі - вірусів) зростає в геометричній прогресії. Для забезпечення роботи антивірусних програм, аналізу файлів і моніторингу комп'ютера в реальному або хоча б в квазіреальному часі, коли користувач не відчуває затримок в роботі комп'ютера або мережі в цілому, потрібний все більший обсяг обчислювальних ресурсів. Рано чи пізно ці вимоги стануть неприйнятними, оскільки теоретично верхньої межі числа вірусів не існує.

Ще більш серйозним недоліком детерміністського підходу є те, що до внесення шаблону нового вірусу в базу даних антивірусної програми комп'ютер залишається вразливим (проблема так званого "експорту нульового дня"). Найчастіше бази даних оновлюються вже після того, як значній групі користувачів завдано збитків. Іноді ці збитки є величезним, а іноді - взагалі неприйнятним (наприклад, для систем оборони, енергетики та їм подібних). По суті, захист завжди на крок чи навіть на кілька кроків відстає від активності джерел загроз, а виявлення і запобігання знову виникаючих загроз йде методом «проб і помилок».

Аналогічна ситуація спостерігається і в області захисту від неавторизованого доступу (атак, втручання). Основними елементами традиційних систем виявлення втручання є методи аналізу сигнатур та/або аналізу протоколів. Обидва методи мають свої плюси і мінуси. Зазвичай використовуються комбіновані системи виявлення втручання з одночасним аналізом сигнатур і протоколів, формуванням правил обробки специфічного (аномального, підозрілого) трафіку і так далі. Проте і в цьому випадку захист перебуває в режимі пасивного очікування нових загроз. Після виявлення цих загроз, зазвичай шляхом методу проб і помилок, модифікуються бази даних сигнатур (протоколів) для вжиття адекватних заходів захисту. І так само, як в

антивірусних програмах, через нескінченне збільшення обсягу цих баз даних все більше обчислювальних ресурсів витрачається на потреби захисту. Таким чином, ефективність детермінованих систем виявлення втручань поступово зменшується.

Раціональним рішенням у даній ситуації є перехід до статистичних методів аналізу загроз та статистичного синтезу систем захисту.

Загрози реалізуються через втручання в інформаційну (інформаційно-обчислювальну) систему або систему керування. Комп'ютерну мережу також можна віднести до інформаційно-обчислювальних систем спеціального типу, до складу якої входять підмережа сигналізації, підсистеми моніторингу, аналізу та керування. Далі під втручаннями в мережу будемо розуміти будь-які дії, які можуть призвести до порушень нормальної роботи - від вірусів і шкідливих програм до атак на мережу та її компоненти.

При вирішенні завдань статистичного аналізу і синтезу необхідно визначити певну функцію спостережуваної реалізації випадкового процесу (яку називають статистикою процесу). На основі результатів дослідження формується правило перевірки статистичної гіпотези. Зазвичай вибирають функцію такого виду, за допомогою якої здійснюється редукція даних без втрати апріорної інформації. Ця функція називається достатньою статистикою.

Як основні параметри для аналізу використовуються первинні та комбіновані моменти розподілу - середнє значення, дисперсія, вищі моменти, кореляційні та регресійні функції. Мінімальний набір характеристик процесу, що використовуються при розгляді достатньої статистики, залежить від потрібної точності. Вона не залежить від об'єму даних, накопичених раніше, які в подальшому використовуються як апріорні відомості про результуючі характеристики випадкового процесу та статистичних гіпотез. Варто відзначити, що не завжди доцільно прагнути до максимально можливої точності статистичних оцінок. При вирівнюванні статистичних рядів нераціонально використовувати моменти вище четвертого порядку, оскільки точність обчислення моментів зі збільшенням порядку значно знижується [17].

У більшості практично значущих ситуацій можна обмежитися врахуванням першого та другого первинних моментів, оскільки, чим складніша система, чим більше в ній каналів обслуговування, тим точнішими стають наближені формули, отримані за допомогою марковської теорії, яка, як відомо, працює з нормальними випадковими процесами, що мають експонентну кореляційну функцію. Крім того, гауссівське наближення може бути практично виправданим ефектом нормалізації законів розподілу в складних динамічних системах. Цей ефект базується на центральній граничній теоремі теорії ймовірностей.

Звичайно, як і в будь-яких задачах з ймовірностями, включаючи задачі перевірки статистичних гіпотез, можливі випадкові помилки оцінювання. Виникає проблема вибору критеріїв прийняття рішень, встановлення граничних рівнів, обґрунтування помилок I та II роду. Це ціна, яку потрібно заплатити за перехід до мінімальних достатніх статистик, незалежність від об'ємів вибірки, низьку чутливість до відхилень статистичних характеристик від апріорних даних та відносно високу ефективність виявлення вперше виникаючих загроз.

В якості математичних моделей ризиків використовують різноманітні показники відхилень у функціонуванні обладнання, мережевих операційних систем, неправильностей мережного трафіку, підвищення активності окремих мережних вузлів та інших незвичайних подій. Аналогічно створюють і моделі стандартної роботи комп'ютера, програмного забезпечення і мережі, які є її складовими. У математичній системі виявлення вторгнень категорії показників нормальної і ненормальної поведінки захищеного об'єкта постійно адаптуються з урахуванням накопиченої інформації.

Задача виявлення вторгнень розв'язується як завдання перевірки простої гіпотези (стандартна робота при відсутності шкідливих дій) проти складної альтернативи (наявність одного або декількох показників вторгнення). Для вирішення лише завдання виявлення вторгнень складну альтернативу можна спростити наступним способом. Нехай  $p(y|\mu,1)$  – умовна щільність ймовірностей спостережуваного процесу для ситуації  $\theta = 1$  (присутні один або кілька показників неправильності), яка залежить від параметра  $\mu \in \Omega_1 \subset \Omega$ , який міститься у визначеній області  $\Omega_1$ .

Відповідно,  $p(y|\aleph,0)$  – умовна щільність спостережуваного процесу для випадку  $\theta=0$  (ознаки аномалії відсутні), що залежить від параметра  $\aleph \in \Omega_2 \subset \Omega$ , який належить заданій області  $\Omega_2$ . Параметри  $\mu$  та  $\aleph$  вважаються апіорі невідомими. Область  $\Omega_1$  значень параметра  $\mu$  і область  $\Omega_2$  значень параметра  $\aleph$  є підпросторами загального простору  $\Omega$  спостережуваних значень і в загальному випадку є такими, що перетинаються.

Байєсівське (відносно  $\mu$  та  $\aleph$ ) розв'язання даної задачі полягає в обчисленні відношення правдоподібності і порівнянні з порогом, який може вибиратися за різними статистичними критеріями. При байєсівському підході параметри  $\mu$  та  $\aleph$  інтерпретуються як випадкові величини з відомими апіорними розподілами, зокрема, щільностями ймовірностей  $p_0(\mu)$ ,  $p_0(\aleph)$ , (якщо  $\mu$ ,  $\aleph$ , - безперервні величини).

Усереднивши умовні щільності ймовірностей  $p(y|\mu,1)$  і  $p(y|\aleph,0)$  по апіорним ймовірностям  $p_0(\mu)$  та  $p_0(\aleph)$  відповідно, отримаємо умовні щільності ймовірностей:

$$p(y|1) = \int_{\Omega_1} p(y|\mu,1)p_0(\mu)d\mu \quad (3.1)$$

$$p(y|0) = \int_{\Omega_2} p(y|\aleph,0)p_0(\aleph)d\aleph, \quad (3.2)$$

Вони залежать від невизначеного параметра, який може мати лише одне з двох можливих значень ( $\theta=0$  та  $\theta=1$ ), а отже, це відноситься до ситуації перевірки простої гіпотези проти простої альтернативи.

У разі дискретних параметрів  $\mu$  й  $\aleph$  замість інтегрування за формулами (3.1 – 3.2) обчислюється лінійна згортка умовних ймовірностей  $p(y|\mu,1)$  і  $p(y|\aleph,0)$  з вагами, рівними апіорним ймовірностям параметрів  $\mu$  й  $\aleph$ .



Якщо маємо попередню інформацію про розподіл значень параметра, що оцінюється, то найефективнішою оцінкою буде та, при якій вагова сума умовних ймовірностей є мінімальною. Згідно з цим, різниця між оцінкою та реальним значенням параметра дорівнює нулю. Припускається, що при отриманні найефективнішої оцінки умовні втрати будуть мінімізовані.

З посиленням абсолютного значення відхилення оцінки від нуля, втрати також збільшуються. У практичних випадках приймається, що при точному оцінюванні втрати дорівнюють нулю, а при відхиленнях будь-якого характеру втрати є позитивною функцією величини відхилення. Залежність величини втрат від величини відхилення називається функцією втрат  $C(\lambda, s)$ , де  $s$  – істинне значення параметра,  $\lambda$  оцінка параметра [18].

### **3.3. Темпоральні характеристики реально-часових операційних систем**

Давайте розглянемо ключові відмінності між операційними системами реального часу (ОСРЧ) та операційними системами загального призначення (ОС).

Як було зазначено раніше, ОС, особливо багатокористувацькі UNIX-подібні системи, спрямовані на ефективне розподілення ресурсів комп'ютера між користувачами та задачами (так звані системи поділу часу). У ОСРЧ ця проблема відійде на другий план. Основна мета ОСРЧ - вчасна відповідь на події, що відбуваються в об'єкті управління.

Інша відмінність полягає в тому, що використання ОСРЧ завжди пов'язане з конкретним об'єктом і подіями, що відбуваються в ньому. Система реального часу, як апаратно-програмний комплекс, включає датчики для збору даних про параметри і стан об'єкта, модулі введення-виведення, які перетворюють показники датчиків на цифровий формат, придатний для обробки на комп'ютері, і, нарешті, комп'ютеризовану систему управління. ОСРЧ спрямована на обробку зовнішніх подій. Саме це призводить до глибоких відмінностей (порівняно з ОС) в структурі системи, функціях ядра, конструкції системи введення-виведення.

Виділяють два типи систем реального часу - системи жорсткого реального часу та системи м'якого реального часу.

Системи жорсткого реального часу не допускають затримок відповіді за жодних обставин. Приклади систем жорсткого реального часу - бортові системи управління, системи аварійного захисту, реєстратори аварійних подій.

Системи м'якого реального часу відрізняються тим, що затримка відгуку не є критичною, хоча може призвести до додаткового споживання ресурсів і зниження ефективності системи в цілому. Прикладом може бути робота комп'ютерної мережі. Якщо система не встигла обробити наступний прийнятий пакет, це призведе до таймауту на передавачі і повторної відправки. Дані при цьому не втрачаються, але ефективність мережі знижується.

Надалі під операційною системою реального часу будемо мати на увазі таку систему, яка може бути застосована для створення систем жорсткого реального часу. Зазначимо також, що більшість промислових ОС як жорсткого, так і м'якого реального часу є 16-бітними (іноді – 32-бітними) [15].

ОС РЧ повинні відповідати на різні типи внутрішніх і зовнішніх подій (періодичних і неперіодичних). Важливо підкреслити, що належність системи до класу СРВ не пов'язана з її продуктивністю. Вихідні вимоги до часу відгуку системи та іншим часовим параметрам визначаються або технічним завданням на систему, або просто логікою її роботи. Інтуїтивно зрозуміло, що продуктивність СРВ має бути тим вище, чим вище швидкість процесів на об'єкті контролю і управління.

Ключовим показником ефективності ОС РЧ, який наводять виробники систем реального часу, є час відгуку системи на переривання (interrupt latency). В даний час не існує стандартних методик вимірювання цього параметра, хоча і розробляються методи порівняння операційних систем реального часу, які включають в себе і розробку методики тестування.

Не менш важливим параметром є розмір системи виконання, а саме загальний розмір мінімально необхідного для роботи програмного комплексу (ядро, системні модулі, драйвери і т.д.).

З поліпшенням ОС РЧ значення цього параметра зменшується, проте він входить в число ключових параметрів, і виробники систем реального часу прагнуть до того, щоб розміри ядра і обслуговуючих модулів системи були мінімальні.

Здатність працювати з постійною пам'яттю (ROM) також є важливим критерієм. Операційні системи реального часу, що працюють на ROM, є вбудованими, компактними, відрізняються високою стабільністю і зменшеним споживанням енергії, оскільки не потребують зовнішніх носіїв даних.

Основними інструментами для створення сценарію роботи системи є система пріоритетів процесів (завдань) і алгоритми планування (диспетчеризації) в операційних системах реального часу.

У багатозадачних ОС універсального призначення зазвичай використовуються різні варіації алгоритму кругової диспетчеризації, які базуються на концепції неперервного кванту часу ("time slice"), що надається процесу для виконання. Планувальник після завершення кожного кванту часу переглядає чергу активних процесів і приймає рішення, кому передати контроль, базуючись на пріоритетах процесів. Пріоритети можуть бути статичними або змінюватися з часом - це залежить від алгоритмів планування в даній ОС.

У чистому вигляді алгоритми кругової диспетчеризації в операційних системах реального часу непридатні. Основна перешкода-недільний квант часу, протягом якого процесор зайнятий лише одним процесом. Планувальники ж операційних систем реального часу мають можливість змінити процес до закінчення "time slice", якщо в цьому виникла необхідність. Один з можливих алгоритмів планування при цьому- "пріоритетний з витісненням".

Інший набір механізмів реального часу відноситься до засобів синхронізації процесів і передачі даних між ними. Для операційних систем реального часу характерна розвиненість цих механізмів. У кожній ОС РЧ є, принаймні, один швидкий механізм передачі даних від процесу до процесу.

Для систем з жорстким часовим регламентом необхідні такі інструменти, як засоби роботи з таймерами, тому розвиненість засобів роботи з таймерами - необхідний атрибут ОС РЧ.

В кінцевому підсумку, ключовим аспектом ефективності операційних систем реального часу (ОС РЧ) є масштабованість. Використовуючи ці ОС, можна створювати як компактні реально-часові системи, так і обширні серверні системи.

Тут наведені лише основні, обов'язкові показники, що характеризують операційні системи реального часу. Для більш глибокого аналізу можливостей операційних систем реального часу наведені приблизні числа, які дають уявлення про швидкість реакції та відповідних операційних системах (див. табл. 3.1). Ця таблиця створена на основі експериментальних даних, з яких можна зробити висновки про рівень реагування на зовнішні події різних операційних систем реального часу .

Таблиця 3.1

Час реакції	Використовувані ОС
Менше 10 мкс	Тільки ОС РЧ, але навіть вони можуть не задовольняти поставленим вимогам - необхідний вибір між схемним і програмним рішеннями
10 – 100 мкс	Операційні системи реального часу ( <i>QNX</i> та ін.)
100 мкс – 1 мс	<i>ОС РЧ RTAI, RT LINUX</i> , розширення реального часу для <i>Windows</i>
1 мс	Можна застосовувати <i>ОС Linux</i> и <i>Windows</i> , але не для систем критичного застосування, де затримки реакції можуть привести до важких наслідків

Розглянемо більш глибоко операційну систему жорсткого реального часу на прикладі *RTLinux*, яка базується на принципах мікроядра та обміну повідомленнями [14]. Система виконана у формі набору незалежних (але взаємодіючих через обмін повідомленнями) процесів різного рівня (менеджери та драйвери), кожен з яких виконує певний тип служби.

За допомогою такого підходу можна досягти декількох ключових переваг:

- прогнозованість, що вказує на її придатність для завдань із строгим реальним часом; жодна версія UNIX не може досягти аналогічного рівня,

оскільки код ядра надто об'ємний. Будь-який системний виклик з обробника переривань в UNIX може спричинити непередбачувану затримку (як і в Windows);

- масштабованість та ефективність, які забезпечуються оптимальним використанням ресурсів і підкреслюють її придатність для вбудованих систем;
- розширюваність та надійність одночасно, оскільки написаний драйвер не потребує компіляції в ядро, що знижує ризик виклику нестабільності системи.

FreeRTOS - це реально-часова операційна система, заснована на мікроядерній архітектурі, що займає приблизно 10 Кб пам'яті. Основний механізм взаємодії між процесами в цій системі - це обмін повідомленнями. Ця особливість дозволяє процесам з 32-бітними та 16-бітними кодами взаємодіяти в 32-бітному середовищі, передаючи повідомлення між будь-якими процесами, незалежно від того, чи знаходяться вони на одному комп'ютері чи на різних вузлах мережі. Мережевий протокол системи відкритий і прозорий, включаючи його структуру. Він включає пакети, які використовуються для передачі повідомлень. Мережевий адміністратор ідентифікує ці пакети і перенаправляє їх до мікроядра, яке подальше перенаправляє їх до шини локальних повідомлень. FreeRTOS розпізнає не тільки пакети повідомлень від процесів FreeRTOS, але і TCP/IP протоколи та інші.

Для реально-часових операційних систем, які використовуються в критичних застосуваннях, ключовим елементом є диспетчеризація. Основним напрямком порівняння різних методів диспетчеризації є визначення середнього часу очікування запиту в черзі або середнього часу перебування в системі.

Припустимо, що запити належать одному з  $P$  різних класів пріоритетів [36], позначених індексом  $p = 1, 2, 3, \dots, P$ . Кожному запиту, який знаходиться в системі в момент часу  $t$ , приписується значення деякої пріоритетної функції  $q_p(t)$ . Чим вище значення цієї функції, тим вище пріоритет запиту. Кожного разу, коли приймається рішення про вибір запиту для обслуговування, вибір робиться на користь запиту з найвищим значенням пріоритетної функції. У найпростішому випадку як пріоритетна

функція використовується просто значення  $p$ . В такому випадку пріоритет запиту тим вищий, чим вищий номер класу приналежності він має.

Розглянемо модель сервісу загального типу  $M/G/1$ . Припустимо, що запити з пріоритетного класу  $p$  формують потік із середньою інтенсивністю  $\lambda_p$  запитів на секунду. Час обробки кожного запиту з цього класу визначається незалежно відповідно до розподілу з щільністю ймовірності  $w_p(x)$   $w_p(x)$  із середнім значенням:

$$\bar{x}_p = \int_0^{\infty} x w_p(x) dx.$$

Введемо наступні визначення:

$$\lambda = \sum_{p=1}^P \lambda_p, \quad \bar{x} = \sum_{p=1}^P \frac{\lambda_p}{\lambda} \bar{x}_p, \quad \rho_p = \lambda_p \bar{x}_p, \quad \rho = \lambda \bar{x} = \sum_{p=1}^P \rho_p.$$

Тут  $\rho$  - частка періоду, протягом якого обчислювальний ресурс зайнятий ( $\rho < 1$ ), а кожен з парціальних коефіцієнтів  $\rho_p$  - частка періоду, протягом якого обчислювальний ресурс зайнятий виконанням завдань з пріоритетної категорії з індексом  $p$ .

Якщо задача в процесі виконання може бути видалена з обчислювального ресурсу і повернута в чергу при надходженні завдання з більш високим пріоритетом, то стверджують, що система функціонує з абсолютним пріоритетом; якщо виконання будь-якого завдання, що знаходиться в обчислювальному ресурсі, не може бути перервано, то стверджують, що операційна система реального часу функціонує з відносним пріоритетом.

### 3.4. Висновки по розділу 3

У цьому розділі наведено результати дослідження потенційних методів управління операційними системами в реальному часі, які використовуються в системах керування виробничими та технологічними процесами. Використовуючи отримані відносини для характеристик якості обслуговування, можна визначати метод управління ОС в реальному часі в залежності від стану контрольованого об'єкта та типу розв'язуваної проблеми.

У дослідженні встановлено багатовимірний функціонал ефективності операційних систем в реальному часі для інформаційно-обчислювальної мультимедійної системи критичного використання, що включає спеціалізовані інформаційно-комунікаційні мережі. Спеціальне припущення про помилки відносних пріоритетів часткових критеріїв дозволяє виключити ризик сингулярної матриці пріоритетів у використовуваному методі аналізу ієрархій. Більше того, наявність згаданих помилок зменшує ризик зациклення алгоритму оптимізації на локальних екстремумах.

Основна відмінність моделі полягає в тому, що вона також включає в себе реконфігуруючі рішення, і вони сформулюються досить стисло. Він фактично не вимагає жодної додаткової змінної, а лише вводить нові обмеження, які реалізують локальні умови маршрутизації. Ми також представили три класи допустимих нерівностей з областю посилення багатогранної структури лежить в основі релаксації.

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі проведено аналіз сучасних методів управління виробничим процесом в операційних системах підприємств. Розглянуто огляд сучасних методів управління виробничим процесом, проаналізовано технології управління виробничим процесом та досліджено методи оптимізації виробничого процесу в операційних системах. Також проаналізовано сучасні підходи до вирішення проблем управління в операційних системах підприємств.

Основні висновки роботи:

1. Сучасні методи управління виробничим процесом охоплюють широкий спектр підходів - від традиційних методів, таких як системи "Just-In-Time" та "Total Quality Management", до передових стратегій, що базуються на штучному інтелекті, аналітиці даних та інтернеті речей. Ключовим напрямком є цифровізація виробничих процесів за допомогою "розумних" фабрик.

2. Аналіз технологій управління виробничим процесом показав важливість використання систем Індустрії 4.0, систем управління виробництвом (MES), технологій автоматизації та управління ланцюжком постачання (SCM). Інформаційні технології відіграють ключову роль в оптимізації управління виробництвом.

3. Методи оптимізації виробничого процесу в операційних системах включають впровадження передових технологій виробництва, вдосконалення логістики, управління якістю, ефективне управління людськими ресурсами. Важливими є також математичне моделювання процесів та застосування інтелектуальних систем.

4. Сучасні підходи до вирішення проблем управління в операційних системах підприємств базуються на використанні інтегрованих програмних рішень, аналітики даних, впровадженні новітніх технологій (штучний інтелект, автоматизація, IoT тощо), застосуванні методів Lean та Six Sigma, постійному розвитку персоналу.

5. Дослідження математичних моделей та методів оцінювання якості виробничого програмного забезпечення показало важливість статистичних методів



для аналізу ризиків та синтезу систем захисту. Розроблено математичну модель процесу захисту програмного забезпечення виробничої корпоративної мережі.

6. Аналіз характеристик мережного програмного забезпечення виявив вплив зовнішніх факторів на його основні параметри. Проведено кількісний аналіз характеристик та досліджено темпоральні характеристики реально-часових операційних систем, що використовуються у виробничих процесах.

Отримані результати можуть бути використані для підвищення ефективності управління виробничими процесами на підприємствах, оптимізації операційних систем та забезпечення надійності й безпеки виробничого програмного забезпечення. Подальші дослідження доцільно спрямувати на розробку комплексних методів управління виробництвом з використанням передових інформаційних технологій та інтелектуальних систем.

## СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Непочатенко О.О. Фінанси підприємств : підручник / О.О. Непочатенко, Н.Ю. Мельничук. – Київ : Центр учбової літератури, 2013. – 504 с.
2. Чорна М.В. Управління витратами : навчальний посібник / М.В. Чорна, П.В. Смірнова, Р.М. Бугріменко. – Харків, 2017. – 166 с.
3. Рижикова Н.І. Управління витратами : навчальний посібник / Н.І. Рижикова, О.В. Накісько ; ХНТУСГ. – Харків : ХНТУСГ, 2013. – 198 с.
4. Турило А.М. Управління витратами підприємства : навчальний посібник / А.М. Турило, Ю.Б. Кравчук, А.А. Турило. – Київ : Центр навчальної літератури, 2016. – 120 с.
5. Дробязко С.І. Основні характерні риси сучасних методів управління витратами / С.І. Дробязко // Бюлетень Міжнародного Нобелівського економічного форуму. – 2012. – № 1(5). – Т. 2. – С. 107–114. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/bmef\\_2012\\_1%282%29\\_\\_18](http://nbuv.gov.ua/UJRN/bmef_2012_1%282%29__18) (дата звернення: 20.02.2021). Яцкевич І.В. Методи управління витратами на підприємствах галузі зв'язку. Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки. 2009. № 1. С. 60–62. URL: [http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/ekon/2009\\_1/zmist.files/\\_14.pdf](http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/ekon/2009_1/zmist.files/_14.pdf) (дата звернення: 20.05.2024)
6. Палка І.М. Особливості управління витратами на підприємствах: вітчизняний та закордонний досвід // Економічний простір. – 2012. – № 67. – С. 264–269. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/escpros\\_2012\\_67\\_33](http://nbuv.gov.ua/UJRN/escpros_2012_67_33) (дата звернення: 20.05.2024).
7. Жукевич С.М. Управління витратами діяльності в контексті забезпечення конкурентоспроможності підприємства // Інноваційна економіка. – 2015. – № 1. – С. 70–74. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/inek\\_2015\\_1\\_14](http://nbuv.gov.ua/UJRN/inek_2015_1_14) (дата звернення: 21.04.2024).
8. Дробишева О.О. Сучасні методи управління витратами на підприємстві // Економічний вісник Запорізької державної інженерної академії. – 2018. – Вип. 5. – С. 90–94. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/evzdia\\_2018\\_5\\_19](http://nbuv.gov.ua/UJRN/evzdia_2018_5_19) (дата звернення: 20.05.2024).

21.04.2024).

9. Свистун Л.А. Удосконалення системи управління витратами підприємства в умовах нестабільної економіки // Економіка і регіон. – 2017. – № 4. – С. 57–62. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/econrig\\_2017\\_4\\_11](http://nbuv.gov.ua/UJRN/econrig_2017_4_11) (дата звернення: 22.04.2024).
10. Tanenbaum A. S., Van Steen M. Distributed systems: principles and paradigms. – Pearson Education, 2007. – 705 p.
11. Halstead M. H. Elements of software science. – New York : Elsevier, 2007. – 128 p.
12. Clarke G. G., Reynders D., Wright E. Practical Modern SCADA Protocols. – Oxford : Elsevier Linacre House, 2004. – 537 p.
13. Krten R. QNX Neutrino RTOS. Getting Started with QNX Neutrino: A Guide for Realtime Programmers. – QNX Software Systems Ltd., 2012. – 388 p.
14. Tanenbaum A., Herder J., Bos H. Can We Make Operating Systems Reliable and Secure? // IEEE Computer. – 2006. – Vol. 39, Issue 5. – P. 44-51.
15. Kaner C., Falk J., Nguyen H. Q. Testing Computer Software, 2nd Edition. – New York: John Wiley & Sons, Inc., 1999. – 480 p.
16. Cohen F. Computer Viruses: theory and experiments // DOD/NBS 7th Conference on Computer Security (1984); Computers and Security. – 1987. – Vol. 6, №1. – P. 22-35.29
- O'Regan G. Introduction to Software Quality. – Springer International Publishing Switzerland, 2014. - 354 p.
17. Shooman M.L. Reliability of Computer Systems and Networks - Fault Tolerance, Analysis and Design. - John Wiley & Sons, Inc., New York, 2002. - 546 p.
18. Бутківський А.Г. Структурна теорія розподілених систем. - М .: Наука, 1977. – 320 с.
19. Басс Л., Клементс П., Кацман Р. Архітектура програмного забезпечення на практиці. - СПб, Пітер, 2006. - 576 с.
20. Khoshgoftaar, T.M. Predicting software development errors using complexity metrics. / T.M Khoshgoftaar, J.C. Munson // IEEE of Selected Areas in Communications. — 1990. — Vol. 8, № 2. — P. 253 — 261.
21. Nyalkalkar K. A comparative study of two network-based anomaly detection methods // Kaustubh Nyalkalkar, Sushant Sinha, Michael Bailey, Farnam Jahanian. - Proceedings

IEEE INFOCOM 2011. - 5 pp.

22. Wu W. Developing an Unsupervised Real-time Anomaly Detection Scheme for Time Series with Multi-seasonality. // Wentai Wu, Ligang He, Weiwei Lin, Yi Su, Yuhua Cui, Carsten Maple, and Stephen Jarvis. - IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, Nov. 03, 2020. - 14 pp. DOI: 10.1109/TKDE.2020.3035685

23. Колпаков А.А., Кропотов Ю. А., Проскураков А. Ю. Підвищення продуктивності багатопроцесорних обчислювальних систем з гетерогенною архітектурою. - Системи управління, зв'язку та безпеки № 3, 2016. – с. 247 - 257.

24. Маєвський Д.А., Яремчук С.О. Метод імовірнісної оцінки кількості дефектів в програмних модулях. Праці Одеського політехнічного університету, 2013. Вип. 1(40), 2013. - с. 79 - 84.

25. Ананьєв Л.І., Семеніхін С.В. Модель та характеристики програмного забезпечення реального часу. Питання радіоелектроніки, № 3, 2016. –с.53–61.