

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ  
СІКОРСЬКОГО»

# **ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА ТА ЗАХИСТ ДАНИХ В КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ І МЕРЕЖАХ**

## **ВИБРАНІ РОЗДІЛИ**

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського  
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра  
за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології»*

Київ

КПІ ім. Ігоря Сікорського

2021

Інформаційна безпека та захист даних в комп'ютерних технологіях і мережах/ Вибрані розділи [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: В.П. Полторак, О.В. Савчук. – Електронні текстові дані (1 файл 5,2 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 385с.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол №4 від 07.04.2022 р.) за поданням Вченої ради КПІ ім. Ігоря Сікорського /Факультету інформатики та обчислювальної техніки (протокол №3 від 15.11.2021 р.)*

Електронне мережне навчальне видання

# ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА ТА ЗАХИСТ ДАНИХ В КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ І МЕРЕЖАХ ВИБРАНІ РОЗДІЛИ

Укладачі: *Полторак Вадим Петрович, канд. техн. наук, доцент*  
*Савчук Олена Володимирівна, канд. техн. наук, доцент*

Відповідальний редактор *Ролік О. І., д. т. н., професор*

Рецензент *Дорошенко А. Ю., д-р фіз.-мат. наук, професор, завідувач відділу теорії комп'ютерних обчислень Інституту програмних систем НАН України*

Викладено основні поняття сучасного підходу до інформаційної безпеки та захисту даних в комп'ютерних технологіях і мережах, а також актуальні проблеми надійності та діагностики інтегрованих інформаційних систем.

Для кращого засвоєння розділи посібника супроводжені контрольними запитаннями. Для студентів, які навчаються за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології», буде корисний аспірантам, викладачам та спеціалістам, які працюють у галузі надійності, діагностики інформаційних систем та захисту інформації.

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021

## ЗМІСТ

Вступ.....	7
Розділ 1. Безпека даних, захист інформації та надійність і діагностика в комп'ютерних технологіях і мережах.....	8
1.1 Зв'язок понять безпеки даних, захисту інформації та надійності і діагностики в комп'ютерних технологіях і мережах...8	
1.2 Роль комплексних систем захисту інформації в проблемі підвищення якості інформаційних інтегрованих систем.....	11
1.3 Категорії та показники якості комплексних систем захисту інформації.....	12
Контрольні запитання до 1-го розділу.....	21
Розділ 2. Основи надійності як комплексної властивості комплексних систем захисту інформації.....	22
2.1. Основні поняття комплексної надійності .....	26
2.2 Розрахунок показників надійності систем за відмовами їх складових частин.....	34
2.3 Резервування пристроїв комплексних систем захисту інформації як засіб досягнення їх відмовостійкості.....	40
Контрольні запитання до 2-го розділу.....	49
Розділ 3. Діагностичне забезпечення комп'ютерних систем захисту	

інформації .....	50
3.1 Основні поняття теорії та задачі технічної діагностики.....	50
3.2 Діагностичні моделі об'єктів діагностування.....	59
3.3 Методи та системи тестового діагностування.....	77
Контрольні запитання до 3-го розділу.....	94
Розділ 4. Опрацювання вхідних даних комп'ютерних систем	
захисту інформації .....	95
4.1 Опрацювання та стиснення вхідних даних за інтегральними фізичними ефектами.....	96
4.2 Класифікація об'єктів за допомогою нейронних мереж.....	103
4.3 Дослідження на мережах: перцептрон, карти Кохонена, радіально-базисні функції.....	108
Контрольні запитання до 4-го розділу.....	124
Розділ 5 Проблеми захисту комп'ютеризованих технологій і мереж... 125	
5.1 Захист, надійність та діагностика в хмарних технологіях.....	125
5.2 Типова модель обслуговуючої хмарної системи (з КСЗІ).....	127
5.3 Діагностування КСЗІ з виявленням відмов на етапах очікування та виконання.....	139
Контрольні запитання до 5-го розділу.....	142
Розділ 6 Інформаційно-орієнтований підхід забезпечення	
безпеки хмарних обчислень.....	143

6.1 Обґрунтування інформаційно-орієнтованого підходу.....	143
6.2 Принципи роботи інформаційно-орієнтованої моделі.....	146
6.3 Описи блоків комп'ютерної системи захисту	
інформації.....	147
Контрольні запитання до 6-го розділу.....	153
Післямова .....	153
Перелік посилань .....	154
ДОДАТКИ	
Додаток А - Розрахунки надійності комп'ютерних систем	
захисту інформації (аналітичні оцінки).....	161
А.1 Методика повного розрахунку надійності технічних	
засобів.....	161
А.2 Загальний алгоритм повного розрахунку надійності	
технічних засобів.....	164
А.3 Повний розрахунок надійності блоку комп'ютерної системи	
захисту інформації .....	167
Додаток Б - Тестування програмних засобів.....	168
Додаток В – Навчальний англо-український та українсько-	
англійський математичний словник.....	185

## СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ВНЗ – вищий навчальний заклад,

ІС – інформаційна система,

КТ – комп'ютерні технології,

КСЗІ - комп'ютерні системи захисту інформації,

ІП – інформаційні процеси,

ДСТУ – державний стандарт України,

ОІД - об'єкт інформаційної діяльності,

СІД - суб'єкт інформаційної діяльності,

ТЗІ - технічний захист інформації,

М – повідомлення,

$m$  – числовий образ повідомлення,

$c$  - криптограма,

$K$  – ключ,

$pk$  - публічний ключ,

$prk$  - секретний або приватний ключ,

$hash(m)$  - функція  $hash$  -перетворення над  $m$ .

## *Вступ*

Весь комплекс інформаційних процесів сьогодні переважно відбувається на базі комп'ютерних технологій. А середовищем для передавання інформації, що є поданою у формі даних через фізичні носії (знаки, символи, сигнали тощо) переважно виступає комп'ютерна мережа. То ж, питання захисту інформації, надійності та діагностики комп'ютерних систем і мереж, стійкості інформації до різних загроз, функціональної надійності інформаційних систем та доступності для легальних користувачів поєднуються у складний вузол проблем, що мають вивчатися студентами технічного ВНЗ у курсі безпеки комп'ютерних технологій та мереж. В цьому посібнику розглядаються вибрані розділи з предмету.

Навчальний посібник може бути рекомендований студентам спеціальності 126 - Інформаційні системи та технології - і відповідає навчальним програмам таких дисциплін як «Захист інформації в комп'ютерних системах і мережах», «Інформаційна стійкість комп'ютерних технологій і мереж», «Проектування комплексних систем захисту інформації», «Інформаційна безпека та захист даних», «Безпека мобільних систем» тощо. В межах навчальних програм дисциплін, йдеться про основні сучасні моделі, механізми захисту даних, надійності та діагностики в інформаційних системах, технологіях і мережах, та про їх реалізацію методами математики, теорії ймовірностей і математичної статистики.

Висловлюємо вдячність доценту кафедри ІСТ Репніковій Наталії Борисівні за корисні поради, а також випускникам кафедри Кривенко К.С.

і Пирожкову О.Ю. та іншим, які приймали безпосередню участь у складанні даного посібника.

Вічна пам'ять доценту нашої кафедри Покровському Євгену Олексійовичу, який багато років працював над проблемами надійності і був ініціатором та виконавцем спеціалізованого англо-українського та українсько-англійського словника.

## **Розділ 1 Безпека даних, захист інформації та надійність і діагностика в комп'ютерних технологіях і мережах**

*Ключові слова :безпека даних, надійність, діагностика, комп'ютерні  
технології, мережі*

*Keywords: data security, reliability, diagnosis, computer  
technology, networks*

### **1.1 Зв'язок понять безпеки даних, захисту інформації та надійності і діагностики в комп'ютерних технологіях і мережах**

Проблеми інформаційної безпеки, захисту даних в інформаційних системах (ІС), інформаційної стійкості комп'ютерних технологій (КТ) і мереж, надійності і діагностики інформаційних систем є актуальною задачею сучасності. Весь комплекс питань у галузі захисту інформації у комп'ютерних технологіях та мережах є наразі доволі розлогим, широко розгалуженим, і його неможливо повністю висвітлити в одному навчальному посібнику [1]. Тому цей навчальний посібник складається із вибраних розділів, які присвячені темам захисту інформації, надійності та



діагностики інтегрованих інформаційних систем з метою їх захисту від загроз, спричинених цілеспрямованими діями зловмисників, і забезпечення інформаційної стійкості і надійності комп'ютерних технологій і мереж.

Завдяки тому, що інформація доступна людині опосередковано, через носії, які є фізичною формою її подання, тобто - дані (знаки, символи, сигнали), у питаннях захисту інформації та забезпечення інформаційної стійкості ІС і мереж можливо оперувати лише її носіями - даними. Іншими словами, *конфіденційність* - це гарантування доступу до інформації, що зберігається в інформаційній системі і пересилається по каналах зв'язку тільки тим суб'єктам, які мають право її отримувати [2].

Розглянемо основні поняття і визначення і терміни [2-4].

*Цілісність* - це гарантування можливості модифікації інформації, що міститься в інформаційній системі і пересилається по каналах зв'язку тільки тими суб'єктами, які мають на це право [2]. Модифікація може означати: запис, зміну, зміну стану, видалення, створення, затримку або повторне відтворення повідомлень, що пересилаються.

*Керування доступом* - це забезпечення можливості контролю доступу до інформаційних ресурсів або самою системою, що володіє ресурсами, або системою, якій ці ресурси надаються [2].

*Доступність* - це гарантування авторизованим суб'єктам доступу до інформації і ресурсів, що зберігаються в системі в будь-який час, при першій необхідності (або відповідно до заданого розкладу доступу) [2].

Термін *аутентифікація* формулюється і подає, за своєю сутністю, процес підвищення ступеня довіри між ІС і ОІД та/або СІД у межах комп'ютерної технології та комунікаційної мережі, а також, встановлення

достовірності (автентичності) сторін, що приймають участь у комунікації [2-4]. Це є гарантування автентичності, справжності джерела повідомлення або електронного документа, а так само того, що джерело не є підробленим.

*Суб'єкт інформаційної діяльності (СІД)* - це той, хто/що легально працює над створенням, чи модифікацією ОІД [4].

*Криптографічне шифрування* - це кодування, як своєрідна форма подання інформації дискретними даними, з метою забезпечити вирішення згаданих вище завдань захисту інформації [2].

*Зловмисник* – це фізична особа, або ж, група фізичних осіб; юридична особа, або ж, група юридичних осіб; обчислювальний процес, або група, або група, пов'язаних взаємодією через мережу процесів, запущених на різних обчислювальних ресурсах, які мають злий умисел і мету нашкодити легальній інформаційній системі і її ОІД та СІД, реалізуючи різні сценарії наведених вище загроз безпеці інформаційної системи та порушуючи її інформаційну безпеку. Зловмисника для нейтральності іноді називатимемо *криптоаналітиком* [2].

Об'єкт дослідження – інформаційні системи.

Інформаційна систéма (англ. *Information system*) — сукупність організаційних і технічних засобів для збереження та обробки інформації з метою забезпечення інформаційних потреб користувачів.

В українському законодавстві встановлені декілька визначень терміну [1]. Зупинемося на найбільш повному визначенні:

- Інформаційна система — організаційно-технічна система, призначена для одержання, обробки, зберігання, відображення

та/або реєстрації даних про технічний стан конструкцій, систем, елементів

- Автоматизована інформаційна система — це взаємозв'язана сукупність даних, обладнання, програмних засобів, персоналу, стандартних процедур, які призначені для збору, обробки, розподілу, зберігання, представлення інформації згідно з вимогами, які впливають з цілей організації.

Сьогодні, у вік інформації, практично кожна інформаційна система використовує комп'ютерні технології, і тому надалі під інформаційними системами будемо розуміти саме автоматизовані.

Класичне визначення надійності таке [20]:

Надійністю називають здатність виробу ( чи системи) виконувати задані функції, зберігати за часом необхідні експлуатаційні параметри у заданих границях, що відповідають заданим умовам використання, технічного обслуговування, збереження і транспортування.

## ***1.2 Роль комплексних систем захисту інформації в проблемі підвищення якості інформаційних інтегрованих систем***

Конкретизуємо складові інформаційних систем, що розглядаються: складні комп'ютерні системи захисту інформації (КСЗІ) з декомпозицією до компонентів, нейронних мереж, їх програмне забезпечення та людський фактор. Людина була й є найдосконалішою інформаційною системою.

Мета курсу – своєчасне діагностування комп'ютерних систем захисту інформації (КСЗІ) та оцінювання й удосконалення їх якості на управлінському, технологічному та інформаційному рівнях.

Причини, що спонукають організації впроваджувати інформаційні системи, з одного боку, обумовлюються прагненням збільшити продуктивність повсякденних робіт чи усунути їх повторне проведення, а з іншого боку бажанням підвищити ефективність управління діяльністю організації за рахунок прийняття оптимальних та раціональних управлінських рішень.

Методи дослідження – методи захисту даних, кодування інформації; теорій якості, надійності та технічної діагностики; теорій ймовірностей, випадкових процесів, математичної статистики, оцінювання та прийняття рішень; нейромережеві технології.

### ***1.3 Категорії та показники якості комплексних систем захисту інформації***

Розглянемо категорії якості, стосовно [5,6,9-15].

Якість системи— це сукупність показників системи (можливо, паспортних), які обумовлюють її придатність задовольнити певні потреби відповідно до призначення [5].

Для оцінки якості системи використовується система показників, які групуються на узагальнюючі, комплексні та одиничні.

Узагальнюючі показники характеризують загальний рівень якості псистеми: обсяг і частку прогресивних видів блоків у загальному випуску, економічний ефект і додаткові витрати, пов'язані з поліпшенням якості.

Комплексні показники характеризують кілька властивостей систем/виробів, включаючи витрати, що пов'язані з розробкою, виробництвом і експлуатацією.

Одиничні показники якості характеризують одну з властивостей систем за показниками і класифікуються за такими групами:

- Показники призначення, що відображають корисний ефект від використання систем за призначенням та обумовлюють сферу їх застосування. Для продукції виробничо-технічного призначення основним є показник продуктивності, що показує, який обсяг продукції може бути випущений за допомогою оцінюваної продукції або який обсяг виробничих послуг може бути наданий за визначений проміжок часу. Наприклад, показники: потужність джерела, швидкість, продуктивність та ін.
- Показники економічності використання обладнання, матеріалів, палива, пального та енергії характеризують властивості системи, що відображають його технічну досконалість за рівнем або ступенем споживання цих складових (основного показника якості); коефіцієнт використання матеріальних ресурсів - відношення корисних витрат до витрат на виробництво одиниці продукції (обсягу даних); коефіцієнт корисної дії та ін.
- Показники надійності - безвідмовність, збережуваність, ремонтпридатність, довговічність системи та її складових частин.
- Показники технологічності, що характеризують ефективність (економічність) конструкторсько-технологічних рішень для забезпечення високої продуктивності праці під час виготовлення і ремонту системи. Саме за допомогою технологічності забезпечуються масовість випуску продукції, раціональний розподіл витрат матеріалів, засобів праці і часу в процесі технологічної підготовки виробництва, виготовлення та

експлуатації продукції. До них належать показники блочності та агрегатності конструкцій (архітектури мережі), що вказують на простоту монтажу виробу/мережі, питому трудомісткість, матеріало- і енергоємність, коефіцієнт раціонального використання прогресивних матеріалів у системі тощо.

- Ергономічні показники, що відображають взаємодію людини з системою, дають змогу визначати зручність і безпеку її експлуатації. Вони характеризують систему «людина – система - середовище використання» і враховують комплекс гігієнічних, антропометричних, фізіологічних та психологічних властивостей людини, що виявляються при користуванні системи. До таких показників можна віднести, наприклад, зусилля, необхідні для керування автомобілем; розташування ручки в холодильнику; кондиціонер у кабіні баштового крана; освітленість, температуру, вологість, запиленість, шум, вібрацію, випромінювання, концентрацію чадного газу і водяних парів у продуктах горіння, розташування і зручність сидінь, органів керування, раціональність інтер'єру і робочого місця. З їх допомогою вимірюються параметри продукції, що впливають на працездатність людини під час експлуатації системи.
- Естетичні показники характеризують спроможність інтерфейсу системи задовольняти потребу в красі. Вони визначають такі властивості, як зовнішній вигляд, гармонійність, цілісність, інформаційна спроможність, оригінальність, раціональність і краса форм, відповідність середовищу, стилю, моді, досконалість виконання і стабільність товарного виду системи. З їх допомогою встановлюється художньо-конструкторський рівень системи. Критерій естетичної оцінки системи, яку дає експертна комісія,

полягає в ранжуванні низки систем (або їх складових частин) аналогічного класу та призначення, що здійснюється на основі базових оцінок.

- Показники стандартизації та уніфікації визначають ступінь використання в системі стандартизованих складових частин виробу (складальних одиниць, деталей, вузлів), їх уніфікації, а також рівень уніфікації (конструкційної спорідненості) з аналогами. Наприклад, відношення стандартизованих та уніфікованих частин виробу до загальної кількості частин у виробі, коефіцієнти повторюваності, застосовності за типорозмірами і складовими блоків. Усі деталі виробу поділяються на стандартні, уніфіковані й оригінальні. Чим менше оригінальних виробів, тим краще; це важливо як для виготовлювача системи, так і для споживача.
- Патентно-правові показники характеризують патентний захист і патентну чистоту системи та є істотним чинником у визначенні конкурентоспроможності. Визначаючи патентно-правові показники, варто враховувати наявність у системах нових технічних рішень, рішень, захищених патентами в країні, наявність реєстрації промислового зразка і товарного знака як у країні-виробнику, так і в країнах експорту. Основними показниками є такі: патентний захист, патентна чистота і територіальне поширення.
- Показники транспортабельності визначають пристосованість систем до перевезень. До них належать середня тривалість і вартість підготовки до перевезень, вантажно-розвантажувальних робіт, середня матеріаломісткість упакування. Найповніше цей показник оцінюється у вартісному вимірі, що дає змогу одночасно врахувати матеріальні і трудові затрати, кваліфікацію і кількість людей, що зайняті транспортними роботами.

- Екологічні показники характеризують рівень шкідливих впливів на навколишнє середовище, які виникають під час експлуатації або споживання системи. Врахування екологічних показників має обмежити надходження в природне середовище промислових, транспортних і побутових стічних вод та викидів, з метою зниження наявності шкідливих речовин в атмосфері, які не перевищують допустимих концентрацій; забезпечити збереження і раціональне використання біологічних ресурсів і т. д. До екологічних показників належать: наявність шкідливих домішок, можливість викидів шкідливих часток, газів, випромінювань при зберіганні, транспортуванні, експлуатації чи споживанні продукції.
- Економічні показники характеризують витрати на розробку, виготовлення, експлуатацію або споживання продукції, економічну ефективність її експлуатації. Основні з них: ціна, прибуток, собівартість, рентабельність, трудомісткість системи, експлуатаційні витрати, як в абсолютному виразі, так і на одиницю основного показника призначення виробу.
- Показники безпеки характеризують особливості системи, що забезпечують безпеку людини (обслуговуючого персоналу) під час експлуатації або її споживання, монтажу, обслуговування, ремонту, зберігання, транспортування і т. д. Наприклад: ймовірність безпечної роботи людини протягом певного часу; час спрацювання захисних пристроїв; електрична надійність високовольтних мереж.
- Показники безпеки даних характеризують вищезазначені особливості системи, а також, захист від зловмисника.
- Взаємозамінність - основна властивість сукупності виробів, яка визначає якість продукції і характеризується інтенсивністю,



наявністю між елементами виробів з урахуванням їх особливості і специфічності, зовнішніми і внутрішніми проявами.

*Категорія “ Управління якістю ”* — скоординована діяльність, яка полягає у спрямуванні та контролюванні організації щодо якості.

В міжнародному стандарті з термінології виділені два аспекти управління якістю: «загальне» управління якістю (quality management) і управління якістю як оперативна діяльність (quality control) [6].

Автори вважають корисним доповнити посібник англо-українським та українсько-англійським словником, що прагне дати опис лексики з інформаційних систем (див. додаток В).

#### Методи статистичного контролю та управління якістю

Науковою основою сучасного технічного контролю є математико-статистичні методи [15]. Управління якістю продукції може забезпечуватися двома методами: за допомогою розбраковки виробів і шляхом підвищення технологічної точності. Здавна методи контролю зводилися, як правило, до аналізу браку шляхом суцільної перевірки виробів на виході. При масовому виробництві такий контроль дуже дорогий: контрольний апарат повинен в п'ять - шість разів перевищувати кількість виробничих робітників, і навіть при цьому немає повної гарантії від бракованої продукції. Тому від суцільного контролю переходять до вибіркового із застосуванням статистичних методів обробки результатів.

Один з основоположників застосування статистичних методів при серійному виробництві американський фахівець В. А. Шухарт (англ. Walter Andrew Shewhart; 1891 — 1967) писав: «Протягом тривалого часу

ефективність статистики буде залежати в меншій мірі від існування загону статистиків, що мають чудову підготовку, ніж від підготовки всього покоління, вихованого в дусі статистики, з фізиками, хіміками, інженерами та багатьма іншими фахівцями, які відповідатимуть в тій чи іншій мірі за підготовку та управління новими процесами виробництва " [16]. Коли йдеться про широке застосування статистичних методів, розглядати слід тільки ті з них, які зрозумілі і які можуть легко застосовуватися не статистиками. Японські фахівці вибрали з усієї безлічі сім методів. Їх заслуга полягає в тому, що вони забезпечили простоту, наочність, візуалізацію цих методів, перетворивши їх фактично в ефективні інструменти контролю якості [17]:

- Контрольний листок - інструмент для збору даних і їх автоматичного упорядкування для полегшення подальшого використання зібраної інформації;
- Стратифікація (розшарування) - інструмент, що дозволяє зробити селекцію даних у відповідності з різними факторами. Цей метод, заснований тільки на достовірних даних, застосовується для отримання коректної інформації, виявлення причинно-наслідкових зв'язків.
- Гістограма - інструмент, що дозволяє візуально оцінити розподіл статистичних даних, згрупованих за частотою попадання даних у певний (заздалегідь заданий) інтервал.
- Аналіз Парето - інструмент, що дозволяє об'єктивно представити і виявити основні фактори, що впливають на досліджувану проблему і розподілити зусилля для її вирішення.
- Причинно-наслідкова діаграма Ісікава - інструмент, який дозволяє виявити найбільш істотні фактори (причини), що впливають на кінцевий результат (слідство) [17].

- Діаграма розкиду - інструмент, що дозволяє визначити вид і тісноту зв'язку двох розглянутих параметрів процесу.
- Контрольна карта - інструмент, що дозволяє відслідковувати хід протікання процесу і впливати на нього (за допомогою відповідної зворотного зв'язку) попереджаючи його відхилення від висунутих до процесу вимог. Ці методи можна розглядати і як окремі інструменти, і як систему методів. Послідовність застосування семи методів може бути різною залежно від поставленої мети.

Відомий японський фахівець в області якості професор К. Ісікава говорив: *«Грунтуючись на досвіді своєї діяльності, можу сказати, що 95% всіх проблем фірми можуть бути вирішені за допомогою цих семи прийомів»* [17]. Тому статистичні методи - це той засіб, який необхідно вивчати, щоб впровадити управління якістю. Вони - найбільш важлива складова комплексної системи контролю загального управління якістю.

### Підвищення якості за допомогою нововведень

Системи управління якістю являють собою органічне поєднання економічних, правових та інших факторів, що впливають на якість. За допомогою нововведень (інновацій) можна не тільки уникнути консерватизму і застою в розвитку комплексного підходу до якості, а й свідомо і впевнено рухатися далі. У системах якості нововведення поділяються на дві групи: функціональні та системні.

До функціональних відносяться нововведення, що зачіпають завдання однієї з функцій управління якістю і не потребують структурних змін системи. В крайньому випадку, необхідність у структурних змінах настільки незначна, що їх можна не проводити.

До системних відносяться нововведення, які зачіпають не одну, а кілька функцій управління якістю і викликають необхідність внесення змін до змісту елементів системи. Системні нововведення можуть стосуватися однієї функції, але за масштабами впливу впливають на інші функції, що призводить до необхідності внесення в них змін. Наприклад, при виготовленні запасних частин для обладнання нафтових і газових промислів можливий перехід від відрядної форми оплати праці до погодинної або погодинно - преміальної.

Відомо, що відрядна оплата праці у багатьох випадках негативно впливає на якість виготовлення і в певний момент часу, коли якість починає опускатися нижче допустимої межі. Виникає необхідність від цієї системи відмовитися і перейти до погодинної або змішаної оплати праці. Таке нововведення входить до складу функції управління якістю - матеріального стимулювання поліпшення якості. Зміна форми оплати праці торкнеться інших функцій - технологічної підготовки виробництва, контроль якості, а за масштабами дії вплине на дуже велику групу учасників процесу забезпечення якості.

За допомогою класифікації нововведень нам легше визначити адресність у реалізації нововведень. Функцію нововведення здійснює підрозділ апарату управління - технічні, технологічні служби, відділи кадрів і оплати праці, відповідальні за реалізацію тих чи інших завдань управління якістю. Аналіз всього нового і вироблення на цій основі відповідних рекомендацій в інтересах поліпшення якості може бути й особливою функцією органів, служб управління якістю. У число службових обов'язків нових сучасних керівників тепер повинні включатися такі функції як:

1. Організація і керівництво розробкою, впровадженням та вдосконаленням систем якості.

2. Організація сертифікації систем якості.
3. Контроль стану та ефективності системи.
4. Контроль реалізації плану розробки і впровадження нововведень у систему якості.

Контроль якості продукції — встановлення відповідності продукції та процесів вимогам нормативно-технічної документації, зразкам- еталонам; інформація про перебіг виробничого процесу та підтримання його стабільності; захист підприємства від постачань недоброякісних матеріалів, енергоносіїв та ін.; виявлення дефектної продукції на ранніх етапах; запобігання випуску недоброякісної продукції.

#### Систематична оцінка якості продукції

Систематична оцінка якості продукції необхідна для проведення заходів щодо його підвищення, для атестації якості або зняття продукції з виробництва. Відносну характеристику якості продукції, засновану на порівнянні значень показників якості оцінюваної продукції з базовими значеннями відповідних показників, називають рівнем якості продукції. За базові показники приймають показники якості еталонного зразка або декількох зразків найкращих вітчизняних або зарубіжних виробів. Вироби, обрані як еталонні, повинні мати найвищий рівень якості з числа всієї сукупності аналогічних виробів в нашій країні і за кордоном. Необхідно забезпечувати відповідність якості серійно виготовленої продукції якості еталонного зразка. Для оцінки рівня якості продукції в машинобудуванні застосовують диференціальний і комплексний методи. Диференційний метод оцінки рівня якості полягає в роздільному зіставленні одиничних показників якості аналізованого виробу з аналогічними базовими показниками.

*Категорія: методи оцінювання*

Показано 6 підкатегорій [11]:

- 1.Голосування;
2. діагностика;
- 3.Маркетингові дослідження;
4. методи дослідження;
5. рейтинг;
6. управління якістю.

***Контрольні запитання до розділу 1***

- 1.1 Надайте визначення терміну «суб'єкт інформаційної діяльності».
- 1.2 Надайте визначення терміну «об'єкт інформаційної діяльності».
- 1.3 Аутентифікація об'єктів і суб'єктів інформаційної діяльності.
- 1.4 Основні завдання захисту даних в цифрових інформаційних системах.
- 1.5 Конфіденційність об'єктів інформаційної діяльності.
- 1.6 Доступність інформаційної системи та об'єктів і інформаційної діяльності.
- 1.7 Класичне визначення надійності.
- 1.8 Визначити термін «керування доступом до інформаційних ресурсів».
- 1.9 Визначення криптографічного шифрування.
- 1.10 Надайте визначення терміну «Зловмисник» в інформаційній системі.

***Розділ 2. Основи надійності як комплексної властивості комп'ютерних систем захисту інформації***

*Ключові слова: комп'ютерні системи, захист інформації, кодування та контроль, безвідмовність, довгостроковість, ремонтпридатність, збережуваність, резервування*

*Keywords: computer systems, information protection, coding and control or check, reliability, durability, maintainability, safety, redundancy*

### **2.1. Зв'язок понять надійності та технічної діагностики**

Забезпечення надійності є однією з основних задач сучасності-розвитку інформаційних систем, в тому числі й КСЗІ як підсистем [8,18]. Це обумовлено появою складних великих електронних обчислювальних систем і мереж та великих витрат, пов'язаних з їх відмовами. Характер роботи великих систем такий, що іноді, досить викривлення одного сигналу, щоб зруйнувати результат тривалих обчислень, не кажучи ще й про напад зловмисників. Раніше викривлення сигналів могли з'являтися через: відмову елемента схеми; флуктуації параметрів елементів і напруги живлення за часом; перешкоди і шуми через взаємний вплив ланцюгів. При відмові елемента виникав стійкий збій, що викликав постійну помилку. Усунення відмови було можливо тільки шляхом заміни елемента. Флуктуація параметрів елементів могла призводити до перемежованих відмов, випадкових чи систематичних збоїв, що тривали протягом часу відхилення параметрів елемента від припустимих значень. У результаті дії перешкод виникали випадкові одиночні збої, що надалі могли і не з'являтися. Отже, неправильне функціонування великих систем виявлялося у вигляді стійких чи перемежованих відмов, або збоїв.

З появою і бурхливим розвитком віртуальних систем, хмарних та нейромережових технологій з'явилася потреба у захисті даних, проєктуванні й експлуатації КСЗС, самодіагностуванні, підвищенні надійності програмного забезпечення й самої людини [8,11-13]. Зросла роль і оперативної діагностики, методів і засобів кодування та захисту від зловмисників.

Математичний аналіз появи відмов і збоїв різний, тому вивчаються вони в різних розділах загальної теорії надійності. Методи виявлення збоїв і виправлення помилок, що викликаються їхньою появою, одержали назву методів кодування та контролю ЕОМ, у той час як теорія надійності вивчає безвідмовну роботу машин, її зміну під впливом зовнішніх і внутрішніх факторів і виробляє методи розрахунку і заходи щодо підвищення надійності машин [23].

Надійність як комплексна властивість об'єктів містить у собі такі окремі властивості [24]:

Безвідмовність – властивість безупинно зберігати працездатність протягом деякого часу (нароботок до відмови для невідновлюваних систем, нароботок на відмову- для відновлених систем).

Довгостроковість – властивість зберігати працездатність до наступу граничного стану при належному технічному обслуговуванні та ремонті.

Збережуваність – властивість безупинно зберігати справний і працездатний стан протягом збережування і транспортування, та надалі.

Ремонтпридатність – властивість, що полягає в пристосованості до попередження і виявлення причин виникнення відмов та ушкоджень, а також усуненню їх наслідків шляхом проведення ремонтів і технічного обслуговування.

Особливими сторонами надійності систем являються живучість та достовірність (вірогідність) [18]. Новою важливою характеристикою комп'ютерних технологій і мереж є їх інформаційна стійкість [14].



Основною характеристикою технічної якості об'єкта є складова функції надійності - безвідмовності для непрямого визначення надійності  $p(t)$ , що дорівнює імовірності того, що в заданому інтервалі часу чи в межах заданого наробітку при заданих режимах і умовах експлуатації відмов в системі не виникає.

$$P(t) = W(T),$$

де

$t$  – заданий час,

$T$  – час безвідмовної роботи системи,

$W(A)$  – імовірність події  $A$ , полягає в тому, що  $T > t$ .

За аналогією з функцією надійності вводимо функцію ненадійності

$$Q(t) = W(T(t)),$$

$$Q(t) + P(t) = 1.$$

Функція ненадійності – це ймовірність того, що в заданому інтервалі часу система знаходиться в непрацездатному стані.

Відповідно до цього є:

- a) невідновлювані об'єкти (системи),
- b) відновлювані об'єкти (системи).

Для перших (a) є поняття “наробіток до відмови”.

Для других (b) є поняття “наробіток на відмову” (це середнє значення інтервалів часу, коли система була в працездатному стані; а середнє значення всіх інтервалів часу, що сюди не входять, складають середній період відновлення).

Інтенсивність відмов – число відмов у системі за одиницю часу.

Інтенсивність відмов – це імовірність того, що даний об'єкт може відмовити за досить малий інтервал часу за умови його працездатності в даний момент.

Коефіцієнт готовності (для  $b$ ):

$$K_z = T_0 / (T_0 + T_B),$$

де

$T_B$  – середній час відновлення,

$T_0$  – середній час наробітку на відмову.

Коефіцієнт готовності – це імовірність того, що об'єкт буде виконувати свої функції в будь-який момент часу *до наробітку*.

Технічний ресурс – сумарний наробіток системи за період експлуатації або до руйнування граничного стану;

Гарантований ресурс – технічний ресурс, яким володіють не менш, ніж  $Y=100\%$  експлуатованих систем, де  $Y$  є гарантованою імовірністю;

Гарантований термін служби – термін служби системи, на протязі якого завод виготовлювач гарантує справність системи і несе матеріальну відповідальність за виниклі несправності за умови дотримання правил експлуатації.

### Показники надійності

Основною кількісною характеристикою надійності є складові функції надійності безвідмовності  $P(t)$ , чи скорочено надійність, що по визначенню дорівнює ймовірності того, що у заданому інтервалі чи часу в межах заданого наробітку при заданих режимах і умовах експлуатації, відмов у системі не виникає, тобто  $P(t) = W\{T > t\}$ , де  $T$ -час безвідмовної роботи системи,  $t$ - заданий час,  $W\{A\}$ -ймовірність події  $A$ , у даному випадку подія  $A$  полягає в тому, що  $T > t$ .

За аналогією з функцією надійності вводять функцію ненадійності (ймовірність відмови) [22], чи скорочено ненадійність  $Q(t) = -W\{T < t\}$ .

Безпосередньо з визначення цих функцій випливає

$$P(t) + Q(t) = 1,$$

$$0 < P(t) < 1, 0 < Q(t) < 1, P(t_2) < P(t_1), Q(t_2) > Q(t_1),$$

де  $t_2 > t_1$ . Крім того, приймають

$$P(0) = 1, Q(0) = 0,$$

тобто розглядають системи справні, принаймні, у початковий момент часу, і

$$P(\infty) = 0, Q(\infty) = 1,$$

тобто розглядають системи, час роботи яких скінчений. З теорії імовірності відомо, що функції виду  $W\{T < t\}$  є функціями розподілу випадкової величини  $T$ . Отже, ненадійність є функцією розподілу часу безвідмовної роботи системи. Похідну від цієї функції називають щільністю  $f(t)$  розподілу часу безвідмовної роботи

$$f(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = -\frac{dP(t)}{dt}.$$

Зручної для використання в розрахунках характеристикою надійності є інтенсивність відмов  $\lambda(t)$ , що по визначенню дорівнює

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}.$$

Звідси послідовно одержуємо

$$\lambda(t) \cdot P(t) = f(t) = \frac{dR(t)}{dt} \cdot \frac{dR(t)}{P(t)} = -\lambda(t) dt,$$

$$P(t) = C \cdot e^{-\int_0^t \lambda(t) dt},$$

де  $C$  – стала інтегрування.

З огляду на усе вище викладене, одержуємо:

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}.$$

Зручність характеристики для використання її в розрахунках пояснюється її адитивністю. Дійсно, нехай система складається з двох елементів, інтенсивності відмов яких рівні, відповідно,  $\lambda_1$  і  $\lambda_2$ . припустимо далі, що відмови елементів є незалежними, і відмова системи настає при відмові, принаймні, одного з елементів. Тоді для надійності системи одержимо:

$$P(t) = W\{T_i > t\} = W\{T_1 > t \text{ і } T_2 > t\},$$

де  $T_i$  – час безвідмовної роботи  $i$ -го елемента ( $i=1,2$ ). З незалежності випадкових величин  $T_1, T_2$  і теореми про добуток імовірностей маємо

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} = W\{T_1 > t\} \cdot W\{T_2 > t\},$$

де  $\lambda(t) \in \lambda$  - характеристикою системи (інтенсивністю відмрв).

Але

$$W\{T_1 > t\} = P_1(t) = e^{-\int_0^t \lambda_1(t) dt}$$

і

$$W\{T_2 > t\} = P_2(t) = e^{-\int_0^t \lambda_2(t) dt},$$

де  $P_i$  – надійність  $i$ -го елемента ( $i=1,2$ ).

Отже,

$$e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} = e^{-\int_0^t \lambda_1(t) dt} \cdot e^{-\int_0^t \lambda_2(t) dt} = e^{-\int_0^t (\lambda_1(t) + \lambda_2(t)) dt},$$

або  $\lambda(t) = \lambda_1(t) + \lambda_2(t)$ .

У загальному випадку, якщо система складається з  $n$  елементів, то її інтенсивність відмов  $\lambda(t)$  при зроблених раніше припущеннях дорівнює сумі інтенсивностей  $\lambda_i(t)$  відмов елементів

$$\lambda(t) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(t).$$

Знаючи одну з визначених характеристик надійності, легко обчислити всі інші. Дійсно, з вищесказаного одержуємо:

$$P(t) = 1 - Q(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}.$$

Звідси маємо

$$f(t) = -\frac{dP(t)}{dt} = \frac{dQ(t)}{dt} = \lambda(t) e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}.$$

Для  $Q(t)$  одержимо

$$Q(t) = 1 - P(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt = 1 - e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}.$$

Для  $\lambda(t)$  маємо

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1 - \int_0^t f(t) dt} = \frac{\frac{dP(t)}{dt}}{P(t)} = \frac{dQ(t)}{1 - Q(t)}.$$

Крім перерахованих функціональних характеристик надійності на практиці широко використовуються і числові показники. Найважливішим з них є наробіток на відмову  $T$ , що визначається як математичне очікування випадкової величини  $T$

$$T_0 = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt.$$

Інтегруючи вроздріб, одержимо

$$T_0 = -t \cdot P(t) \Big|_0^{\infty} + \int_0^{\infty} P(t) dt = \int_0^{\infty} P(t) dt.$$

Наприклад, при  $\lambda = \text{const}$

$$P(t) = e^{-\lambda t}.$$

Тоді

$$T_0 = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}.$$

У цьому випадку функція надійності має вид

$$P(t) = e^{-\frac{t}{T_0}}. \quad ( )$$

При виведенні цих формул передбачалося, що система функціонує при  $t$ , що змінюється від 0 до нескінченності. Однак багато технічних систем мають заданий технічний ресурс  $T_p$  і, отже працюють на інтервалі від 0 до  $T_p$ . Для таких систем  $T_p$  варто визначити по формулі:

$$T_0 = \int_0^{T_p} t \cdot f(t) dt + \int_{T_p}^{\infty} T_p f(t) dt$$

Другий доданок враховує той факт, що якщо система відмовить при  $t > T_p$ , то через вироблення свого ресурсу корисний час її роботи буде дорівнювати  $T_p$ , а не  $t$ . Отже :

$$T_0 = -tR(t) \Big|_0^{T_p} + \int_0^{T_p} R(t) dt + T_p \int_{T_p}^{\infty} f(t) dt =$$

$$= \int_0^{T_p} R(t) dt - T_p R(T_p) + T_p \int_{T_p}^{\infty} f(t) dt,$$

але

$$R(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt = 1 - \int_0^{T_p} f(t) dt - \int_{T_p}^t f(t) dt = R(T_p) - \int_{T_p}^t f(t) dt.$$

$$\text{При } t \rightarrow \infty \quad R(\infty) = 0 \text{ і, отже } R(T_p) = \int_{T_p}^{\infty} f(t) dt.$$

$$\text{Звідси одержуємо остаточно } T_0 = \int_0^{T_p} R(t) dt.$$

Експоненціальна функція надійності через свою простоту і зручність при розрахунках знайшла широке застосування в теорії надійності. Ця функція має важливу властивість, для з'ясування якої розглянемо наступну задачу. Визначити  $P(t/t_1)$  надійність системи на

ділянці  $(t_1, t)$ , якщо відомо, що система працювала безвідмовно до моменту  $t_1$ . Тому що події  $\{T > t_1\}$  і  $\{T > t\}$  при  $t_1 > 1$  залежні, те відповідно до правила множення імовірностей маємо:

$$P(t) = P(t_1) \cdot P(t/t_1),$$

де  $P(t/t_1)$  - шукана ймовірність.

$$\text{З іншої сторони } P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} = e^{-\int_0^{t_1} \lambda(t) dt - \int_{t_1}^t \lambda(t) dt}.$$

$$\text{Тобто } P(t) = P(t_1) \cdot e^{-\int_{t_1}^t \lambda(t) dt}.$$

Звідси і з (2.15) одержуємо остаточно

$$P(t/t_1) = e^{-\int_{t_1}^t \lambda(t) dt}$$

при  $\lambda = \text{const}$   $P(t/t_1) = e^{-\lambda(t-t_1)}$ , тобто при  $\lambda = \text{const}$  ймовірність

безвідмовної роботи системи не залежить від того, скільки система вже безвідмовно працювала. З іншої сторони можна показати, що якщо надійність системи не залежить від того, скільки вона вже проробила безвідмовно, то функція надійності такої системи буде обов'язково експоненціальною, тобто експоненціальна функція надійності є єдиною, що має зазначену властивість. Таким чином, експоненціальним законом розподілу не враховує передісторії. Теоретично цей закон може бути застосований тільки до виробів, що не підлягають зносу в процесі експлуатації і часового старінню. Але таких виробів не існує. Тому на практиці експонентний розподіл застосовують у тих випадках, коли процеси старіння і зносу в системах



протікають досить повільно й характеризують порівняно невеликий період “життя” виробу [30].

Для оцінки точності експериментальних даних служить дисперсія часу безвідмовної роботи системи, що за визначенням дорівнює:

$$\sigma^2 = \int_0^{\infty} (t - T_0)^2 \cdot f(t) dt = \int_0^{\infty} t^2 \cdot f(t) dt - T_0^2 = 2 \int_0^{\infty} t \cdot P(t) dt - T_0^2.$$

Для експоненціального закону

$$\sigma^2 = 2 \int_0^{\infty} t e^{-\lambda t} dt - \frac{1}{\lambda^2} = \frac{2}{\lambda^2} - \frac{1}{\lambda^2} = \frac{1}{\lambda^2}.$$

Іноді для оцінки надійності використовують ймовірність  $P(t_0)$  безвідмовної роботи за якийсь час  $t_0$ . Для експоненціального закону при  $t_0 \ll T_0$  маємо :

$$\lambda_e = e^{-\lambda t_0} \approx 1 - \lambda t_0.$$

Показник  $P(t_0)$  залежить від  $t_0$ , що не завжди зручно. Цей недолік відсутній у показника “ймовірність відмов за одиницю часу”

$$\lambda_e = \frac{1 - P(t_0)}{t_0},$$

який можна інтерпретувати як ефективну інтенсивність відмов  $\lambda_e$ , тому що при малих  $t_0$  і постійній  $\lambda$

$$\lambda_e = \frac{1 - P(t_0)}{t_0} \equiv \frac{1 - (1 - \lambda t_0)}{t_0}.$$

Гарантований (чи гамма-відсотковий) технічний ресурс  $t_\gamma$  [18], що відповідає гарантованій ймовірності  $\gamma$ , визначають з рівняння  $P(t_\gamma)=\gamma$ .

При  $\lambda=const$   $e^{-\lambda t_\gamma}=\gamma$  чи  $t_\gamma = -T_0 \ln \gamma$ . Через те, що величина  $\gamma$  близька до 1 (наприклад,  $\gamma=0,9$ ), то

$$t_\gamma = -T_0 \cdot \ln(1 - (1 - \gamma)) \approx (1 - \gamma) \cdot T_0.$$

Отже, при  $\gamma=0,9$  гарантований ресурс дорівнює тільки 0,1 від  $T_0$ .

### ***2.3 Розрахунок показників надійності систем за відомими значеннями показників надійності їх складових частин***

Розрахунок показників надійності системи за показниками надійності складових частин проводять на стадії проектування при:

- визначенні орієнтовних показників надійності;
- порівнюванні різних варіантів конструктивних рішень системи;
- визначенні остаточних (уточнених) значень показників надійності.

При проведенні розрахунків як вихідні дані використовують:

- принципів, функціональні та структурні схеми систем;
- результати випробувань, довідкові чи нормативні дані про надійність складових частин;
- дані про систему технічного обслуговування та ремонту систем-аналогів;
- критерії відмов і граничних станів системи та її складових частин.

Для уточнених розрахунків показників надійності елементів систем повною характеристикою надійності елемента є закон розподілу

наробітку до відмови (ресурсу). Для методів розрахунку [18,30,31] необхідними показниками надійності елементів є середній наробіток до відмови (ресурс) елемента  $T$  та коефіцієнт варіації наробітку до відмови (ресурсу)  $V_p$ .

При визначенні орієнтовних значень показників надійності систему поділяють на функціональні системи та підсистеми, відмови яких незалежні, і складають схему об'єкта у вигляді послідовного сполучення блоків і підсистем.

Для розрахунку як вихідну інформацію допускається використовувати значення показників надійності систем і підсистем, встановлені в нормативній документації, а також заплановані значення чи одержані в результаті розрахунків установленими в цьому стандарті методами [32].

При побудові структурних схем надійності допускається виключати з розгляду елементи, що не виявляють помітного впливу на значення шуканого показника надійності об'єкта в цілому.

При порівнюванні різних варіантів об'єкта рішення приймається за альтернативною ознакою (надійність «вища» чи «нижча»).

У випадку, коли варіанти систем мають конструктивну схожість і різняться тільки навантаженістю складових частин, порівняльна оцінка зводиться до оцінки показників надійності цих частин. Якщо варіанти об'єкта різняться конструкцією кількох складових частин, порівняння показників надійності проводять за цими частинами.

Під час розгляду варіантів систем різного конструктивного виконання проводять орієнтовні розрахунки варіантів систем з урахуванням усіх складових частин.

Якщо для варіантів системи, що розглядається, є системи-аналоги, за даними випробувань яких встановлені складові частини, які

лімітують їх надійність, то при порівнюванні варіантів необхідно враховувати ступінь доопрацювання системи та конструктивні фактори, що призводять до низької надійності лімітованих складових частин.

При неможливості чи недоцільності проведення порівнювальних розрахунків допускається проводити експертним методом оцінку показників надійності.

Уточнені розрахунки показників надійності слід проводити відповідно до наступних вимог :

1. Складають структурну схему системи з метою розміщення елементів за рівнями їх підпорядкованості, уточнення зв'язків між ними, встановлення критеріїв відмов і граничних станів.

2. Розробляють структурну схему надійності (ССН) , що характеризує стан системи залежно від працездатного і непрацездатного станів елементів.

Методи розрахунку надійності поширюються на КСЗІ, для яких ССН є послідовним, паралельним та можливими комбінаціями послідовного і паралельного сполучення елементів.

Характеристика найбільш типових ССН наведена у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 — Характеристика типових ССН

Назва ССН	Позначення	Характеристика
Послідовна з різнотипних елементів	ССН-1	Об'єкт складається з послідовно сполучених елементів. Відмова

		настає при відмові будь-якого елемента
Структура типу „к з n”	ССН-2	Об’єкт складається з паралельно сполучених однотипних елементів. Відмова об’єкта настає в при відмові (r+1) елементів (r=n-k)
<p>Примітка 1. <math>k</math>- мінімальна кількість працездатних елементів, необхідна для функціонування системи</p> <p>Примітка 2. При <math>k=1</math> ССН-2 с паралельною структурою з <math>n</math> однотипних елементів.</p>		

Складають номенклатуру елементів (складових частин) системи і встановлюють їх показники надійності (середній наробіток  $T_i$  і коефіцієнт варіації наробітку  $V_i$  до відмови елементів, середня тривалість відновлення  $T_e$  елементів).

На основі отриманих значень показників надійності елементів і деталей проводять розрахунок показників надійності складових частин і системи в цілому .

Для систем, які мають ССН-I, у загальному випадку (для довільного закону розподілу наробітку складових частин) показники надійності слід визначати згідно з ДОДАТКОМ А3.

Розрахунок надійності систем (складових частин), що мають ССН-1 чи ССН-2, проводять з припущенням про DN-розподіл нароби́тку до відмови згідно [19].

### Надійність оперативного персоналу

Операційний персонал (ОП), як об'єкт дослідження надійності, за фізичною природою виникнення порушень нормального функціонування та механізму негативного впливу цих порушень на працездатність системи в цілому суттєво відрізняється як від технічних засобів, так і від програмного забезпечення [32]. Основним завданням ОП у процесі функціонування системи можна вважати виконання певної, заздалегідь заданої процедури (послідовності операцій) в разі виникнення певних умов (заданої ситуації).

Завданням ОП може бути виконання однією з декількох заданих процедур, вибір якої визначається конкретною ситуацією. Якість виконання ОП заданої процедури визначається низкою вимог (вимоги точності, швидкості, послідовності виконання операцій тощо). У виконанні процедури можуть брати участь один чи декілька операторів.

Основним видом порушення нормального функціонування ОП є помилка у виконанні заданої процедури, яка виявляється у невиконанні однієї чи декількох вимог до якості, основною складовою надійності ОП є безпомилковість (безвідмовність) роботи.

Примітка 1. Властивості ремонтпридатності, збережуваності та довговічності, які є традиційними складовими комплексної властивості надійності щодо технічних об'єктів, до складу властивості надійності ОП звичайно не включається внаслідок очевидної специфічності цього об'єкта

та принципових відмінностей його властивостей від властивостей технічних об'єктів.

Безпомилковість ОП безпосередньо впливає на показники надійності роботи функціональних підсистем системи та системи в цілому. У багатофункціональній системі ОП може брати участь у реалізації декількох функцій системи. У цьому випадку ОП є багатофункціональним, і його властивість безпомилковості (безвідмовності) повинна описуватись за кожною функцією окремо.

Примітка 2. У багатофункціональному ОП у виконанні якої-небудь однієї функції може брати участь не весь ОП системи.

Під час розгляду всіх питань надійності багатофункціонального ОП використовується функціональний підхід. Усі ергатичні засоби системи (увесь перелік операцій, виконуваних ОП) розділяються на низку *функціональних підсистем* ( $\Phi\Pi_{\text{ОП}}$ ), кожна з яких розглядається під час аналізу надійності відповідної функції системи в цілому.

Опис надійності (безвідмовності, безпомилковості) ОП розглядається як сукупність описів надійності усіх його: 1)  $\Phi\Pi_{\text{ОП}}$  можуть мати різну значимість для функціонування системи в цілому та, відповідно, характеризуватися різним рівнем вимог до надійності. 2) Перелік функцій системи, у яких приймає участь ОП, встановлюється у технічному завданні на систему.

Якщо певній  $\Phi\Pi_{\text{ОП}}$  притаманні декілька видів помилок, які розрізняються за спричинюваними ними наслідками для ФПС у цілому, то показники безвідмовності  $\Phi\Pi_{\text{ОП}}$  повинні задаватися за кожним видом помилок окремо.

Основним показником безпомилковості ОП відносно деякої ( $l$ -ї) функції (безпомилковість  $i$ -ї  $\Phi\Pi_{\text{ОП}}$ ), необхідним для проєктної оцінки показників надійності (безвідмовності) відповідно ФПС у цілому, є

ймовірність того, що в процесі одноразового виконання заданої для  $i$ -ї ФПОП процедури не виникне помилка, —  $L$ .

Показник  $L$  дозволяє (за наявності низки необхідних додаткових даних) розрахувати середній наробіток ФПОП на помилку —  $T$  та імовірність того, що помилки в роботі ФПОП не виникнуть протягом заданого часу  $\tau$  —  $\rho(\tau)$ .

Якщо для реального режиму роботи ФПОП у розглядуваній системі задана інтенсивність звернень до даної ФПОП (інтенсивність надходження «запитів» на виконання заданої процедури), тобто середня кількість запитів за одиницю часу  $\eta$  1/год — ( $\eta \gg 1$ ), то зазначені показники можуть бути визначені за [15].

### ***2.3. Резервування пристроїв комп'ютерних систем захисту інформації як засіб досягнення їх відмовостійкості***

#### *Методи підвищення надійності комп'ютерних систем захисту інформації*

Розрахункові залежності для визначення основних характеристик надійності КСЗІ показують, що надійність системи залежить від її структури (структурно - логічної схеми) і надійності елементів. Тому для складних систем можливі два шляхи підвищення надійності: підвищення надійності елементів і зміна структурної схеми.

Підвищення надійності елементів на перший погляд представляється найбільш простим прийомом підвищення надійності системи. Дійсно, теоретично завжди можна вказати такі характеристики надійності елементів, щоб ймовірність безвідмовної роботи системи задовольняла заданим вимогам. Однак практична реалізація такої високої надійності елементів може виявитися неможливою. Розгляд методів забезпечення надійності елементів КСЗІ є предметом спеціальних



технологічних і фізико-хімічних дисциплін і виходить за рамки теорії надійності. Однак, у кожному разі, високо надійні елементи, як правило, мають більші габарити, масу й вартість. Виключення становить використання більше зробленої елементної бази, реалізованої на принципово нових фізичних і технологічних принципах (наприклад, у КСЗІ перехід від дискретних елементів на інтегральні схеми).

Зміна структури системи з метою підвищення надійності має на увазі два аспекти.

З одного боку, це означає перебудову конструктивної або функціональної схеми КСЗІ (структури зв'язків між складеними елементами), зміна принципів функціонування окремих частин системи (наприклад, перехід від аналогової обробки сигналів до цифрового). Такого роду перетворення систем можливі винятково рідко, так що цей прийом, загалом, не вирішує проблеми надійності.

З іншого боку, зміна структури розуміється як введення в КСЗІ додаткових, надлишкових елементів, що включаються в роботу при відмові основних. Застосування додаткових засобів і можливостей з метою збереження працездатного стану об'єкта при відмові одного або декількох його елементів називається резервуванням.

Принцип резервування подібний розглянутому у додатку А2 паралельному з'єднанню елементів (п.А2.2) і з'єднанню типу "n з m" (п.А.2.3), де за рахунок надмірності можливе забезпечення більше високої надійності системи, чим її елементів.

Виділяють кілька видів резервування (тимчасове, інформаційне, функціональне й ін.). Для аналізу структурної надійності ТС інтерес представляє структурне резервування - введення в структуру об'єкта додаткових елементів, що виконують функції основних елементів у випадку їхньої відмови (додаток А3).

## ***2.4 Класифікація різних способів структурного резервування***

Класифікація різних способів структурного резервування [36,37] здійснюється по наступних ознаках:

1) за схемою включення резерву:

- загальне резервування, при якому резервується об'єкт у цілому;
- роздільне резервування, при якому резервуються окремі елементи або їхні групи;
- змішане резервування, при якому різні види резервування сполучаються в одному об'єкті;

2) по способі включення резерву:

- постійне резервування, без перебудови структури об'єкта при виникненні відмови його елемента;
- динамічне резервування, при якому при відмові елемента відбувається перебудова структури схеми. У свою чергу підрозділяється на:

а) резервування заміщенням, при якому функції основного елемента передаються резервному тільки після відмови основного;

б) ковзне резервування, при якому кілька основних елементів резервується одним або декількома резервними, кожний з яких може замінити будь-який основний (тобто групи основних і резервних елементів ідентичні).

3) по стані резерву:

- навантажене резервування, при якому резервні елементи (або один з них) перебувають у режимі основного елемента;
- полегшене резервування, при якому резервні елементи (принаймні один з них) перебувають у менш навантаженому режимі в порівнянні з основними;
- ненавантажене резервування, при якому резервні елементи до початку виконання ними функцій перебувають у ненавантаженому режимі.

Основною характеристикою структурного резервування є *кратність резервування* - відношення числа резервних елементів до числа резервованих ними основних елементів, виражене не скорочує дробу, що (типу 2:3; 4:2 і т.д.). Резервування одного основного елемента одним резервним (тобто із кратністю 1:1) називається дублюванням.

Кількісно підвищення надійності системи в результаті резервування або застосування високо надійність елементів можна оцінити за коефіцієнтом виграшу надійності, обумовленому як відношення показника надійності до й після перетворення системи. Наприклад, для системи з n послідовно з'єднаних елементів після резервування одного з елементів (k-го) аналогічним по надійності елементом коефіцієнт виграшу надійності по імовірності безвідмовної роботи складе

$$G_p = \frac{P'}{P} = \frac{p_1 p_2 \dots p_{k-1} [1 - (1 - p_k)^2] p_{k+1} \dots p_n}{p_1 p_2 \dots p_{k-1} p_k p_{k+1} \dots p_n} = \frac{1 - (1 - p_k)^2}{p_k} = 2 - p_k. \quad (2.4.1)$$

З формули (2.4.1) випливає, що ефективність резервування (або іншого прийому підвищення надійності) є тим більше, чим менше надійність резервного елемента (при  $p_k = 0,9 G_p = 1,1$ , при  $p_k = 0,5 G_p = 1,5$ ). Отже, при структурному резервуванні максимального ефекту можна добитися при резервуванні самих ненадійних елементів (або груп елементів).

У загальному випадку при виборі елемента (або групи елементів) для підвищення надійності або резервування необхідно виходити з умови забезпечення при цьому максимального ефекту (див. додаток А3). Наприклад, для місткової схеми (рисунок А3.6.2,а) з формули (А3.6.21) можна одержати вираження для часток похідних ймовірності безвідмовної роботи системи по ймовірності безвідмовної роботи кожного з елементів, які для ідентичних по надійності елементів приймають наступний вид:

$$\frac{dp}{dp_1} = \frac{dp}{dp_2} = \frac{dp}{dp_4} = \frac{dp}{dp_5} = pq^3 + 4p^2q^2 + p^3q, \quad (2.4.2)$$

$$\frac{dp}{dp_1} = 2p^2q^2. \quad (2.4.3)$$

Очевидно, максимальне збільшення надійності системи забезпечить збільшення надійності або резервування того елемента, частинна похідна для якого за даних умов приймає максимально позитивне значення. Порівняння виражень (2.4.2) і (2.4.3) показує, що при будь-яких позитивних значеннях  $p$  і  $q$  вираження (2.4.2) більше вираження (2.4.3) і, отже, у містковій схемі з ідентичними елементами ефективність підвищення надійності або резервування “периферійних” елементів 1, 2, 4 і 5 (див. рисунок А3.6.2, а) вище, ніж діагонального

елемента 3, якщо як критерій ефективності взяти ймовірність безвідмовної роботи.

Таким чином, найбільший вплив на надійність системи роблять елементи, що володіють високим значенням похідної  $\frac{dP}{dP_i}$ , а при послідовному з'єднанні - найменш надійні.

У більше складних випадках для вибору елементів, що підлягають зміні, використовуються як аналітичні, так і чисельні методи оптимізації надійності.

#### Розрахунок надійності технічних засобів з резервуванням

Розрахунок кількісних характеристик надійності систем з резервуванням окремих елементів або груп елементів багато в чому визначається видом резервування. Нижче розглядаються схеми розрахунків для найпоширеніших випадків простого резервування, до яких шляхом перетворень може бути наведена й структура змішаного резервування. При цьому розрахункові залежності отримані без обліку надійності перемикаючих пристроїв, що забезпечують перерозподіл навантаження між основними й резервними елементами (тобто для "ідеальних" перемикачів). У реальних умовах введення перемикачів у структурну схему необхідно враховувати й у розрахунку надійності систем.

Розрахунок систем з навантаженим резервуванням здійснюється по формулах послідовного й паралельного з'єднання елементів аналогічно розрахунку комбінованих систем (див. додаток Б). При цьому вважається, що резервні елементи працюють у режимі основних як до, так і після

їхньої відмови, тому надійність резервних елементів не залежить від моменту їхнього переходу з резервного стану в основне й дорівнює надійності основних елементів.

Для системи з послідовним з'єднанням  $n$  елементів при загальному резервуванні із кратністю  $l$  (рисунок 2.4.1, а)

$$P_{об} = 1 - (1 - P)^{l+1} = 1 - (1 - \prod_{i=1}^n p_i)^{l+1}. \quad (2.4.4)$$

Зокрема, при дублюванні ( $l=1$ )

$$P_{об} = 1 - (1 - P)^2 = P(2 - P). \quad (2.4.5)$$

При роздільному резервуванні (рисунок 2.4.1, б)

$$P_{раз} = \prod_{i=1}^n [1 - (1 - p_i)^{l+1}], \quad (2.4.6)$$

а при роздільному дублюванні ( $l=1$ )

$$P_{раз} = \prod_{i=1}^n [1 - (1 - p_i)^2] = \prod_{i=1}^n p_i(2 - p_i) = p \prod_{i=1}^n (2 - p_i). \quad (2.4.7)$$

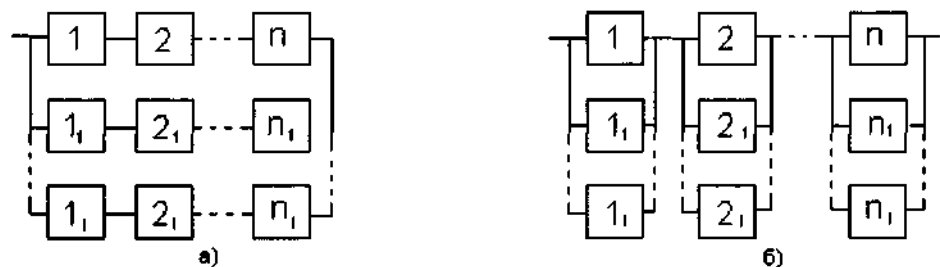


Рисунок 2.4.1 – Загальне (а) і роздільне (б) навантажене резервування [30]

Тоді коефіцієнти виграшу надійності по ймовірності безвідмовної роботи при дублюванні

$$G_{\text{об}} = \frac{P_{\text{об}}}{P} = 2 - P, \quad G_{\text{рхв}} = \frac{P_{\text{рхв}}}{P} = \prod_{i=1}^n (2 - p_i), \quad (2.4.8)$$

звідки отримуємо, що роздільне резервування ефективніше загального (наприклад, для системи із трьох однакових елементів при  $p=0.9$   $G_{\text{об}}=1.27$ ,  $G_{\text{рхв}}=1.33$ ).

При ненавантаженому резервуванні резервні елементи послідовно включаються в роботу при відмові основного, потім першого резервного й т.д. (рисунок 2.4.2), тому надійність резервних елементів залежить від моменту їхнього переходу в основний стан. Таке резервування в різних ТС зустрічається найбільше часто, тому що воно по суті аналогічно заміні елементів, що відмовили, і вузлів на запасні.

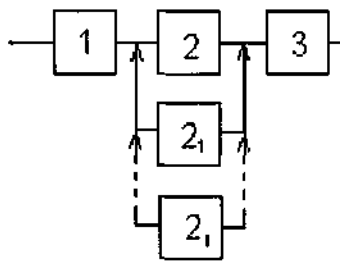


Рисунок 2.4.2. Ненавантажене резервування [30]

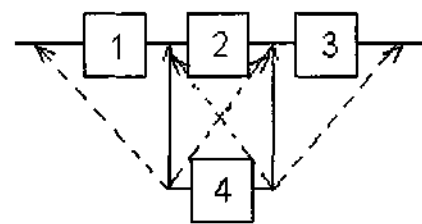


Рисунок 2.4.3 -Ковзне резервування [30]

Якщо резервні елементи до їхнього включення абсолютно надійні, то для системи з ненавантаженим резервуванням кратності  $l$  (усього елементів  $l+1$ )

$$Q = \frac{1}{(l+1)!} \prod_{i=1}^{l+1} q_i; \quad P = 1 - \frac{1}{(l+1)!} \prod_{i=1}^{l+1} (1-p_i), \quad (2.4.9)$$

тобто імовірність відмови в  $(l+1)!$  раз менше, ніж при навантаженому (паралельному з'єднанні, див. формулу (2.4.7)).

Для ідентичних по надійності основного й резервного елементів

$$P = 1 - \frac{1}{(l+1)!} (1-p)^{l+1}. \quad (2.4.10)$$

При експоненціальному розподілі наробітку (найпростішому потоці відмов) у випадку  $\lambda t \ll 1$  можна скористатися наближеною формулою

$$P \approx 1 - \frac{(\lambda t)^{l+1}}{(l+1)!}. \quad (2.4.11)$$

При ненавантаженому резервуванні середній наробіток на відмову

$$T = \sum_{i=1}^{l+1} T_{0i}, \quad (2.4.12)$$

а для ідентичних елементів  $T_0 = nT_{0i}$ .

Полегшене резервування використовується при великій інерційності перехідних процесів, що відбуваються в елементі при його переході з резервного в основний режим, і недоцільності застосування навантаженого резервування з - за недостатнього виграшу в надійності (у КСЗІ це характерно для пристроїв на електровакуумних приладах). Очевидно, полегшений резерв займає проміжне положення між навантаженим і ненавантаженим.



Точні вираження для розрахунку надійності систем при полегшеному резервуванні досить громіздкі й неоднозначні, однак при експоненціальному розподілі наробітку справедлива наближена формула

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{1}{(l+1)!} \lambda(\lambda + \lambda_0)(\lambda + 2\lambda_0) \dots [\lambda l \lambda_0] \cdot t^{l+1} = \\
 &= \frac{t^{l+1}}{(l+1)!} \prod_{i=0}^l (\lambda + i\lambda_0),
 \end{aligned}
 \tag{2.4.13}$$

де  $\lambda_0$  - інтенсивність відмов елементів у полегшеному режимі,  $l$  - кратність резервування.

Ковзне резервування використовується для резервування декількох однакових елементів системи одним або декількома однаковими резервними (рисунк 2.4.3, тут всі елементи ідентичні, а елемент 4 - надлишковий). Очевидно, відмова системи відбудеться, якщо із загальної кількості ідентичних елементів (основного й резервних) число елементів, що відмовили, перевищує число резервних. Розрахунок ймовірності безвідмовної роботи систем з ковзним резервуванням аналогічний розрахунку систем типу “m з n” ( див.додаток Б: п. Б.6.3).

### ***Контрольні запитання до розділу 2***

2.1 Визначення надійності як комплексної властивості інформаційної системи.

2.2 Показники надійності.

2.3 Закон розподілу та інтенсивність відмов сучасних комп'ютерних технологій.

2.4 Розрахунки показників надійності КСЗІ.

2.5 Класифікація способів резервування.

2.6 Методи резервування інформаційних систем.

2.7 Навантажене резервування.

2.8 Дублювання систем та елементів.

2.9 Приклад розрахунку структурної надійності.

2.10 Ковзне резервування.

### ***Розділ 3. Діагностичне забезпечення комп'ютерних систем захисту інформації***

*Ключові слова: діагностичне забезпечення, технічний стан, відмова, дефект, діагностична модель*

*Keywords: diagnostic support, technical state, failure, defect, diagnostic model*

#### ***3.1 Основні поняття теорії та задачі технічної діагностики***

В сучасних умовах неможливо забезпечити необхідну інформаційну безпеку та захист даних в комп'ютерних технологіях і мережах без застосування методів та засобів технічної діагностики. Особливо це стосується необхідності створення таких умов застосування технічних систем, щоб було можливо або повністю запобігти виникненню аварійних ситуацій, або зменшити наслідки аварій, коли вони вже виникли. Найбільш важливо застосування технічної діагностики в атомній енергетиці на залізничному, морському та авіаційному транспорті, в аерокосмічних комплексах, на газонафтопроводах, підземних комунікаціях та інших технічних комплексах [24,25,34]. Не може технічна діагностика обминути своєю увагою пристрої побутової техніки, а також засобів медичної діагностики [33].

Технічна діагностика за своєю суттю стає своєрідним індикатором та гарантом якості і надійності нової техніки [24]. Вже зараз є багато прикладів, коли застосування методів та засобів технічної діагностики охоплює всі області діяльності людства, пов'язані з технікою, навіть нейрокомп'ютерні технології та мережі [1].

В технічній діагностиці, як певній галузі науково-технічних знань, знаходять застосування різні здобутки людського творення в теоретичних знаннях і суто практичних справах. Одночасно технічна діагностика ініціює вимоги на створення умов для появи у технічних виробів нових властивостей, про які без її втручання не було й мови. Це стосується забезпечення появи таких властивостей як тестопридатність та відмовостійкість систем, *стійкість інформації*. Ці властивості сучасні технічні вироби і створювані на їх основі технічні системи повинні набувати вже в процесі розробки та цілеспрямовано використовуватись в процесі їх виробництва і експлуатації для забезпечення їх бездефектності, надійності та безаварійного використання з високоефективною функціональною віддачею.

*Технічна діагностика* (далі застосовується термін діагностика) – це наука про відображення чи визначення технічного стану об'єкта. Таким об'єктом може бути технічний виріб будь-якої складності чи його складові частини, технічний стан яких визначається в процесі технічного діагностування [19,20,24].

Основними принципами технічної діагностики як наукової дисципліни являються:

- принцип причинно-наслідкових зв'язків;
- принцип використання мінімальної інформації відносно технічного виробу під час його діагностування при максимумі інформації

про об'єкт діагностування (мінімум апостеріорної інформації при максимумі апріорної інформації щодо бази знання);

- принцип застосування тільки неруйнівних впливів, що не можуть за час проведення діагностування змінити технічний стан виробу.

Технічне діагностування об'єкта по своїй суті є інформаційною процедурою, метою якої має бути відображення його технічного стану у вигляді висновку про характер та суттєвість цього стану. Такий висновок щодо результату діагностування має назву технічного діагнозу, або просто діагнозу.

Для практичної реалізації обробки діагностичної інформації по інтегральним фізичним ефектам запропоновано застосування сучасних нейромережових технологій (багатошаровий перцептрон, карти Кохонена, радіально-базисні мережі), що створило можливість перетворити діагностичне забезпечення елементної бази інформаційних систем з експериментально-інформаційної технології до області сучасних нейромережових технологій інтелектуального аналізу [38].

Під технічним станом об'єкта діагностування розуміється сукупність властивостей об'єкта чи їх залежностей між собою під дією зовнішніх факторів, що визначається в певний момент часу за певних умов зовнішнього середовища певними значеннями діагностичних показників відповідно до норм. Такі норми як і самі діагностичні показники визначаються нормативно-технічною документацією по відповідному технічному виробу та його діагностичною моделлю відповідно до конструкторської документації чи спеціально проведених для цього дослідних випробувань [24].

Згідно з існуючою практикою, що визначається міжнародними документами та діючими державними стандартами, для технічних виробів прийнято виділяти такі взаємно виключаючі несумісні пари технічних станів: справний–несправний, працездатний–непрацездатний .  
Всі види технічних станів можна зобразити через співвідношення їх інформаційних полів, які пов'язані між собою певними переходами, що і наведено на рисунках 3.1.1 та 3.1.2.

Для станів справний (1) – несправний (2) основою їх порівняння є відповідність всіх показників технічного виробу вимогам нормативно-технічної та/або конструкторської документації. І коли хоча б один з цих показників, незалежно від його впливу на можливість виконувати технічним виробом власні робочі функції, не буде відповідати цим вимогам, то технічний стан визнається несправним. А коли всі показники відповідають всім вимогам належної документації, то технічний стан є справним.

Працездатний(3) технічний стан має той виріб, у якого відповідні діагностичні показники знаходяться в межах, коли можуть виконуватись надані робочі функції. Коли ж діагностичні показники виходять за задані межі, то виріб вже не може виконувати в повному обсязі робочі функції, і його технічний стан має бути визнаний непрацездатним (4).

При цьому треба мати на увазі, що коли виріб має непрацездатний стан, то одночасно він буде і несправним. Але коли виріб працездатний, то він може бути справним чи несправним в залежності від діючої причини, що спричиняє перехід зі справного стану до несправного. Це положення відображено на рисунку 3.2 взаємним розташуванням відповідних інформаційних областей (1) та (2).

Слід відзначити, що при діагностуванні технічного виробу підлягає визначенню вид технічного стану пари: працездатний(3)—непрацездатний(4). Взначення цієї пари показників згідно нормативно-технічної чи конструкторської документації. Щодо показників в повному обсязі, то вони відображають властивості об'єкта діагностування відносно визначення пари станів справний (1)—несправний (2).

В залежності від виду носіїв інформації, що відображають діагностичні показники, їх поділяють на діагностичні параметри та діагностичні ознаки чи симптоми. Перші подаються у вигляді фізичних величин, що визначаються кількісно, а другі – у вигляді таких особливостей об'єкта, що найбільш часто визначаються якісно.

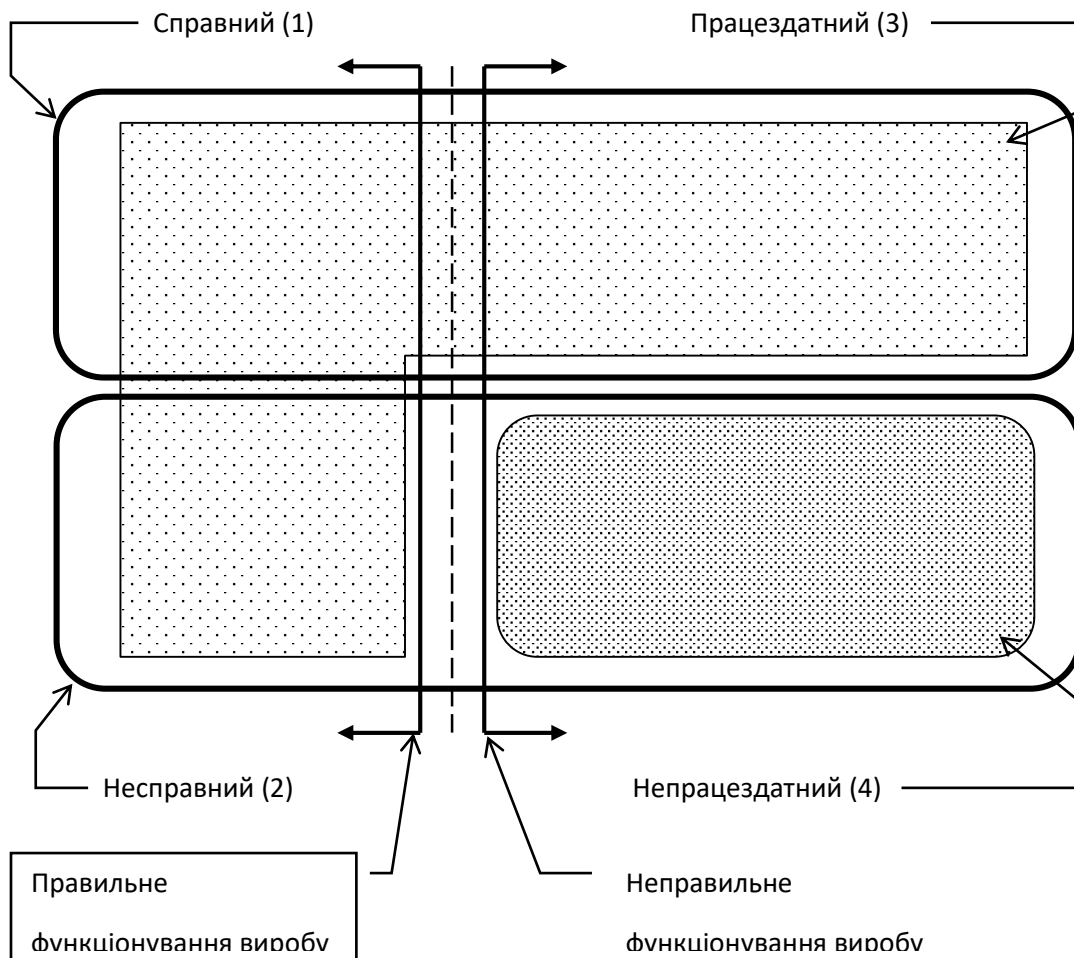


Рисунок 3.1 - Властивості об'єкта діагностування відносно станів [24]

Вся сукупність діагностичних показників представляє шукану діагностичну інформацію. Ця інформація при діагностуванні виробу являє собою відомості про об'єкт, які в подальшому формуються для сприйняття адресатом у вигляді діагнозу.

Крім вище означених технічних станів, виділяють ще граничний та/чи критичний стан (5). Граничний стан відображає такий стан виробу, при якому його подальше використання недопустимо чи недоцільно відповідно до вимог безпеки або відновлення працездатного стану просто неможливо. А критичний стан пов'язан з таким станом, коли подальше застосування виробу може привести до аварії чи катастрофи з недопустимими наслідками.

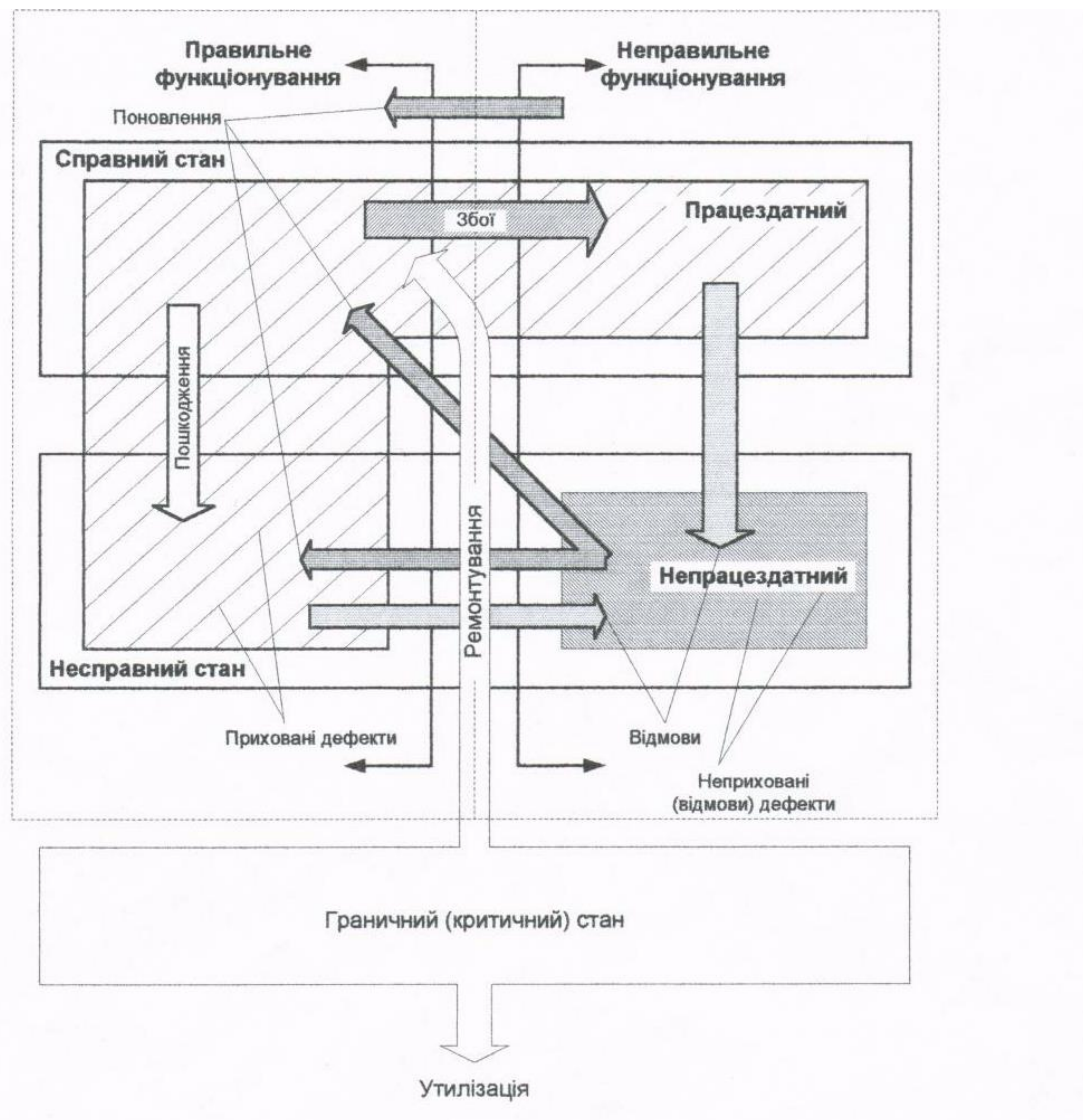


Рисунок 3.2 - Різновид можливих подій , що пов'язані зі змінами станів ОД в процесі діагностування [24]

На рисунку 3.2 подано увесь різновид можливих подій, що пов'язані зі зміною технічного стану виробів. При зміні справного стану (1) на несправний (2) зі збереженням працездатності(3) виникає подія пошкодження. Коли ж така зміна проходить з одночасним набуттям непрацездатності (4), то причиною такої зміни є відмова, в наслідок якої виріб втрачає можливість виконувати свої робочі функції. Подія відмови



характеризується виникненням в об'єкті несправності, яка вважається причиною непрацездатного стану і підлягає виявленню при виконанні процедури технічного діагностування.

Слід відзначити, що в практиці технічної діагностики також застосовуються поняття правильне функціонування (6) та неправильне функціонування (7) відзначені на рисунках 3.1 та 3.2 різнодільними позначками у вигляді стрілок. Ці позначки поділяють все інформаційне поле видів технічного стану об'єктів на дві частини.

В лівій частині визначаються стани правильного функціонування об'єкта, коли всі робочі процеси виконуються безпомилково в повній відповідності з його призначенням.

В правій частині визначаються технічні стани, коли процес функціонування об'єкта порушується повністю внаслідок виникнення відмов або виконується з помилками під дією збоїв. Збоєм називається самоусуваюча відмова або одноразова відмова, що усувається незначним втручанням оператора. В разі виникнення збоїв об'єкт може зберігати справний та працездатний стан за умови неправильного його функціонування за призначенням.

При неправильному функціонуванні технічного виробу відповідні причини усуваються або діями поновлення з ліквідацією наслідків дії збоїв чи відмов, або діями ремонтування з відтворенням станів справного (1) та працездатного(3) та з забезпеченням умов його подальшого правильного функціонування.

Крім визначення можливих подій, що впливають на зміну видів технічного стану об'єкта, на рисунку 3.1 позначені також причини, які призводять до того чи іншого технічного стану. Такими причинами є

приховані дефекти або, як їх ще називають за можливими подіями, провісники чи віщуні відмов та неприховані дефекти або несправності.

В останній час все більше і більше виникає вимога визначити при діагностуванні технічних виробів їх фізичний стан, за допомогою якого можливо визначити додаткові і дуже важливі відомості про властивості фізичного середовища об'єкта в залежності від виду прихованих чи неприхованих дефектів та дії різних деградаційних чи руйнівних процесів (втомленості, зносу, корозії, ерозії, деструкції та таке інше). Всі ці процеси обумовлюють можливість зміни технічного стану. А це потребує розвитку відповідних методів прогнозуючого діагностування технічних виробів на основі виявлення відповідних ознак змін в їх фізичному середовищі.

За допомогою методів та засобів технічної діагностики вирішуються відповідні задачі:

- перша задача – визначення виду технічного стану, в якому знаходиться об'єкт діагностування, що можна характеризувати як відповідну перевірку його стану відносно можливості виконувати робочі функції в наявний момент часу;
- друга задача – пошук та/або локація місця несправності чи визначення причини переходу об'єкта в непрацездатний технічний стан, тобто ретроспективний аналіз відмов;
- третя задача – прогнозування зміни технічного стану об'єкта з визначенням причини вірогідності такої зміни чи з визначенням інтервалу часу, після якого можуть початися процеси, що призведуть до небажаної для експлуатації виробу зміни його технічного стану.

### *3.2 Діагностичні моделі об'єктів діагностування*

Технічна діагностика – це наука, що відноситься до експериментально-інформаційним та останнім часом нейромережевим технологіям [24].

Технічне діагностування-це процес визначення технічного стану системи. В результаті технічного діагностування отримуємо діагноз при стан системи. Існує два типа впливу на систему, і відповідно два вида діагностування: робоче та тестове. Можливо також експрес-діагностування.

Робочий вплив співпадає з таким, що використовується під час функціонування системи. Але ця робоча функція раніше не використовувалася для діагностування.

Тестовий вплив організується спеціально із зовні.

Експрес-діагностування – це діагностування по обмеженому числу параметрів за певний час ( Заздалегідь обговорюється).

Технічний стан – це стан, який характеризується в певний момент часу при певних умовах зовнішнього середовища по значенням параметрів, що встановлені у технічній документації.

Контроль фактично розв'язує другу задачу технічної діагностики-пошук несправності і місця її знаходження.

Засоби діагностування – це автоматизована, автоматична система технічного діагностування, алгоритм діагностування, технічне забезпечення [20,25].



Технічний стан системи відповідатиме діагнозу, що отриманий в результаті діагностування.

Автентичність (достовірність) діагнозу оцінюється правильністю/чи неправильністю діагнозу. Це ймовірність того, що під час іагностування був отриманий вірний результат.

Ймовірності вірного результату й помилки в сумі дають одиницю, тобто ці два діагнози утворюють повну групу помилок.

Помилка 1-го роду- ймовірність того, що вірний результат буде прийнятий за невірний ( ризк виробника, продавця, постачальника .

Помилка 2-го роду – ймовірність того, що невірний результат буде прийнятий за вірний ( ризк користувача, або замовника).

Результат діагностування щодо технічного стану при помилках:

- Система (або виріб) справна (або працездатна) ( помилка 2-го роду).
- Система ( або виріб) несправна ( помилка 1-го роду).

Аналогічно для завдання пошуку несправності: рішення провідсутність/наявність відмови за його наявності/ відсутності.

Результат діагностування при прогнозуванні:

- Чисельне значення параметрів технічного стану на період часу в майбутньому, включаючи даний момент часу.
- Чисельне значення параметрів технічного стану залишкового ресурсу чи напрацювання (наробітку).

- Чисельне значення параметрів технічного стану , що відповідає заданій ймовірності (можливість безвідмовної роботи на цьому інтервалі).
- Нижня межа ймовірності безвідмовної роботи за параметрами безпеки на заданий період ( задається довірча ймовірність).

Є дві групи факторів, які зумовлюють ненульову ймовірність помилки:

1. Похибка при оцифруванні.
2. Засоби діагностування, порівнюючі устрої ( всі блоки, що входять у вихідне діагностування, мають не одиничну (наприклад, 0,9999) ймовірність безвідмовної роботи, але на порядок вище інших пристроїв).

Нормальний закон розподілу помилок:

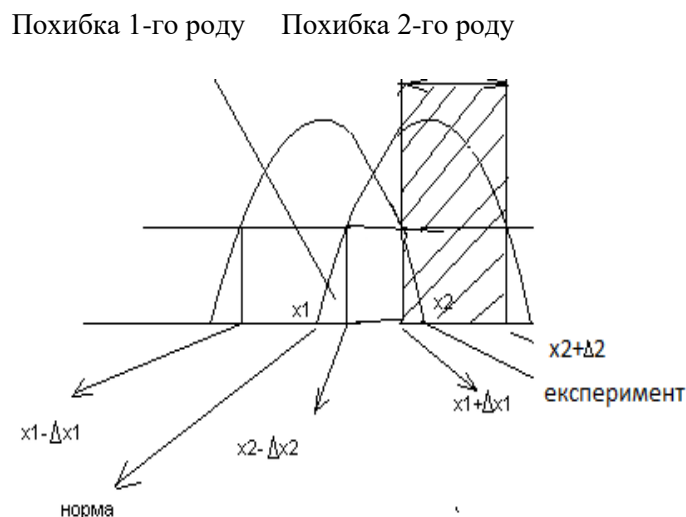


Рисунок 3.4 - Теоретичний та фактичний розподіли параметрів партії виробів

На рисунку 3.4  $x_1 - x_2 < \Delta$ :  $\Delta$  - заданий норматив (допуска параметрів);

$(x_1 + \Delta x_1; x_2 - \Delta x_2)$  – теоретичний інтервал, в якому виникають похибки.

Усунення похибок: якщо зменшиться норматив  $\Delta$ , то зменшиться ймовірність похибки 1-го роду, а через зменшення ризику виробника зменшиться й ризик користувача.

Розглянемо відмову як фактор, що приводить до появи похибок діагно-стування. Якщо пристрій відмовляє, то на його виході з'являється помилка.

Способи запобігання апаратурним відмовам наступні:

Страхування від цього:

1. Застосування двопорогового пристрою, резервування й дублювання ненадійних блоків.
2. Враховувати повноту технічного діагностування, тобто по можливості враховувати всі види відмов найперше самої системи діагностування.
3. Враховувати глибину пошуку місця несправності або відмови. Ця характеристика повинна задаватися в паспортних даних на пристрій, з точністю до якої складової частини треба проводити діагностування.
4. Тривалість діагностування/ середній час діагностування усередненої відмови цієї частини.
5. Умовна ймовірність невиявленої відмови під час діагностування цієї частини.

6. Умовна ймовірність хибної відмови під час діагностування цієї частини.
7. Умовна ймовірність в даному елементі ( при більш детальному розгляді частини) або групі елементів.
8. Умовна ймовірність невиявленої відмови в елементі або групі елементів.

Розглянемо верифікацію ( фактично, оцінювання) діагностування як процесу отримання про стан системи. Верифікація складається з трьох складових:

1. Автентичність ( достовірність) діагнозу;
2. точність діагнозу (помилки і похибки при експериментах та розрахунках);
3. з'ясовність діагнозу ( причини, які обумовили цей діагноз).

Види діагностування:

1. робоче (або функціональне);
2. тестове;
3. експрес;
4. прогнозуюче.

Схеми діагностування бувають: розімкнені ( без зворотного зв'язку), замкнені ( із зворотним зв'язком).



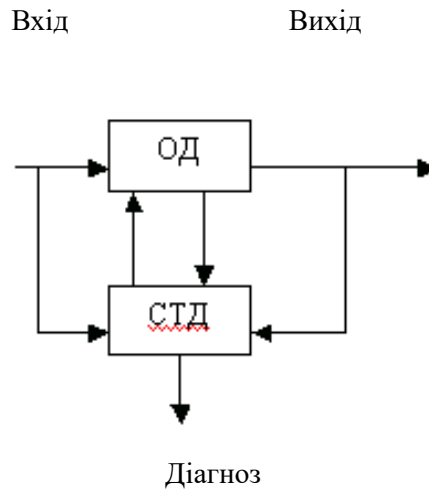


Рисунок 3.5 - Розімкнена схема діагностування,  
де ОД- об'єкт діагностування, СТД – система технічного  
діагностування.

Можливі такі випадки:

(А) – ОД працює, СТД під час роботи проводить діагностування (робоче, або функціональне). Сигнали чи параметри (аналогові чи дискретні-цифрові) знімаються на вході та виході ОД.

(Б) – Крім входних та вихідних сигналів є ще деякі контрольні точки всередині ОД;

(В) – можливе об'єднання робочого і тестового діагностування;

(Г) – можливі додатково комплексні випробування в (А, Б).

### Об'єкт діагностування і діагностичні моделі

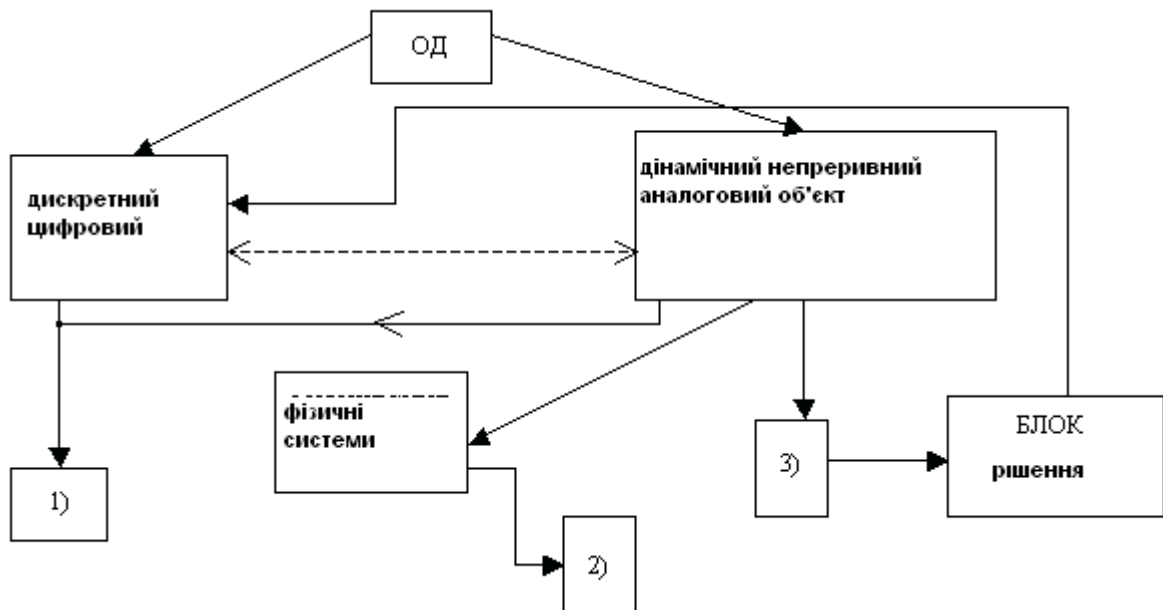


Рисунок 3.6 - Об'єкт діагностування і діагностичні моделі

При діагностуванні розрізняють три підходи [19]:

- 1) Алгоритмічний – максимально абстрактно представляє об'єкт і повинний відбивати алгоритм функціонування об'єкта. Підходить для всіх об'єктів, але використовується для динамічних.
- 2) Фізичний – досить абстрактний, але для його представлення потрібно використовувати сигнальне представлення; застосуємо у випадку чорної шухляди. Частіше застосовується для робочого діагностування.
- 3) Сигнально-параметричний – заснований на розгляді фізичних процесів об'єктів діагностування і частіше застосовується для рішення задачі прогнозування і/чи задачі фізики відмов (ретроспективний аналіз).

При побудові моделей враховуються такі властивості:

- a) Керованість – властивість, що забезпечує одержання потрібної реакції, що відбиває технічний стан
- b) Спостережливість – на вхід передаємо сигнал і дивимося, що на виході;
- c) Діагностовність – властивість пристосованості об'єкта до рішення задачі діагностування з однозначним визначенням діагнозу в межах фізичної вірогідності. Може включати пристосованість до проведення контрольних операцій у залежності від задач.
- d) Ідентифікованість – властивість бути описаним якою-небудь моделлю, знайти загальний опис.
- e) Тестованість – відноситься до тестуемого об'єкта діагностування, властивість визначати технічний стан при визначених тестах.
- f) Контролездатність – властивість пристосованості до проведення контрольних операцій. Може включати процедури по конструктивній пристосованості до контролю.

*Розглянемо алгоритмічний підхід*

У цьому випадку об'єкт діагностування може бути описаний безліччю технічних станів:

$S = \{S_i\}, i = \overline{1, N}; N > 2$ , тому що при  $N = 2$ , ми говоримо справний/несправний (рішення задачі дихотомії). А при  $N > 2$ , зважається задача поліхотомії.

Робимо перевірки по виходам і записуємо:

$\Pi = \{\Pi_j\}_{j = \overline{1, M}}$ ,  $M$  – число перевірок.

Безліч результатів  $A = \{a_{ij}\}, i = \overline{1, N}; j = \overline{1, M}$ , і одержимо матрицю. Для опису використовується булева алгебра.

Для діагностування об'єкта необхідне виконання умови:  $a_{ij} \neq a_{rj} \forall i, r=0, N, i \neq r, j=1, M$  (тобто результат  $j$ -ої перевірки  $i$ -го стану не буде дорівнює цій же перевірці  $r$ -го стану). Якщо ж це виконується хоча б для однієї  $j$ , то об'єкт є діагностованим.

Таблиця 3.1

S	П	П <sub>1</sub>	...	П <sub>j</sub>	...	П <sub>M</sub>
S <sub>1</sub>				a <sub>0j</sub>		
S <sub>2</sub>				a <sub>1j</sub>		
...				...		
S <sub>i</sub>				a <sub>ij</sub>		
S <sub>N</sub>				a <sub>Nj</sub>		

Під нульовим станом розумієм справний стан.

Умови діагностування чорної шухляди при сигнально-параметричному підході

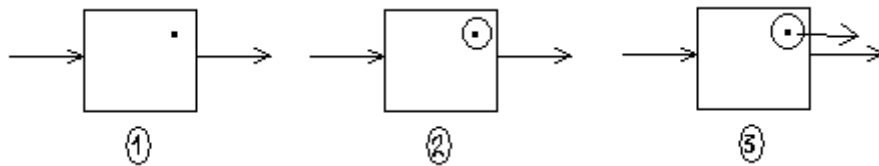


Рисунок 3.7

- 1) Несправність (невиявлений дефект).
- 2) Несправність себе виявляє (несправність виявляється, але не спостерігається).
- 3) Несправність себе виявляє і виявляється на виході (ї виявляється і спостерігається).

Для того, щоб об'єкт при (3) був діагностованим, необхідно і достатньо виконання наступних умов:

- I. Кожна несправність в об'єкті повинна бути виявлена. При цьому об'єкт потрібно привести в активний стан, тобто він повинен бути під вхідним впливом.
- II. Кожна несправність повинна бути обов'язково виведена як сигнал чи параметр по виходу. Фактично для кожної несправності має бути метод і засіб впливу і виведення аналогової чи цифрової сигнатури [18,27].

Умови діагностування при фізичному підході.

Можна описати об'єкт як функцію сприйнятливості:

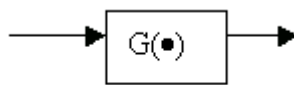


Рисунок 3.8 – Чорна шухляда

де  $G(\bullet)$  – функція сприйнятливості.

Умови діагностування при фізичному підході:

- необхідна наявність хоча б одного фізичного ефекту, параметри якого чуттєві до несправності чи дефекту.
- фізичний ефект повинний бути таким, що спостерігається.

#### *Логічні моделі об'єктів діагностування*

Логічні моделі застосовуються для структурованих об'єктів, тобто коли об'єкт можна представити блочно [39].

Приклад:

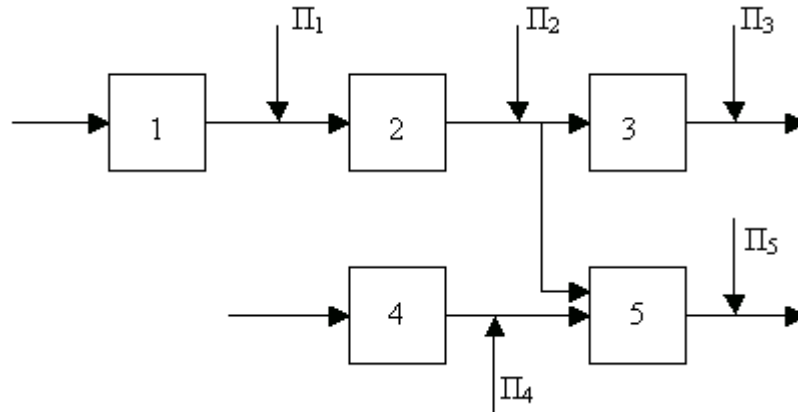


Рисунок 3.9 – Блочная схема ОД

Такі структурні схеми можна використовувати для дискретних об'єктів, а також якщо можна зашифрувати виходи станів аналогового об'єкту, як 0 та 1. При побудові логічної необхідно виконувати наступні умови:

- Чітко виділяти зв'язок вхід-вихід.
- Якщо структурний елемент вважається працездатним, то на виході спостерігається реакція з присвоєнням їй ознаки логічної одиниці (йде абстрагування від фізичних параметрів реакції). Для непрацездатного елемента привласнюється термін логічний нуль.
- Якщо на вхід працездатного структурного елемента подається вплив, що не відповідає нормі, то реакція елемента навіть при працездатному стані оцінюється нулем не залежно від числа входів такого елемента.
- Якщо в структурній схемі маються зворотні зв'язки, то стану складових елементів не помітні. Необхідно або групу цих елементів

замінити одним блоком чи відключити від системи, і діагностувати відповідним чином (розбірне діагностування).

Запропонована схема задовольняє усім вимогам. Будемо розглядати одиночні несправності (однократні) по двох причинах:

- Спрощення.
- Ймовірність однократної помилки на багато більше, ніж багаторазової помилки.

Складемо таблицю технічних станів (чи таблицю функцій несправностей):

Таблиця 3.1- Таблиця технічних станів

S\P	П <sub>1</sub>	П <sub>2</sub>	П <sub>3</sub>	П <sub>4</sub>	П <sub>5</sub>
S <sub>0</sub>	1	1	1	1	1
S <sub>1</sub>	0	0	0	1	0
S <sub>2</sub>	1	0	0	1	0
S <sub>3</sub>	1	1	0	1	1
S <sub>4</sub>	1	1	1	0	0
S <sub>5</sub>	1	1	1	1	0

Будуємо першу таблицю покриття, що виходить у такий спосіб:

$S_0 \oplus S_i = S_{0i}$ , де  $\oplus$ - сума за модулем 2.

Таблиця 3.2 - Перша таблиця покриття

S\P	П <sub>1</sub>	П <sub>2</sub>	П <sub>3</sub>	П <sub>4</sub>	П <sub>5</sub>
S <sub>01</sub>	1	1	1	0	1
S <sub>02</sub>	0	1	1	0	1
S <sub>03</sub>	0	0	1	0	0
S <sub>04</sub>	0	0	0	1	1
S <sub>05</sub>	0	0	0	0	1

Переглядаємо рядки і шукаємо, де є одна одиниця. Відмічаємо ці одиниці і дивимося, в яких стовбчиках вони знаходяться. З найменувань вибраних стовбців утворюється перевірочний тест працездатності, в даному прикладі це  $\Pi_3, \Pi_5$ . Одинички колонок по зазначеним перевіркам повинні перекривати всі стани таблиці (усі рядки).

Для пошуку місця несправності будуємо таблицю 3 - другу таблицю покриття. Вона виконується виконанням операції суми по модулю 2, тобто  $S_i \oplus S_k = S_{ik}$ ,  $i \neq k$ ,  $i, k = \overline{1, N}$ .

Таблиця 3.3 - Друга таблиця покриття

S\P	$\Pi_1$	$\Pi_2$	$\Pi_3$	$\Pi_4$	$\Pi_5$
$S_{12}$	1	0	0	0	0
$S_{13}$	1	1	0	0	1
$S_{14}$	1	1	1	1	0
$S_{15}$	1	1	1	0	0
$S_{23}$	0	1	0	0	1
$S_{24}$	0	1	1	1	0
$S_{25}$	0	1	1	0	0
$S_{34}$	0	0	1	0	1
$S_{35}$	0	0	1	0	1
$S_{45}$	0	0	0	1	0

- 1) Відмічаємо, де є по одній одиниці в строках аналогічно таблиці
2. Це строки  $S_{12}$  та  $S_{45}$ , і відповідно стовбчики  $\Pi_1$  і  $\Pi_4$  – це *обов'язкові перевірки*.

Додамо перевірку методом перебору із необов'язкових перевірок  
 $\Pi_1, \Pi_2, \Pi_4$

$\Pi_1, \Pi_3, \Pi_4, \Pi_2$

$\Pi_1, \Pi_2, \Pi_4, \Pi_5$

$\Pi_1, \Pi_3, \Pi_4, \Pi_5$



Запишемо обов'язкові перевірки і перевіряємо перекриття одиницями всіх рядків таблиці 3.3. Відмічаємо неперекриті строки. Додамо по одній перевірці над доданою одиницею в вибраному неперекритому рядку. Знову перевіряємо перекриття всіх рядків. Якщо неперекриті, то додаємо додаткову перевірку і так далі, доки не будуть перекриті всі рядки.

Оптимальним буде тест мінімальної довжини, який містить повністю або частково отриманий за таблицею тест працездатності. В нашому випадку це - **П1, П3, П4, П5**. Насамкінець будемо кодову таблицю, що служить для пошуку несправного блоку.

Отримуємо із таблиці 3.1 з викреслюванням рядка працездатного стану та стовпців, які не входять до оптимального тесту

Таблиця 3.4 - Кодова таблиця

<b>S\P</b>	<b>П1</b>	<b>П3</b>	<b>П4</b>	<b>П5</b>
<b>S1</b>	0	0	1	0
<b>S2</b>	1	0	1	0
<b>S3</b>	1	0	1	1
<b>S4</b>	1	1	0	0
<b>S5</b>	1	1	1	0

Усі строки кодової таблиці мають бути різними.

Другий тип логічної моделі.

Розглянемо ту саму схему (рис.1) по вільних виходах. Будемо граф, розглядаючи схему з виходу до входу.

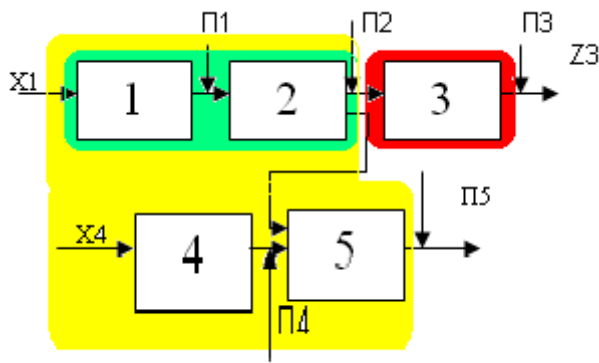
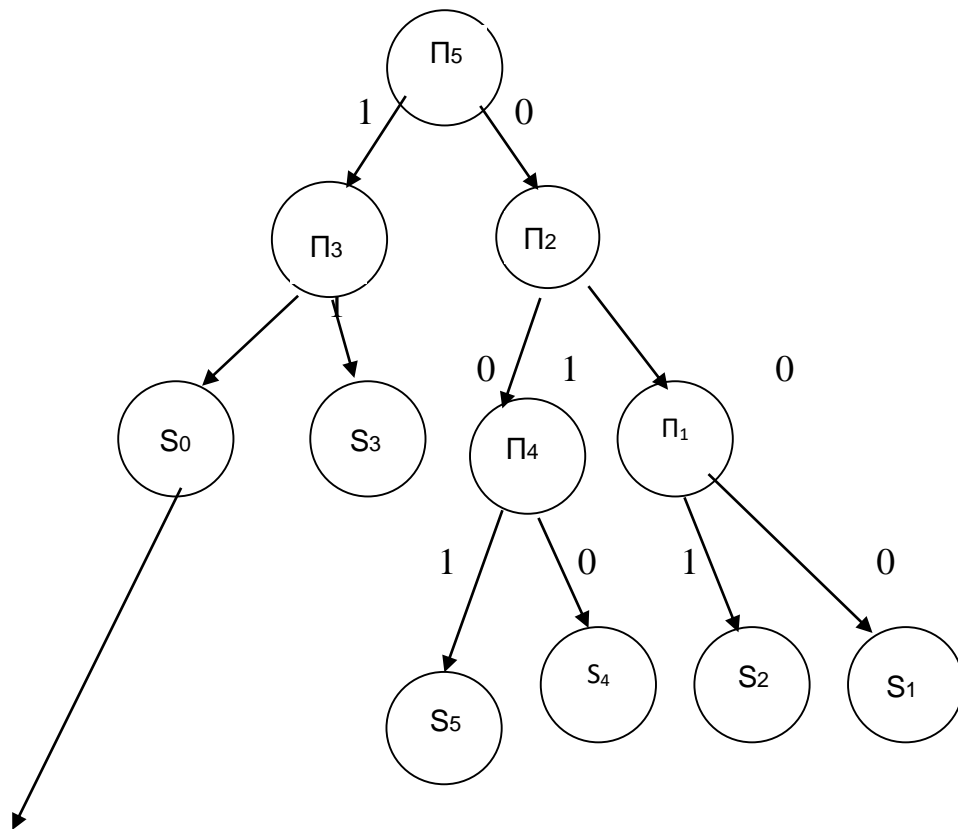


Рисунок 3.10,а – Другий тип моделі.

Починаємо будувати з виходу блока, у якого більше всього входів (тобто з 5-го)



Працездатний стан

Рисунок 3.10,б – Граф моделі.

У вершинах графа ставимо перевірки.

Аналіз: максимальне число перевірок дорівнює довжині тесту і дорівнює  $3:L=3$

Приклад моделі для структурної схеми з зворотним зв'язком.

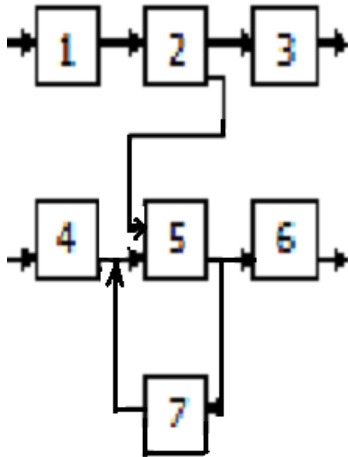
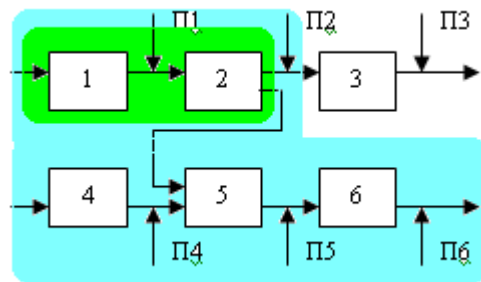


Рисунок 3.11,а– Приклад моделі.

Ми не можемо розпізнати стан, якщо в схемі є обернений зв'язок. Будемо еквівалентну схему (спрощено позначимо під схеми блоків (5,7)



як блок 5):

Рисунок 3.11,б– Еквівалентна схема.

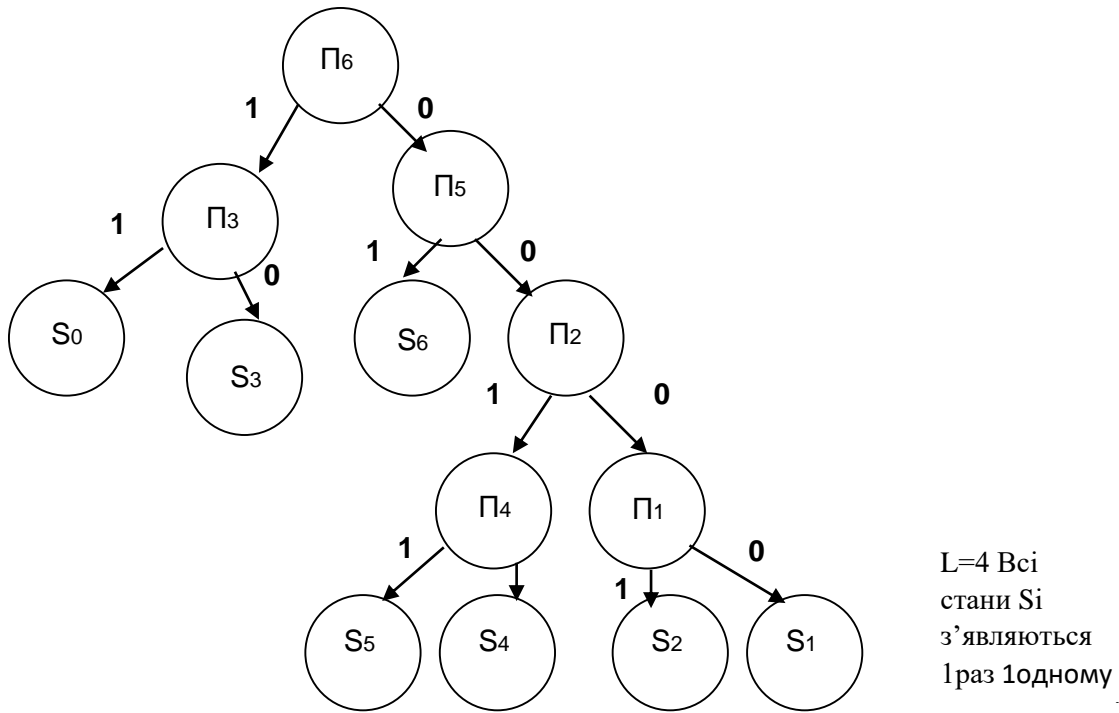


Рисунок 3.11,в – Граф причинно-наслідкових зв'язків.  
 Наступна схема.

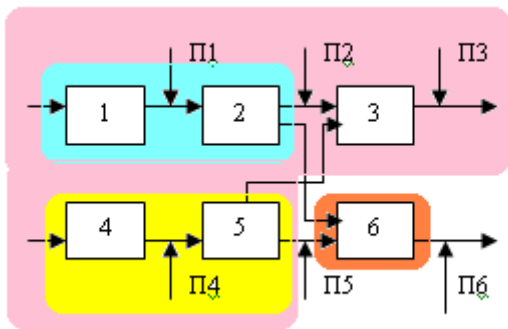


Рисунок 3.12,а – Приклад моделі.

Можемо почати будувати граф з П3 чи П6

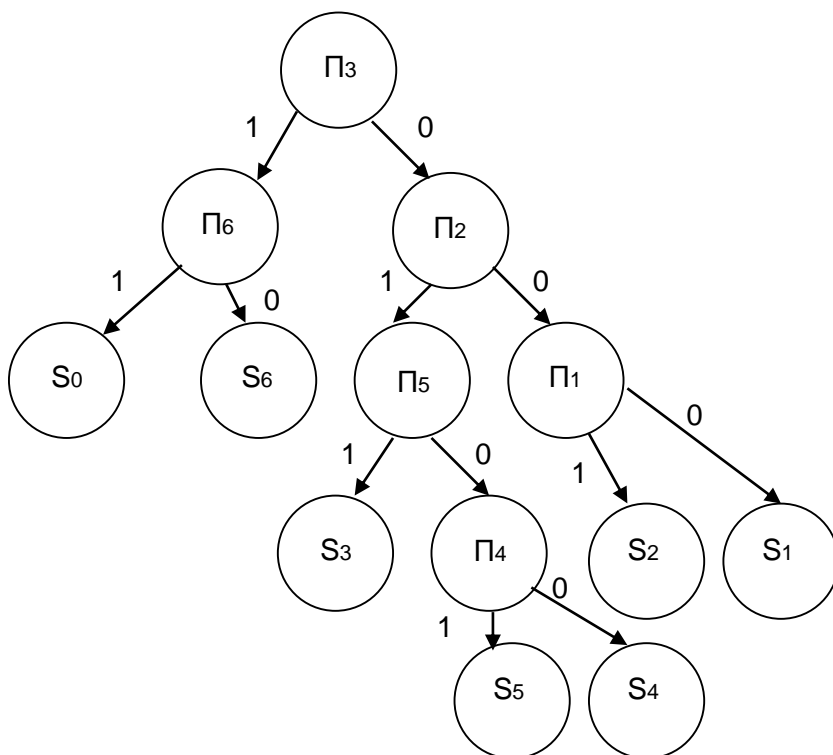


Рисунок 3.12,б – Граф причинно-наслідкових зв'язків.

$L = 4$ . Висновок – перевірка аналогічна попередньому прикладу.

### 3.3 Методи та системи тестового діагностування

*Тестове діагностування* – діагностування об'єкта при впливі загальних сигналів, що подаються (ініціюються) на входах [19,20].

Вплив, що ініціюється, може бути:

- Подача спеціальних сигналів.
- Зміна режимів використання ОД.
- Зміна режимів електроживлення чи постачання.
- Фізичний поділ на частини з наступною перевіркою.
- Заміщення частини системи іншою, стан якої відомий (режим емуляції).

При тестовому діагностуванні об'єкт може працювати в звичайному режимі, але не виконувати свої функції за призначенням.

При ТД виділяємо дві особливості:

1. Вибір тесту обов'язково вимагає розгляду можливих реакцій об'єкта при його тестуванні.
2. Необхідно знати еталонні реакції на можливі технічні стани.

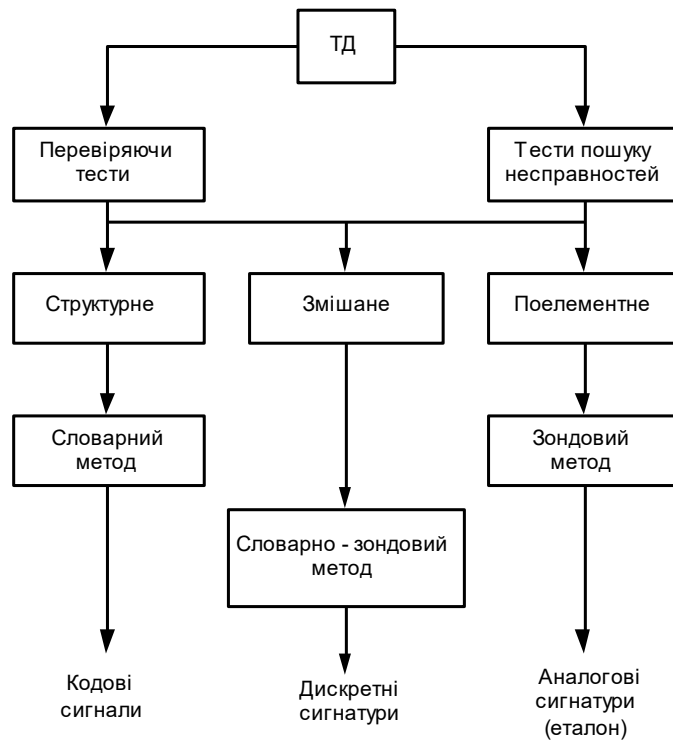


Рисунок 3.13- Класифікація тестового діагностування

### *Метод зосередженого ядра*

Розглянемо приклад 1 технічного діагностування [19].

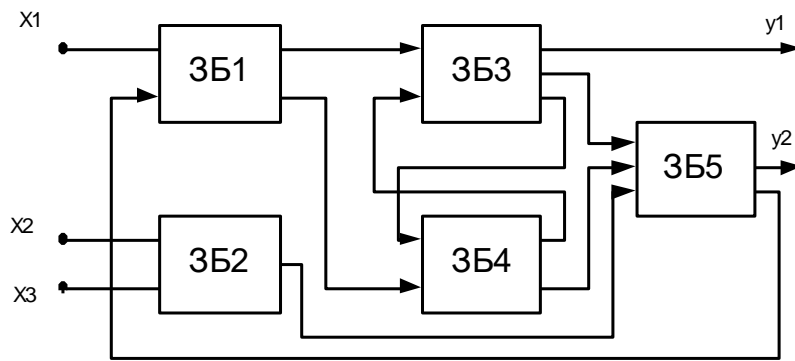


Рисунок 3.14– Блок-схема об'єкта діагностування.

Система складається з п'яти змінних блоків.

ЗБ1, ЗБ2 мають вхідні зовнішні зв'язки ( $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$ ); ЗБ3, ЗБ4 - перехресні зв'язки. В такому вигляді ми можемо тільки сказати про працездатність.

Граф до цієї схеми поданий на рисунку 3.15:

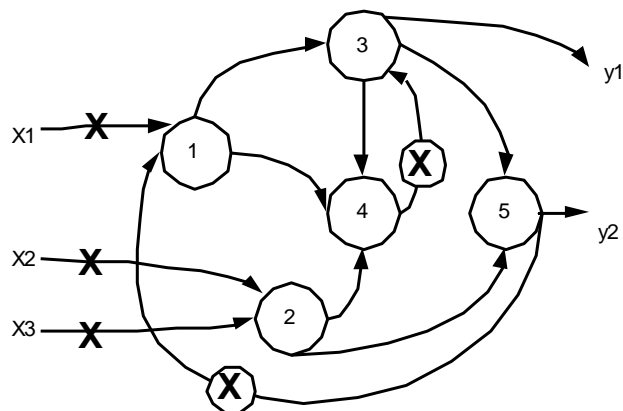


Рисунок 3.15,а– Граф блок-схеми, що поданий на рисунку 3.14

Хрестиками X позначені розриви для подальшого ранжування графу.

Цей граф має две петлі (два зворотніх зв'язки).

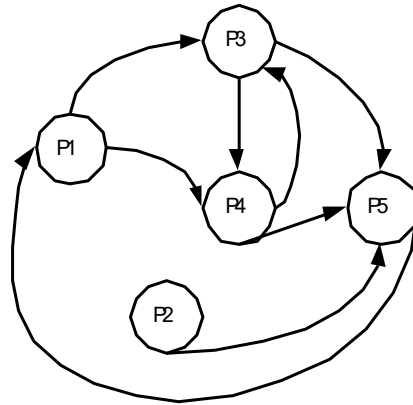


Рисунок 3.15,б – Граф причинно – наслідкових зв'язків об'єкта після виконання розриву петель

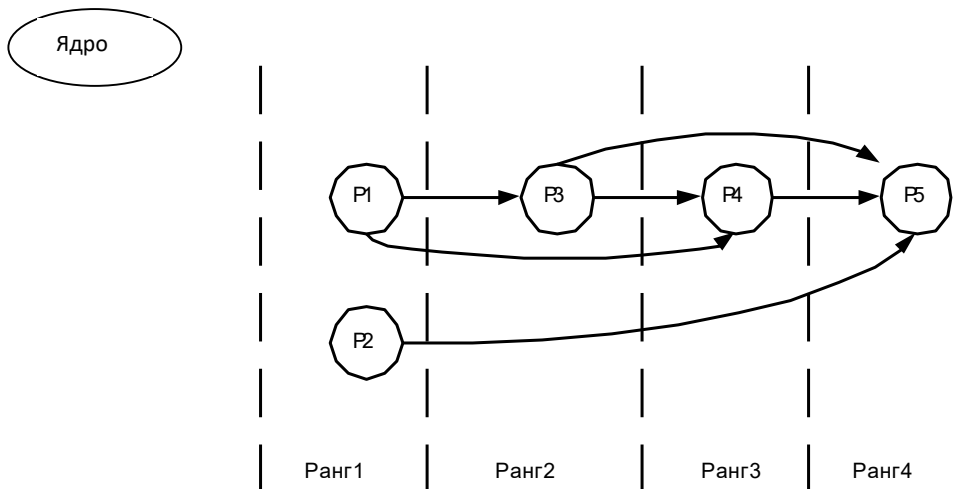


Рисунок 3.16– Ранжований граф причинно – наслідкових зв'язків

Зробимо перетворення графа за рахунок розриву петель (рисунок 3.15,б), тому що зовнішні впливи при тестовому діагностуванні нас не цікавлять, а також необхідно уникнути зворотнього зв'язку.



Таким чином одержаний лінійний чотирьохранговий граф, в якому є тільки прямі зв'язки. Були використані елементи керованого розриву (ЕКР) для розриву зв'язків між блоками, що має 3 входи і 1 вихід.

ЕКР можуть бути: безконтактні і контактні.

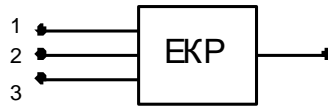


Рисунок 3.17 -Схема елемента керованого зв'язку

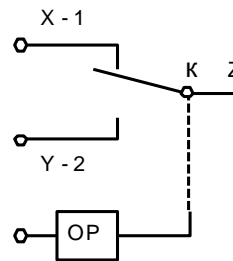


Рисунок 3.18 - Схема контактної ЕКР

x – нормально замкнений контакт;

y – нормально розімкнений контакт;

OP – обмотка реле.

Під впливом струму контакт замикається. Отримуємо розрив кола.

Останнім часом засіб технічного діагностування - внутрішній, тобто вмонтований в ОД, але може бути і зовнішнім.

Призначення ЗТД:

1. підготовчі операції до тестування;
2. формування випробувальних тест-систем через ЕКР в послідовності, у згоді з ранжированим графом;

3. вимірювання реакцій на тестові впливи;
4. визначення технічного діагнозу по станах відповідних блоків, що фіксуються в схемах порівняння реакцій з еталонами.

Можуть бути схеми з пам'яттю і без пам'яті.

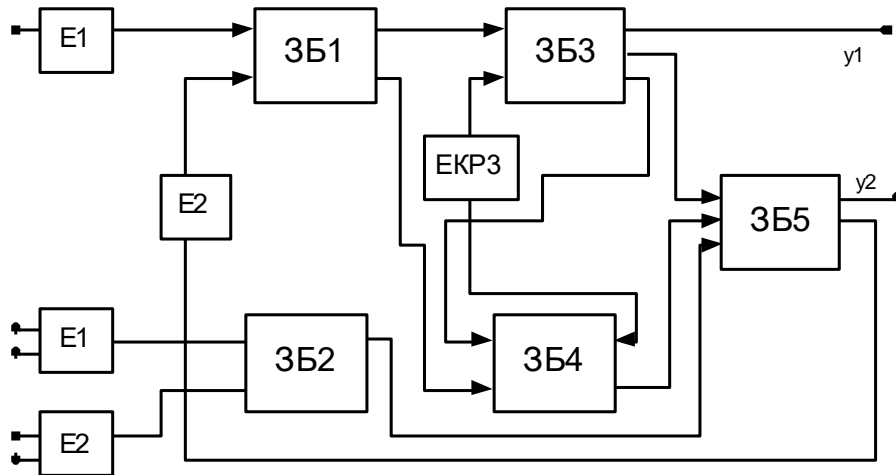


Рисунок 3.19– Приклад схеми з ЕКР,

де  $E1 = EKP1$ .

ЗТД, яке й є так зване ядро, працює по *алгоритму послідовного діагностування*, у згоді з ранжованим графом. Спочатку ЗТД перевіряє блоки першого рангу. Якщо є несправність – несправний ЗБ ремонтується. Після ремонту по зворотньому зв'язку у ЗТД поступає повідомлення, що всі ЗБ першого рангу справні та працездатні. Ядро розширюється і вже складає ЗТД плюс всі блоки першого рангу. Далі перевіряються блоки другого рангу: якщо є несправність (про це є повідомлення по зворотньому зв'язку в ядро) - блок ремонтується. У випадку, якщо всі блоки справні, переходять до наступного рангу, а працездатний попередній вже входить в ядро. Отже, попередні ранги використовуються для формування тестів діагностування блоків наступних рангів.

Метод зосередженого ядра (інша назва: метод розширювальних областей) застосовується для великої глибини пошуку дефектів ОД. Для зручності та економічності необхідний єдиний тестовий сигнал, який повідомляє про несправність об'єкта на кожному ранзі. Це здійснюється через додавання до засобів діагностування пристрою аналізу та ідентифікації (ПАІ), поклавши на нього тільки вироблення сигналу про несправність. Якщо цей сигнал обробляти каскадним з'єднанням схем стиску, то ПАІ стає таким, що самоперевіряється і не вписується в ядро, крім вихідних ланцюгів послідовної схеми стиску.

Якщо на схему самодіагностування покласти функції пошуку, перевірки та виправлення несправності об'єкта з глибиною до блоку, тоді засобу ТД досить подати з ПАІ  $n_i$  - виходів ( $i = 1, \dots, n$ ) елементів додавання по модулі 2.

Для кожного блоку  $P_i$  входів, перевірка его справності повинна належати підмножині. Це здійснено за умови:  $|\{X\}_0^1| = 2^{n_i}$ .

### Метод розподіленого чи ядра метод взаємної перевірки

Припускається, що заданий об'єкт складається з  $n$  частин, що в свою чергу складаються з блоків  $P_1, \dots, P_n$ , і забезпечений функціональним діагностуванням [19,21].

Включення в роботу системи самодіагностування для перевірки справності об'єкту і пошуку його дефектів з глибиною до змінних субблоків може відбуватися або по сигналу від засобів функціонального діагностування, або по команді людини-оператора. В обох випадках перед початком самодіагностування невідомо скільки блоків об'єкту

пошкоджені (не всі несправності порушують правильне функціонування об'єкту взагалі або на певному відрізку часу). Бо в системах самодіагностування по принципу розподіленого ядра одні блоки об'єкту перевіряють технічний стан інших його блоків. При розробці таких систем необхідно задатися числом  $t$  блоків, що можуть бути водночас пошкодженими. При  $t > 2$  процес самодіагностування можна організувати по-різному: можна забезпечити паралельний пошук всіх  $t$  пошкоджених блоків, а можна шукати пошкоджені блоки послідовно. У останньому випадку діагностування виконується багатократно, і кожний раз вказується один або декілька пошкоджених блоків. Після відновлення або заміни цих блоків процес триває до отримання інформації про те, що об'єкт справний [19].

Нехай блок  $P_i$  може діагностувати (перевіряти) блок  $P_j$  об'єкту. Тоді між блоками  $P_i$  і  $P_j$  є відповідні канали зв'язку для передачі тестового впливу від  $P_i$  до  $P_j$  і відповідей на цей вплив від  $P_j$  до  $P_i$ . Будемо називати такий зв'язок *перевірочним*. Число і склад, тобто структура необхідних перевірочних зв'язків між блоками об'єкту істотно залежать від значення  $t$  і від засобу діагностування (паралельного або послідовного).

Структуру перевірочних зв'язків об'єкту наочно можна представляти *графом перевірочних зв'язків*,  $n$  вершин якого відповідають блокам  $P_1, \dots, P_n$  об'єкту, а дуги -- перевірочним зв'язкам. Причому дуга  $b_{ij}$ , виходить з вершини  $P_i$  і заходить у вершину  $P_j$ , відповідає тому, що блок  $P_i$  може перевіряти блок  $P_j$  (блок  $P_j$  може перевірятися блоком  $P_i$ ).

При заданому  $t$  і вибраному засобі діагностування можливі в загальному випадку різноманітні варіанти структур перевірочних зв'язків

між  $n$  блоками об'єкту. Розглянемо питання про отримання структур перевірочних зв'язків з мінімальним числом останніх.

Будемо виходити з того, що до початку процесу самодіагностування відомо лише, що число пошкоджених блоків не перевищує  $t$ , а після виконання процесу самодіагностування відносно кожного перевірочного зв'язку (дуги)  $b_{ij}$  відомий результат  $r_{ij}$  перевірки блоку  $P_j$  блоком  $P_i$ .

Теоретичними можливими значеннями результату  $r_{ij}$  є наступні:

$$r_{ij} \begin{cases} 0, \text{ якщо } P_i \text{ справний і } P_j \text{ справний;} \\ 1, \text{ якщо } P_i \text{ справний і } P_j \text{ пошкоджений;} \\ X \text{ (невизначене значення, 0 або 1), якщо} \\ P_i \text{ пошкоджений.} \end{cases}$$

Таким чином, кожному перевірочному зв'язку  $b_{ij}$  відповідає результат перевірки  $r_{ij} = \{0, 1, x\}$ , а будь-якій упорядкованій групі (сукупності) перевірочних зв'язків-трійковий вектор відповідних теоретичних можливих результатів перевірки. Фактичні результати перевірки залежать від технічного стану блоків і можуть приймати тільки два значення 0 і 1, причому  $r_{ij} = 0$  може означати як справність обох блоків  $P_i$  і  $P_j$ , так і несправність блоку  $P_i$ , а  $r_{ij} = 1$  - як справність  $P_i$  при зламаному  $P_j$ , так і несправність  $P_i$ . Іншими словами, при одному і тому ж трійковому векторі результатів, що містить  $k$  значень  $x$ , може бути отриманий будь-який з  $2k$  двоїкових векторів фактичних результатів. У відповідності зі сказаним виникає задача визначення умов, при яких по двійковому вектору фактичних результатів перевірки можна однозначно визначити справні і пошкоджені блоки об'єкту.

Для вирішення цієї задачі представляє інтерес дослідження векторів результатів, відповідних групам перевірочних зв'язків, що створюють

елементарні контури в графі, що задає структуру зв'язків. Якщо елементарний контур містить  $z=t$  блоків і всі фактичні результати перевірки рівні 0, то або всі блоки контура справні, або всі вони пошкоджені. Якщо ж такі (нульові) результати отримані для контура довжини  $z < t+1$ , то всі  $z$  блоків контура справні (в протилежному випадку серед отриманих результатів повинна міститися хоча б одна 1, бо число несправностей не перевищує  $t$ ).

Розглянемо приклад 2.

Нехай пошкодженими є блоки  $P_i, P_{i+1}, \dots, P_{i+t-1}$  (рисунок 8.10). До того ж блоки  $P_{i+t}, P_{i+t+1}, \dots, P_{i-1}$  послідовно з'єднані в ланцюг довжиною  $t+1$ . Результати перевірок для перевірочних зв'язків цього ланцюга мають нульове значення:  $r_{i,j+t} = 0$  для  $j=i+t, i+t+1, \dots, i-2$ , а результат  $r_{i-1,i} = 1$ .

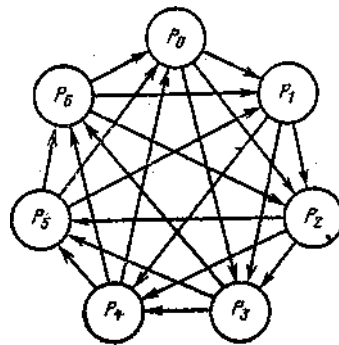


Рисунок 3.20 -- Структура перевірочних зв'язків об'єкту, що діагностується паралельно, для  $n=7$  і  $t=3$ .

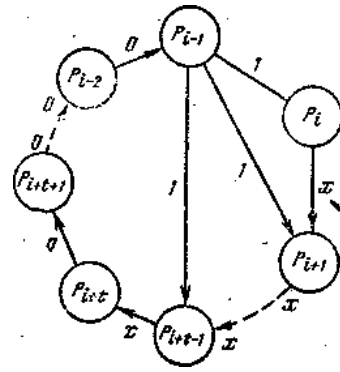


Рисунок 3.21 – Ланцюг пошкоджених блоків у зовнішньому контурі.

Припустимо, що блок  $P_{i-1}$  пошкоджений. Тоді повинні бути пошкодженими всі  $t$  блоків  $P_{i,j}$ ,  $j=i+t, i+t+1, \dots, i-2$ , так як  $r_{j,j+1}=0$ . При цьому загальне число пошкоджених блоків буде  $t+1$ , що суперечить припущенню про число можливих несправностей. Отже, блок  $P_{i-1}$  справний і перевіряє всі пошкоджені блоки  $P_i, P_{i+1}, \dots, P_{i+t}$ , тобто об'єкт є паралельно діагностованим також відносно  $t$  пошкоджених блоків, послідовно розташованих у зовнішньому контурі структури перевірочних зв'язків.

Розшифровка результатів паралельного діагностування об'єкту полягає в тому, щоб або знайти елементарний контур довжини не менше  $t+1$  з нульовими результатами перевірки, або, якщо такого контура не виявиться, знайти ланцюг довжини  $t+1$  у зовнішньому контурі такий, щоб всі відповідні його перевірочним зв'язкам результати перевірки були рівні 0, а результат, відповідний зв'язку між останнім блоком ланцюга і наступним за ним блоком контура, рівний 1 при рівно  $t$  сусідніх пошкоджених блоках. Виявлені при цьому справні блоки (контура або ланцюга) однозначно визначають всі пошкоджені блоки.

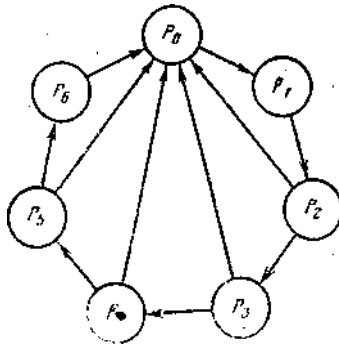


Рисунок 3.22 – Результат діагностування.

Приклад 3 Проілюструємо сказане на прикладі структури рисунку 3.16 ( $n=7$ ,  $t=3$ ).

При пошкоджених блоках  $P_1$  і  $P_2$  повнозв'язаним є контур  $(P_0, P_3, P_4, P_5, P_6)$  довжини  $5 > t+1=4$ , причому  $r_{03}=r_{34}=r_{45}=r_{56}=r_{60}=0$ .

При пошкоджених блоках  $P_1, P_2$  і  $P_4$  маєтся контур  $(P_0, P_3, P_5, P_6)$  довжина  $4=t+1$ , причому  $r_{03}=r_{35}=r_{56}=r_{60}=0$ .

При пошкоджених блоках  $P_1, P_2$  і  $P_3$  маємо ланцюг  $(P_4, P_5, P_6, P_0)$ , що задовольнить наведеним вище умовам:  $r_{45}=r_{56}=r_{60}=0$ ,  $r_{04}=1$ .

Об'єкт називається послідовно діагностованим відносно пошкоджених блоків  $t$ , якщо хоча б один пошкоджений блок може бути знайдений без заміни за умови, що число пошкоджених блоків не перевищує  $t$ .



Структури перевірочних зв'язків для послідовно діагностованих об'єктів можуть містити менше число перевірочних зв'язків, ніж структури паралельно діагностованих об'єктів. Для послідовного діагностування умова  $n > 2t + 1$  дотримується, однак дотримання умови, щоб кожний блок перевірявся  $t$  іншими блоками, не вимагається.

Прикладом структури, що забезпечує послідовне діагностування  $t$  пошкоджених блоків, є структура з  $n > 2t - 2$  перевірочними зв'язками, побудована слідуючим чином. Всі  $n$  блоків  $P_0, P_1, \dots, P_{n-1}$  об'єкту об'єднуються в контур (для кожного  $i = \overline{1, \dots, n-1}$  є зв'язок  $b_{i, i+1}$ ). Серед блоків  $P_0, P_1, \dots, P_{n-2}$  вибираються будь-які  $2t - 2$  блоків і від них організуються перевірочні зв'язки до блоку  $P_0$ . Приклад такої структури для  $n = 7$  і  $t = 3$ , показаний на рисунку 3.18.

Розшифровка результатів діагностування виробляється шляхом підрахунку числа одиничних значень результатів перевірки, відповідних перевірочним зв'язкам, що ведуть до блоку  $P_0$  діагностованого об'єкту, якщо це число більше  $t$ , то  $n = 7$  і  $t = 3$ .

З визначеної властивості контурів довжини  $z > t + 1$  випливає, що структура перевірочних зв'язків, являє собою граф з  $n$  вершинами і наявністю перевірочних зв'язків між кожною парою вершин в обох напрямках, забезпечує діагностування  $t$  пошкоджених блоків, якщо  $n > 2t + 1$ . У такій структурі для будь-якої сукупності блоків завжди є елементарний контур, що охоплює їх. Значить, при  $t$  пошкоджених блоках в об'єкті є елементарний контур, що охоплює не менше ніж  $t + 1$  справних блоків.

Діагностування об'єкту, що є структурою перевірочних зв'язків у вигляді повнозв'язаного графа з двонаправленими зв'язками, виробляється слідуючим чином. Знаходиться елементарний контур довжини  $t + 1$ , всім

зв'язкам якого відповідають нульові фактичні результати. Всі блоки цього контура справні. Після цього вибирається будь-який один справний блок, і по одиничним результатам перевірки, відповідним виходити з цього блоку зв'язкам, визначаються всі пошкоджені блоки об'єкту.

Якщо  $n < 2t + 1$ , то при будь-якій структурі перевірочних зв'язків (в тому числі у вигляді повнозв'язаного графа з двонаправленими зв'язками) не всі пари різноманітних технічних станів об'єкту розпізнаються. Справді, нехай  $n = 2t$ , і в об'єкті є  $t$  пошкоджених і  $t$  справних блоків. Всім перевірочним зв'язкам між парами справних блоків відповідають нульові результати, а всім зв'язкам, що ідуть від справних блоків до пошкоджених, — одиничні результати. З іншого боку, нульові фактичні результати можуть бути отримані також для всіх зв'язків між парами пошкоджених блоків і одиничні фактичні результати для всіх зв'язків, що ідуть від пошкоджених блоків до справних. Таким чином, два різних технічних стани об'єкту виявляються не розпізнаними.

Отже, якщо об'єкт діагностуємо відносно  $t$  пошкоджених блоків, то повинно виконуватися умова  $n \geq 2t + 1$ . Навпаки, при  $n < 2t + 1$  об'єкт діагностуємо відносно  $t$  пошкоджених блоків.

Структури у вигляді повнозв'язаних графів з двонаправленими зв'язками задовольняють приведеним умовам, але є зайвими. Розглянемо отримання більш ефективних структур перевірочних зв'язків для паралельного і для послідовного діагностування об'єкту окремо.

Об'єкт називається *паралельно діагностованим* відносно  $t$  пошкоджених блоків, якщо всі пошкоджені блоки можуть бути знайдені без заміни за умови, що число пошкоджених блоків не перевищує  $t$ . В паралельно діагностованому об'єкті кожен його блок повинен перевірятися не менше

ніж  $t$  іншими блоками. При цій умові для будь-якого зламаного блоку серед  $t$  блоків, що перевіряються завжди буде хоча б один справний, що і забезпечить отримання вірогідного виявлення про несправність блоку. Паралельно діагностований об'єкт відносно  $t$  пошкоджених блоків називається *оптимальним*, якщо в його структурі перевірочних зв'язків  $n=2t+1$  кожний блок перевіряється точно  $t$  іншими блоками.

Серед можливих структур перевірочних зв'язків, що забезпечують умови оптимальності паралельно діагностованих об'єктів виділимо регулярні структури, у яких всі блоки мають однакові перевірочні зв'язки, тобто побудовані по якомусь одному принципу.

Пренумеруємо  $n$  блоків об'єкту нижніми індексами від 0 до  $n-1$ :  $P_0, P_1, \dots,$

$P_{n-1}$ . З'єднаємо перевірочними зв'язками кожний блок  $P_i, i=0, 1, \dots, n-1$ , з  $t$  наступними за ним блоками  $P_{i+1}, P_{i+2}, \dots, P_{i+t}$ . Тут і надалі значення нижніх індексів беруться по модулю  $n$ . У такій структурі поряд з іншими контурами є контур (будемо називати його зовнішнім), у якому послідовно з'єднані блоки  $P_0, P_1, \dots, P_{n-1}$ .

Приклад 4. Побудуємо регулярну структуру паралельно діагностованого об'єкту для  $n=7$  і  $t=3$ . Структура показана на рисунку 8.9. Блок  $P_0$  перевіряє блоки  $P_1, P_2$  і  $P_3$ , блок  $P_1$  — блоки  $P_2, P_3, P_4$  і т.д., блок  $P_6$  — блоки  $P_0, P_1$  і  $P_2$ .

Так побудована регулярна структура перевірочних зв'язків має таку властивість, що при будь-якому розташуванні  $k < t$  пошкоджених блоків існує елементарний контур, що охоплює інші  $n-k > t+1$  справних блоків. Ця властивість зберігається також для  $t$  пошкоджених блоків: якщо вони не є сусідніми (не створюють ланцюг) у зовнішньому контурі структури.

Особливим є випадок, коли  $t$  пошкоджених блоків утворюють ланцюг в зовнішньому контурі структури. Розглянемо цей випадок.

Приклад 5. Розглянемо приклад пошуку пошкоджень блоків в структурі рисунок 3.20. Нехай отримані фактичні значення результатів  $r_{ij}$  перевірок, наведені в стовбці 1 таблиці 3.5.

Таблиця 3.5

№п/п	$i-j$	1	2	3
1	0-1	1	1	0
2	1-2	0	0	0
3	2-3	0	0	0
4	3-4	0	0	0
5	4-5	1	1	1
6	5-6	0	0	0
7	6-0	1	0	0
8	2-0	1	0	0
8	3-0	1	0	0
10	4-0	0	0	0
11	5-0	1	1	1

Збільшення (відносно  $n$ ) числа  $t$  несправних блоків, а також спрощення процедур діагностування можливо, якщо прийняти припущення, що несправний блок  $P_i$ , що перевіряє несправний блок  $P_j$ , не може видати фактичне значення результату, рівне 0, тобто не може прийняти несправний блок  $P_j$  за справний.

При цьому теоретичними можливими значеннями результату  $r_{ij}$  є наступні:

$$r_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } P_i \text{ справний і } P_j \text{ справний;} \\ 1, & \text{якщо } P_j \text{ пошкоджений;} \\ X & \text{(невизначене значення, 0 або 1), якщо} \end{cases}$$

$P_i$  пошкоджений і  $P_j$  справний.

Визначене припущення показує практично прийнятну ситуацію, що полягається в наступному. Пошкоджений блок  $P_i$ , подаючи тестовий вплив (можливо, невірний) на пошкоджений блок  $P_j$ , не може одержувати з виходів останнього (в більшості випадків) правильну вихідну послідовність. Якщо з виходів блоку  $P_j$  на блок  $P_i$ , надходить невірна вихідна послідовність, то остання не повинна бути оцінена блоком  $P_i$  як правильна вихідна послідовність. Це можливо, наприклад, в тому випадку, коли схеми дешифрації в блоку  $P_i$  постачені самоперевіряючими ЗВК.

Таким чином, тепер значення  $r_{ij}=0$  результату перевірки однозначно вказує на те, що блок  $P_j$  справний.

При прийнятій пропозиції в об'єкті з  $n$  блоків може бути організована структура перевірочних зв'язків, що забезпечує паралельне діагностування відносно  $t > n-2$  пошкоджених блоків. Ця оцінка допустимого числа  $t$  водночас пошкоджених блоків істотно вище колишньої оцінки.

Результати, відповідні зв'язкам, ведучим до блоку  $P_0$ , розміщені в рядках 7-11 таблиці. Число одиниць в цих рядках дорівнює  $4 > t = 3$ . Отже, блок  $P_0$  пошкоджений. Після заміни цього блоку одержуємо значення результатів, приведені в стовбці 2 таблиці. Блок  $P_0$  тепер фіксує несправність блоку  $P_1$  ( $r_{01}=1$ ). Замінюємо блок  $P_1$  і фіксуємо результати перевірки (стовбчик 3 таблиці). Минаючи зв'язки зовнішнього контура, знаходимо, що блоки  $P_2$ ,  $P_3$  і  $P_4$  справні, а блок  $P_5$  пошкоджений. Виявлені всі  $t=3$  пошкоджених блоки. На цьому процес діагностування закінчується.

Збільшення (відносно  $n$ ) числа  $t$  пошкоджених блоків, а також спрощення процедур діагностування можна досягнути, якщо прийняти припущення, що пошкоджений блок  $P_i$ , блок, що перевіряє пошкоджений  $P_j$ ,

не може видати фактичне значення результату, рівне 0, тобто не може прийняти пошкоджений блок  $P_j$  за несправний.

Паралельно діагностована структура оптимальних перевірочних зв'язків для довільного  $n$  для будь-якого  $t \geq n-2$  будується слідуючим чином: кожний блок  $P_i$ ,  $i=1, 2, \dots, n$ , з'єднується із дугою, що в нього заходить з блоками  $P_{i+1}, P_{i+2}, \dots, P_{i+t}$ . Число зв'язків при цьому рівно  $nt$ . В цих структурах при числі пошкоджених блоків, не що перевищує  $t$ , всі справні блоки визначаються негайно, бо всім, що заходять в ці блоки, зв'язкам тепер будуть відповідати нульові значення результатів перевірки.

Послідовно діагностовані структури перевірочних зв'язків для будь-якого  $n$  і  $t \geq n-2$  будуються таким чином, щоб граф виявився зв'язним і щоб в кожній сукупності з  $n - t$  блоків (щонайменше два блоки) мали між собою перевірочний зв'язок. У таких структурах при  $t$  пошкоджених блоках серед  $n - t$  інших блоків знайдеться пара блоків  $P_i, P_j$ , для яких буде отримано  $r_{ij}=0$ , що вкаже на справність блоку  $P_i$  (або  $P_j$ ).

### ***Контрольні запитання до 3-го розділу***

- 3.1 Визначення класичного поняття технічної діагностики.
- 3.2 Визначення понять: тестопридатність, відмовостійкість систем, стійкість інформації.
- 3.3 Принципи технічної діагностики як наукової дисципліни.
- 3.4 Сучасна трактовка технічної діагностики в умовах нейромережевої технології.
- 3.5 Властивості об'єкта діагностування відносно технічного стану.
- 3.6 Різновид подій, що пов'язані зі змінами станів об'єкта діагностування.

- 3.7 Задачі технічної діагностики.
- 3.8 Діагностичне забезпечення.
- 3.9 Діагностичні моделі.
- 3.10 Результати діагнозу для кожної задачі технічної діагностики.
- 3.11 Основний закон розподілу відмов.
- 3.12 Способи запобігання апаратурних відмов.
- 3.13 Види діагностування.
- 3.14 Метод зосередженого ядра.
- 3.15 Метод розподіленого ядра.

#### ***Розділ 4. Опрацювання вхідних даних комп'ютерних систем захисту інформації***

*Ключові слова: вхідні дані, опрацювання інформації, інтегральні методи діагностики і моделі, стиснення інформації, перцептрон, карта*

*Кохонена, радіально-базисні мережі*

*Keywords: input data, information processing, integrated diagnostic methods and models, information compression, perceptron, Self-organizing map — SOM, radial-basis networks*

#### ***4.1 Методика опрацювання та стиснення вхідних даних за інтегральними фізичними ефектами***

В умовах самодіагностування ( різновид робочого діагностування) системи вихідний сигнал виконує не тільки робочі функції ( функціонування), а є і аналоговою чи цифровою сігнатурою, що є інформацією про стан систем або потоки даних. При великих обсягах інформації по-перше, необхідне стиснення інформації [26,27]. Наступним етапом є її захист [14]. Безперечно, надійність самих комп'ютерних

систем захисту інформації повинна бути як мінімум на порядок вище від тієї, що передається.

Отже, для діагностування сучасних комп'ютерних систем захисту інформації використання моделей, методології, систем з елементами штучного інтелекту є актуальною задачею [38].

Вибір типу нейронних мереж, способів опрацювання накопичених даних для підвищення якості й достовірності результатів діагностування та їх дослідження на прикладах реалізації процесу діагностування їх складових компонентів є начальними етапами діагностування.

Проблеми, які потрібно вирішити:

- використання для отримання первинної діагностичної інформації електрофізичних методів, заснованих на інтегральних фізичних ефектах інерційності та нелінійності електричних компонентів;
- стиснення та інтелектуальний аналіз апостеріорної інформації з використанням нейронних мереж для електричних компонентів, що вивчаються за їх фізичним станом, у програмному комплексі MATLAB та його бібліотеці Neural Network Toolbox [29];
- класифікація та прийняття рішення про стан системи чи її складових частин аж до елементної бази або молекулярного рівня в теперішній момент часу, аналіз відмов та прогнозування стану при експлуатації.

#### ***4.1 Методика опрацювання та стиснення вхідних даних за інтегральними фізичними ефектами***

При використанні інтегрованих методів фізичної діагностики та отриманні діагностичної інформації використовуються інтегровані фізичні ефекти, які спостерігаються у фізичних середовищах різної природи [24]. Ці



загальновизначені ефекти включають інтегральні ефекти нелінійності, інерційності та флуктуацій. Поява цих ефектів пов'язана з робочими процесами в об'єкті (ОД), що підлягає діагностиці, і збудження має те ж саме походження. Це означає, що для спостереження інтегральних ефектів потрібні ті самі джерела активації енергії, які забезпечують робочий режим ОД під час його роботи. Якщо блоки мають електричну природу, то для інтегрованих методів діагностики необхідно використовувати електроенергію того ж рівня, що й для робочих процесів. Якщо є механічні виробы, то вони потребують механічної енергії тощо.

Методи технічного діагностування поділяються на локальні та інтегральні.

Локаль - це методи, які через вибір зовнішнього впливу, а також через сам алгоритм діагностування мають топографічний характер, у якому відтворюються різновиди фізичних властивостей в двовимірному та тривимірному просторі ( найпростіший приклад – рентген).

Недоліки локальних методів:

- 1) Джерела впливу мають іншу природу, ніж природа самого об'єкту, причому можуть бути шкідливими для людини.
- 2) Сама первинна інформація має характер надмірності, який потребує опрацювання з додатковою затратою часу та засобів визначення діагностичних ознак і параметрів.

Переваги локальних методів: вони дозволяють фіксувати місце дефекта, його розмір і причину появи.

До локальних методів відносяться, наприклад, радіохвильові, ультразвукові, акустичні, вихрові, тепловізійні.

Інтегральні методи діагностування дають комплексну оцінку внутрішнього стану ОД і відрізняються тим, що

- 1) Для активних впливів використовуються ті ж самі фізичні джерела, що подають на об'єкт діагностування робочі впливи.
- 2) Гранична (критична) інформація мінімальна, тобто немає надмірності – на вході чи виході.
- 3) Методи базуються на феноменологічних властивостей. Ці властивості поділяються на 3 групи: нелінійність, інерційність та флуктуація.

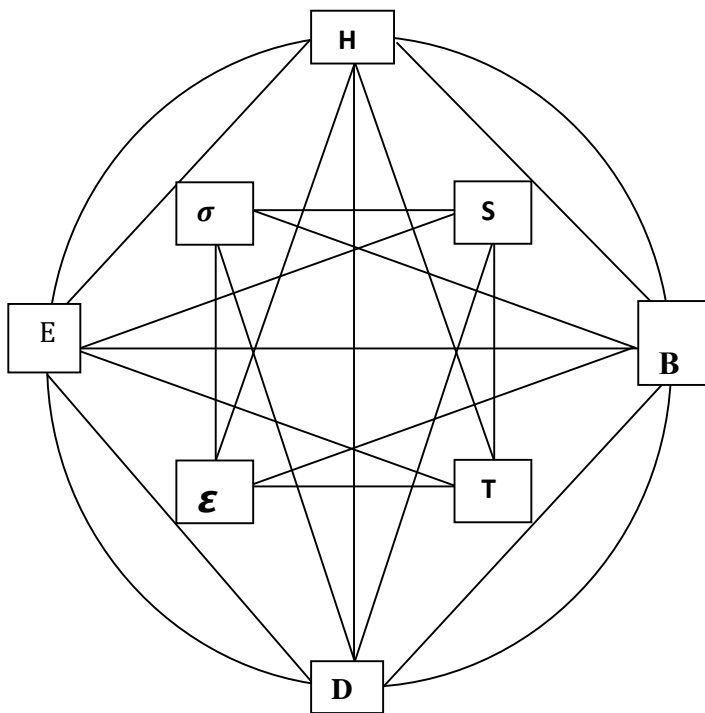


Рисунок 4.1 – Концептуальна модель фізичних властивостей середовища, де

$\sigma, \epsilon$  - характеристики механічних властивостей (внутрішня напруга, деформація),

$S, T$  – характеристики теплових властивостей (фізична ентропія, температура),

$D, E$  – характеристики електричних властивостей (поляризуємість, напруженість електричного поля),

$H, B$  – характеристики магнітних властивостей (напруженість магнітного поля, індуктивність).

У всіх випадках, крім дотримання правил безпеки під час експлуатації, немає необхідності застосовувати будь-які додаткові умови для захисту обслуговуючого персоналу. Основною перевагою інтегральних методів діагностики є їх висока ефективність за рахунок малого терміну експлуатації при зниженні оперативної складності та експлуатаційних витрат на процес діагностики. Сигнали діагностичної інформації частіше мають різновид аналогових сигнатур [24]. Тому ці методи добре підходять для оперативної діагностики в несприятливих умовах для виявлення не тільки явних дефектів, які викликають появу несправностей в ОД, але і для виявлення прихованих дефектів, які викликають раптові та поступові відмови з втратою робочого стану ОД.

Нелінійність – це феноменологічна властивість фізичного середовища об'єкта, що проявляється в непропорційному та неоднозначному характері його реакції на активацію дії фізичної величини залежно від зміни її значення та напрямку [24]. Ця властивість є фундаментальною як у природі, так і в техногенних продуктах. Це викликано дією великої кількості прямих і внутрішніх зв'язків між динамічною та дисипативною підсистемами фізичних середовищ, які можуть мати дуже різні пороги енергетичної активації в твердих тілах. Проявом нелінійності внутрішніх властивостей

фізичного середовища ОД є нелінійна зміна функції сприйнятливості на фізичному рівні або передатної функції на аналітичному описовому рівні. У зв'язку з цим всі види функціональних характеристик ОД мають ознаки нелінійності (як суттєвої, так і незначної) щодо експлуатаційних функцій об'єкта і можуть бути використані для визначення технічного стану ОД.

Але спостереження нелінійності у вигляді фізичних ефектів має дві особливості. По-перше, не існує певного виміру (або метричної шкали) нелінійності як фізичної величини, яка передає кількісне уявлення про властивості цього об'єкта. По-друге, у кількісному сенсі нелінійність є досить багатозначною, оскільки ця властивість не може бути достатньо ідентифікована за однією ознакою функціональних характеристик. Доводиться використовувати декілька ознак нелінійності, які вже складатимуть діапазон визначальних змінних (ступені поліномів, похідні різних порядків, кривизна першого і найвищого порядків тощо).

Що стосується властивості інерції, відповідний прояв інерційних ефектів, відповідний прояв інерційних ефектів, пов'язаний з переходними та імпульсними характеристиками ОД. Її реєстрація здійснюється шляхом дії активуючих величин на вході ОД у вигляді імпульсного стрибка або подвійного стрибка. При цьому в дисипативних підсистемах фізичного середовища починають діяти механізми перетворення енергії та механізми розсіювання енергії в навколишнє середовище [63].

Говорячи мовою фізики, у фізичному середовищі відбувається перехід з адіабатичного стану в ізотермічний, що впливає на перехідні характеристики фізичної системи активного середовища. Інтегральні характеристики перехідних процесів відображають макрохарактеристики локального середовища на проміжках часу. Таким чином, явні та приховані дефекти викликають зміни деяких перехідних та імпульсних характеристик.

Вимірювання цих характеристик реалізується у вигляді аналогових сигнатур, що відображають діагностичну інформацію про фізичний стан ОД.

Спостережливість відповідного стану ОД при перехідному процесі в дії після стрибка енергії під час застосування тестового збудження зумовлена різницею зміни масштабу часу або часу релаксації в підсистемах дисипативного збудження. Тому можна відобразити певні дисипативні процеси в залежності від постійного часу або часу релаксації. Відповідно, фіксуються або окремі параметри перехідного процесу, або передавальні функції. Для визначення фізичного стану ОД по його перехідним чи імпульсним характеристикам також можна порівняти ці характеристики як розмірний континуум фізичної величини, що змінюється з часом, зі стандартними характеристиками або аналоговими сигнатурами того ж типу.

#### Моделі первинної діагностичної інформації

При електрофізичному діагностуванні для отримання діагностичної інформації використовуються інтегральні фізичні ефекти нелінійності, інерційності та флуктуацій [24,26-28,40]. Інформаційна можливість методів електрофізичної діагностики по інтегральним фізичним ефектам може бути пояснена методом чорної шухляди як закритої системи [26]. Термін «чорна шухляда» зазвичай визначається як знання про навколишнє середовище, яке можна отримати, використовуючи лише вхідні та вихідні сигнали (інформацію).

Розглянемо модель чорної шухляди у вигляді

$$Y(t) = g(\cdot)U(t), \quad (4.1)$$

де  $U(t)$  – вхідна функція;  $Y(t)$  – вихідна функція;  $t$  – час.

Для фізичних об'єктів функція сприйнятливості  $g(\cdot)$ , складна функція середовища, являється комплексною функцією

$$g(\cdot) = \text{const } Re[g(\cdot)] + \text{var } Re[g(\cdot)] + j\{\text{const } Im[g(\cdot)] + \text{var } Im[g(\cdot)]\}, \quad (4.2)$$

де  $Re$  – дійсна частина функції;  $Im$  – уявна частина;  $\text{const}$  – постійна частина;  $\text{var}$  – змінювана частина, яка саме цікавить в діагностиці.

Для обґрунтування інформаційної можливості цього методу достатньо використувати тільки дійсну частину функції сприйнятливості

$$g(\cdot) = \text{const } Re[g(\cdot)] + \text{var } Re[g(\cdot)]. \quad (4.3)$$

Для діагностування резистивних структур за ефектом інерційності використовуються параметри та ознаки теплових перехідних характеристик (ПТХ), що є реакцією резистора як складного об'єкта під впливом електричного стрибка максимально неруйнівного значення.

При параметричній ідентифікації монотонних ПТХ на прикладі метало-діелектричних резисторів отримані експериментальні значення теплових та електричних констант  $t_{ei} = 0,57 \dots 1,8$  с, що відповідають розрахованим за тепловою моделлю резисторів. При непараметричній ідентифікації модель являє собою експоненціальний поліном другого порядку з постійними коефіцієнтами. Знак та відношення електричних констант  $t_{e1}$  та  $t_{e2}$  дозволяє оцінити вплив конкуруючих процесів у електро-радіокомпонентах при джоулевому нагріванні та прогнозувати стан по ПТХ.

Розглянемо інформаційну можливість електрофізичного методу діагностування за інтегральним ефектом нелінійності.

Згідно з формулою (4.1) та перетворенням Тейлора в [40] отримані характеристики ЕРК, серед яких розглянемо основні, що мають місце для опису інтегральних мікросхем :

Динамічний опір (1-ша похідна АВХ нелінійності):

$$R_g(I) = R_g + \sum_{i=1}^{\infty} b_{(R)_i} I^i, R_g = \text{const } \text{Re}[g(\cdot)], \text{var } \text{Re}[g(\cdot)] = \sum_{i=1}^{\infty} b_{(R)_i} I^i. \quad (4.4)$$

Вольт-фарадна характеристика (динамічна ємність):

$$C_g(U) = C_0 + \sum_{i=1}^{\infty} b_{(C)_i} U^i, C_0 = \text{const } \text{Im}[g(\cdot)], \text{var } \text{Im}[g(\cdot)] = \sum_{i=1}^{\infty} b_{(C)_i} U^i. \quad (4.5)$$

Ампер-генрієва характеристика (динамічна індуктивність):

$$L_g(I) = L_0 + \sum_{i=1}^{\infty} b_{(L)_i} I^i, L_0 = \text{const } \text{Im}[g(\cdot)], \text{var } \text{Im}[g(\cdot)] = \sum_{i=1}^{\infty} b_{(L)_i} I^i. \quad (4.6)$$

Загальний підхід до апаратурного забезпечення методів технічного діагностування достатньо повно надається в [40]. Одночасний та паралельний розвиток електрофізичних методів дозволив накопичити певні знання, які визначили методологію побудови інтелектуальних характерографів як діагностичних приладів і як датчиків інтелектуальних систем діагностування для накопичування нових знань.

#### **4.2 Опрацювання та стиснення інформації за інтегральними фізичними ефектами**

Для фізичних об'єктів функція сприйнятливості  $g(\cdot)$ , складна функція середовища, являється комплексною функцією

$$g(\cdot) = \text{const } \text{Re}[g(\cdot)] + \text{var } \text{Re}[g(\cdot)] + j\{\text{const } \text{Im}[g(\cdot)] + \text{var } \text{Im}[g(\cdot)]\}, \quad (4.7)$$

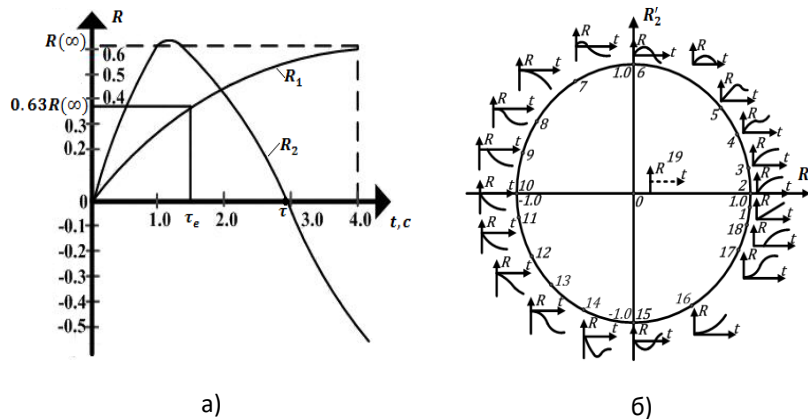
де  $Re$  – дійсна частина функції;  $Im$  – уявна частина;  $const$  – постійна частина;  $var$  – змінювана частина, яка саме цікавить в діагностиці.

Стиснення первинної діагностичної інформації про стан ЕРК виконано за допомогою дискретного розкладання Карунена-Лоева (ДРКЛ) [26,27], що є розкладанням ансамбля початкових векторів за власними векторами коваріаційної матриці:

$$z_i = \sum_{j=1}^m v_j r_{ij}, i = \overline{1, n}, n > m, \quad (4.8)$$

де  $z_i = \{z_{ij}\}$ ,  $j = \overline{1, m}$ ;  $m$  – число реалізацій початкових векторів;  $n$  – число незалежних базисних векторів;  $r_i = \{r_{ij}\}$ ;  $i = \overline{1, n}$ ;  $n$  – кількість досліджуваних початкових векторів;  $v_j = const$  – коефіцієнти ДРКЛ.

Досліджувалися перехідні теплові характеристики різних типів резисторів та характеристики нелінійності інтегральних мікросхем серії К174ХА11.





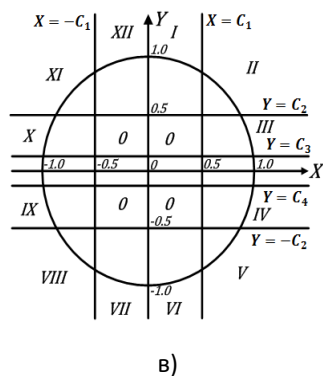


Рисунок 4.2 – а) Еталонні базисні функції при середньоквадратичній похибці  $E = 1\%$ ; б) типові ПТХ у евклідовому ортонормованому просторі, перетвореному з гільбертова; в) розподіл ознакового простору для класифікації за лінійним правилом, де  $\{-1,0\}$ ,  $\{1,0\}$  – координати придатних зразків;  $C_k$ ,  $C_k$  – границі класів,  $k = 1, \dots, 4$ .

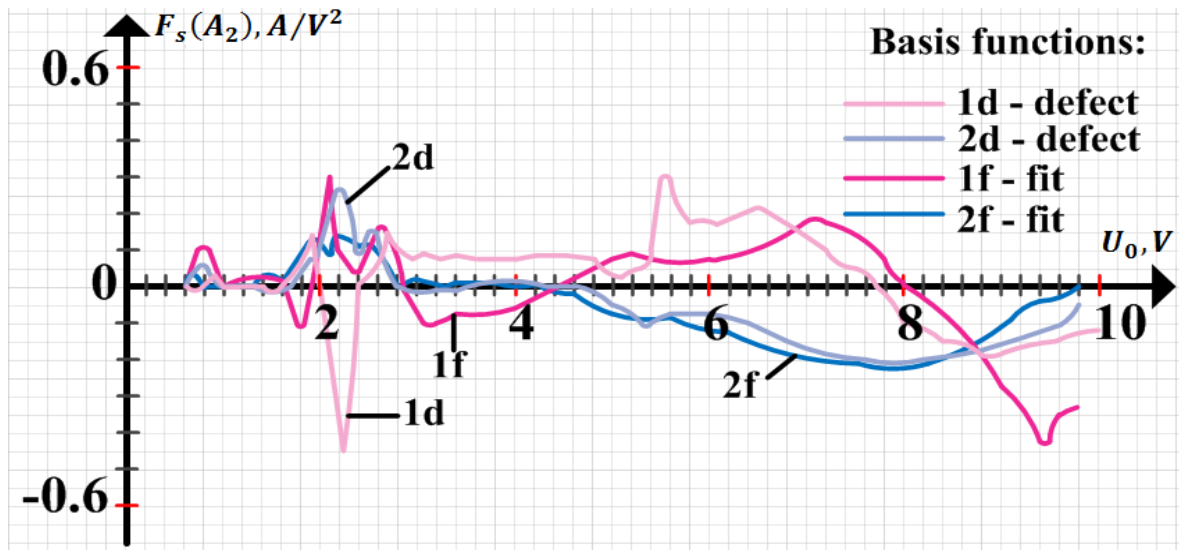
Таблиця 4.1 – Приклад класифікації резисторів [26]

Процедура	Об'єм виборки, одиниць	Численість класів, одиниць		Помилки класифікації		Кількість відмов
		П	Д	$E_1$	$E_2$	
Навчання	40	22	18	0,37	0	3
Іспит №1	46	25	21	0,32	0,021	6
Іспит №2	46	24	22	0,33	0	6

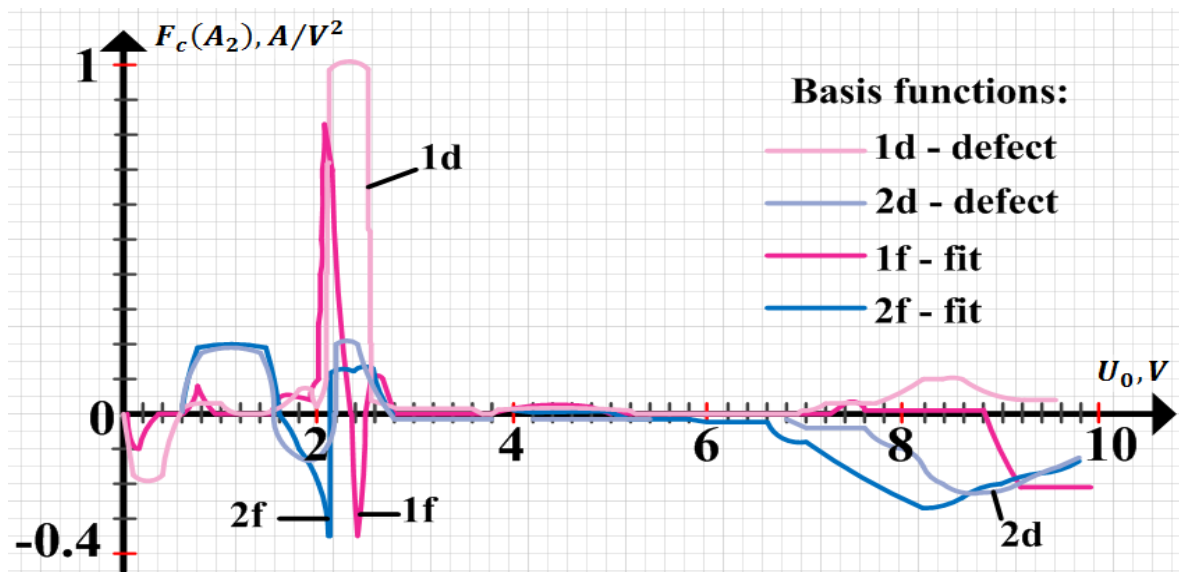
Результати навчання та розпізнавання ПТХ метало- діелектричних резисторів від 100 Ом до 270 кОм у кількості 600 одиниць за ДРКЛ приведені на рисунку 2,а,б,в. Приклад класифікації поданий в таблиці 4.1.

Подальші дослідження виконані для інтегральних мікросхем серії K174XA11 в кількості 160 одиниць на представницьких вибірках. Комплексні залежності квадратичної нелінійності за модулем та фазою, отриманих за методом різницевої частоти окремо для придатних та

дефектних зразків, перетворювалися на косинусні  $F_c[a_2(U_0)]$  та синусні  $F_s[a_2(U_0)]$  складові та обчислювалися за ДРКЛ [26].



а)



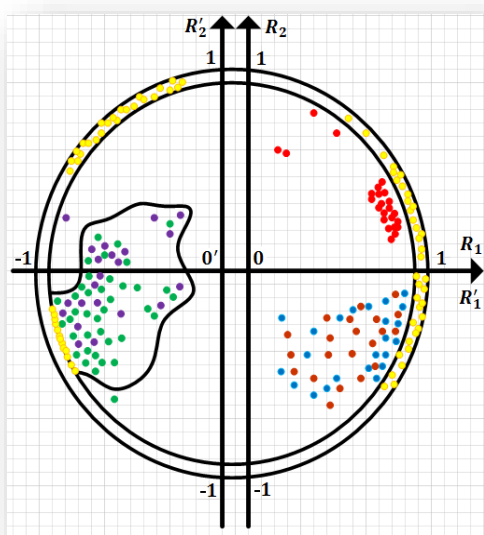
б)

Рисуно 4.3 – Залежності других похідних: а) активної (косинусної)  $F_c[a_2(U_0)]$  і б) реактивної (синусної)  $F_s[a_2(U_0)]$  компонент вольтамперних характеристик енергоспоживання мікросхем від вхідної напруги  $U_0$

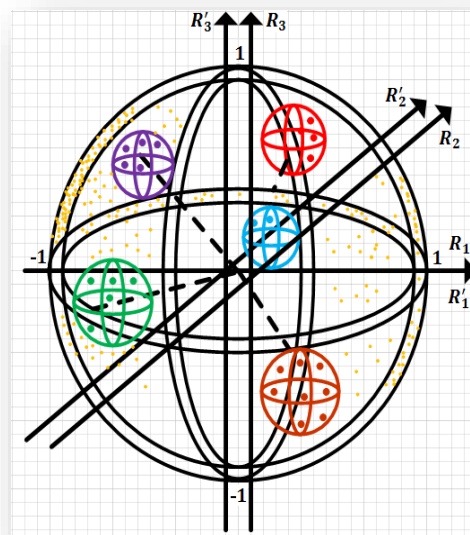
При заданій середньоквадратичній похибці перетворення 3% базис складався з 8 базисних функцій/векторів. Порівнюючи однойменні графіки рисунків 4,а,б, можна виявити найбільш інформативні ділянки нелінійних залежностей: (2,3) і (8,10) В для косинусних складових і весь інтервал (0.5,10) В для синусних.

Кількість необхідних базисних векторів дозволяє визначити розмірність ознакового простору при заданій похибці розкладання. Самі базисні вектори є статистичними еталонами дефектних і придатних зразків, а коефіцієнти розкладання - координатами простору.

Для більшої наочності гільбертовий простір замінений евклідовим. У двовимірному евклідовому ортонормованому просторі (рисунок 4.4,а) спостерігалися перетини безлічі придатних і дефектних зразків, обраних апріорі по паспортним даним. При цьому коефіцієнти ДРКЛ придатних мікросхем розташовувалися, у головному, поблизу кола одиничного радіуса, а дефектні зміщувалися в середину кола.



а)



б)

Рисунок 4.4 - Геометрична інтерпретація ДРКЛ: а) у двовимірному

евклідовому ортонормованому просторі (ліворуч – для косинусної складової, праворуч – для синусної); б) у тривимірному ортонормованому просторі векторів

При додаванні третього базисного вектору ортонормований простір косинусних векторів перетворився на півкулю ліворуч (рисунок 4,б). Точки відображених придатних зразків лежать у приповерхньому прошарку сфери одиничного радіусу, а відображення різних дефектів майже не перетинаються. У дійсності, простір нелінійних базисних векторів являє собою восьмивимірний еліпсоїд, при відображенні якого в евклідовому просторі з'являються складки та складання [27,63]. Таке «перекручування» простору не заважає природній класифікації дефектних та потенційно-ненадійних мікросхем, принаймні, на 5 класів, що на рисунку 4.4,б показані у вигляді малих сфер у середині головних півсфер.

Комплексні залежності квадратичної нелінійності за модулем та фазою, отриманих за методом різницевої частоти окремо для придатних та дефектних зразків, перетворювалися на косинусні  $F_c[a_2(U_0)]$  та синусні  $F_s[a_2(U_0)]$  складові та обчислювалися за ДРКЛ.

### ***4.3 Класифікація електро-радіокомпонентів за допомогою нейронних мереж***

Розглянемо багатовходовий перцептрон, нейрони якого мають активаційну функцію у вигляді одиничного стрибка. Робота перцептрона зводиться до класифікації вхідних сигналів, що належать  $k$ -вимірному гіперпростору ( $k=2, \dots, 8$ ), по деякому числу класів ( $w=4, \dots, 19$ ). З

математичної точки зору це відбувається шляхом розбивки гіперпростору гіперплощинами [28]. До випадку одношарового перцептрона підходить саме формула запису характеристик в базисі Карунена-Лоева при двох базисних векторах. Кожна отримана область є областю визначення окремого класу. Число таких класів для перцептрона не перевищує  $2^n$ , де  $n$  – число його входів.

Навчання перцептрона при трьох базисних векторах зводиться до формування ваг зв'язків між першим і другим шарами за відомим алгоритмом у MATLAB [29]. Збіжність алгоритму встановлюється теоремами [27,28]. Випробувано на 14 векторах для 4-х класів металодіелектричних резисторів, число факторів - ознак пророблялося від 5 до 20. Навчали двошарову нейронну мережу з зворотнім поширенням помилки.

#### Приклад 1

Предметна область - класифікація точок, заданих за допомогою координат (X,Y). Кількість класів - 4: 1)  $X>0$   $Y>0$  (00); 2)  $X<0$   $Y<0$  (11); 3)  $X>0$   $Y<0$  (01); 4)  $X<0$   $Y>0$  (10).

Навчання та розпізнання задовільно на площині.

#### Приклад 2

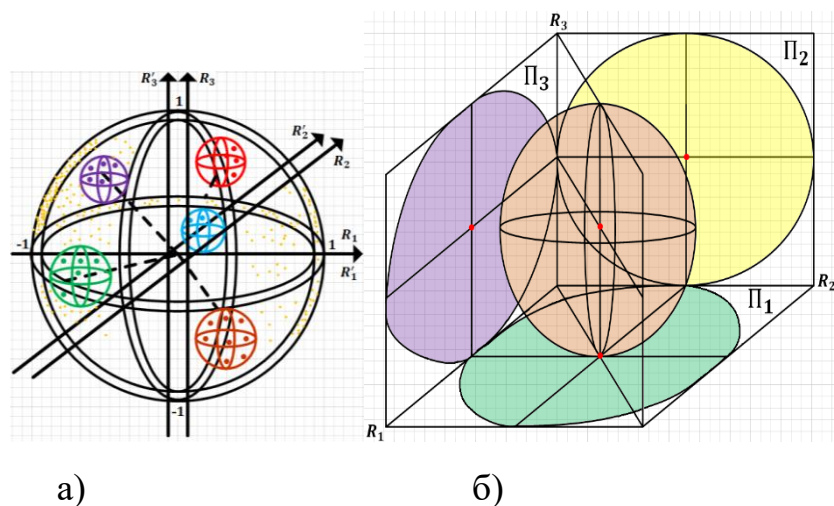
Предметна область - класифікація точок, заданих за допомогою координат (X,Y,Z). Кількість класів - 8: 1)  $X>0$   $Y>0$   $Z>0$  (000); 2)  $X>0$   $Y>0$   $Z<0$  (001); 3)  $X>0$   $Y<0$   $Z>0$  (010); 4)  $X>0$   $Y<0$   $Z<0$  (011); 5)  $X<0$   $Y>0$   $Z>0$  (100); 6)  $X<0$   $Y>0$   $Z<0$  (101); 7)  $X<0$   $Y<0$   $Z>0$  (110); 8)  $X<0$   $Y<0$   $Z<0$  (111).

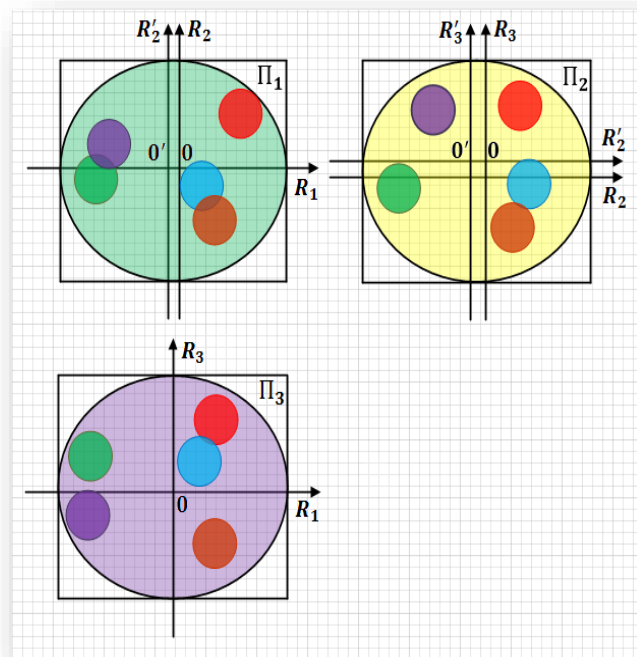
У базі даних мікросхем K174XA11X для навчання знайшлися дані тільки для класів 1,3,6,7,8. Навчання та розпізнання задовільно в об'ємі.

Для оцінювання ефективності технічного діагнозу стану ЕРК використовувалися моделі лінійної регресії [26]. Ці моделі зв'язують паспортні параметри ЕРК з параметрами і ознаками ПТХ або квадратичною нелінійністю. Найбільш суттєві оцінки вибіркової лінійної кореляції  $R_B = 0,85 \dots 0,89$  отримані між параметром  $t_e$  і температурним коефіцієнтом опору (ТКС) резисторів [39].

Мінливість регресивних моделей досліджувана методом перевірки зміщення. Отримані результати з  $a_3 = 0,02 \dots 0,1\%$  підтвердили гіпотезу про більшу швидкість деградаційних процесів у резистивних структурах, що мають немонотонні ПТХ. Адекватність моделей за точністю підтверджена методом аналізу залишків [42].

Запропонована декомпозиція об'ємної фігури на проєкції з метою спрощення навчання та розпізнавання станів ЕРК на нейромережах [38].





в)

Рисунок 4.5- Геометрична інтерпретація ДРКЛ: а) у тривимірному ортонормованому просторі векторів (ліва півсфера – для косинусної складової, права – для синусної) [26]; б) декомпозиція простору за проекціями (з накладанням осей для косинусної та синусної складових); в) проекції простору з отриманими класами дефектів при навчанні

При навчанні результатом природної класифікації дефектних та потенційно-ненадійних мікросхем за типами дефектів виявилися 5 класів у вигляді малих сфер в середині двох головних півсфер (рис.4.5,а). Канонічна форма декомпозиції тривимірного ортонормованого простору ДРКЛ (рис.4.5,а) за проекціями  $\Pi_1$ ,  $\Pi_2$  та  $\Pi_3$  (рис.4.5,б,в) дозволяє проводити класифікацію у двовимірних евклідових ортонормованих просторах  $\Pi_1$ ,  $\Pi_2$  та  $\Pi_3$ .

Дослідження на нейромережах

Спостереження за проєкціями дозволяє використовувати найпростіші типи нейронних мереж для розбраківки ЕРК.

Подальше дослідження проводилося на RBF – мережах. З використанням спеціальних типів радіально-базисних нейромереж: мережі GRNN (Generalized Regression Neural Networks) для розв’язку задач узагальненої регресії та мережі PNN (Probabilistic Neural Networks) для розв’язку ймовірнісних задач.

Розглянемо багатовходовий перцептрон, нейрони якого мають активаційну функцію у вигляді одиничного стрибка. Робота перцептрона зводиться до класифікації вхідних сигналів, що належать  $k$ -вимірному гіперпростору ( $k=2, \dots, 8$ ), по деякому числу класів ( $w=4, \dots, 19$ ). З математичної точки зору це відбувається шляхом розбивки гіперпростору гіперплощинами.

Навчання багат шарового перцептрона у базисі Карунена-Лоева з двома базисними векторами зводиться до формування ваг зв’язків між першим і другим шарами за відомим алгоритмом у MATLAB [29]. Випробувано на 14 векторах для 4-х класів метало-діелектричних резисторів, число факторів - ознак пророблялося від 5 до 20. Спочатку навчали двошарову нейронну мережу з зворотнім поширенням помилки. Результати навчання виявилися не досить приємними (таблиця 4.2).

Таблиця 4.2

MLP з двома шарами; 2 нейрони в другому шарі. Обидва шари активуються логістичною функцією logsig та навчаються за допомогою функції traingd
--



<b>Початкові дані</b>	$p = [[0; 0], [0; 1], [1.5; 0], [1; 1], [2; 1], [2; 4.4], [2.8; 3], [3.3; 4.5], [3.7; 0.5], [4; 3]]$ $t = [0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1]$			
<b>Дані після симуляції</b>	0.5995	0.5283	0.9019	0.8203
	0.9119	0.8601	0.9150	0.9142
	1.0594	0.9535		
<b>Тип обрахунку помилки</b>				
<i>MSE</i>	<i>SSE</i>	<i>MSEREG</i>	<i>MAE</i>	
0.1532	1.5319	0.1379	0.2714	
<b>Дослідні дані</b>				
<b>Початкові дані</b>	$p1 = [[3; 5], [0; 2], [5; 4], [1.7; 8], [2; 2.2], [0.3; 5.7], [2.9; 0], [0; 1.4], [4.2; 3.5], [5; 5]]$			
<b>Дані після симуляції</b>	0.9065	0.4632	0.9857	0.6167
	0.8961	0.3568	0.9954	0.5012
	0.9496	0.9483		
<b>Тип обрахунку помилки</b>				
<i>MSE</i>	<i>SSE</i>	<i>MSEREG</i>	<i>MAE</i>	
0.2833	2.8333	0.2550	0.4091	
<b>Початкові дані</b>	$p2 = [[3; 3.5], [0; 2], [4; 2], [1.7; 0.8], [2; 2.2], [0.3; 0.7], [2.9; 0], [0; 1.4], [3.2; 3.5], [4; 4]];$			
<b>Дані після симуляції</b>	0.9153	0.4632	0.9956	0.8999
	0.8961	0.6526	0.9954	0.5012
	0.9192	0.9314		
<b>Тип обрахунку помилки</b>				
<i>MSE</i>	<i>SSE</i>	<i>MSEREG</i>	<i>MAE</i>	
0.2445	2.4451	0.2201	0.3578	

<b>Початкові дані</b>	p3 = [[3; -3.5], [0; 2], [4; 2], [-1.7; 0.8], [2; 2.2], [0.3;-0.7], [-2.9; 0], [0; 1.4], [-3.2;-3.5], [4;4]];			
<b>Дані після симуляції</b>	1.2492	0.4632	0.9956	0.2786
	0.8961	0.7433	0.2675	0.5012
	0.2697	0.9314		
<b>Тип обрахунку помилки</b>				
<i>MSE</i>	<i>SSE</i>	<i>MSEREG</i>	<i>MAE</i>	
0.4687	4.6868	0.4218	0.5820	

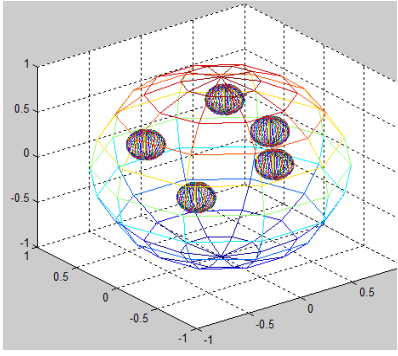
Але після подальшого дослідження MLP з чотирма шарами для резисторів найкращій результат отриманий для алгоритму пружного зворотного поширення з логістичною функцією активації (таблиця 4.3)

Таблиця 4.3

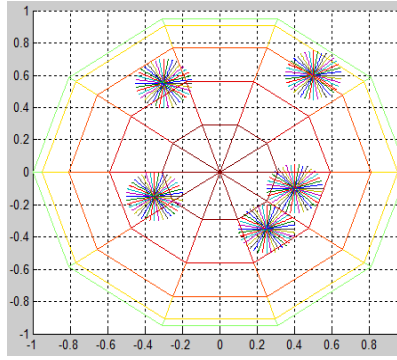
<b>Навчальна функція</b>	Функція активації прихованого шару logsig				
	Тип помилки, $10^{-2}$				$k_{еп, ОД}$
	MSE	SSE	MSEREG	MAE	
Traingd	1.90	26.56	1.71	7.92	9968
Traingda	0.89	12.46	0.80	7.24	236
Traingdm	1.55	21.75	1.40	8.47	222
Traingdx	0.92	12.91	0.83	6.42	484
Trainlm	1.48	14.32	1.45	7.32	250
Trainrp	0.19	2.63	0.17	2.82	15

### Розпізнавання стану мікросхем на нейронних мережах

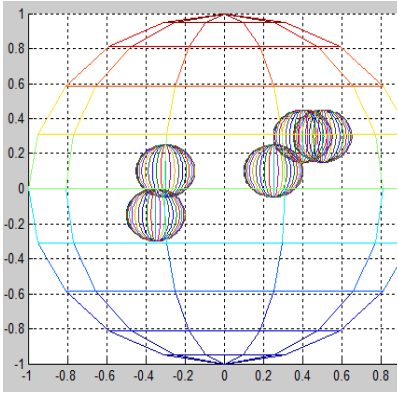
Стиснення первинної діагностичної інформації про стан ЕРК можна здійснювати за допомогою дискретного розкладу Карунена-Лоева (ДРКЛ), яке є розкладом ансамблю вихідних векторів власними векторами коваріаційної матриці. За допомогою ДРКЛ в кількості 800 одиниць досліджено та оброблено перехідні теплові характеристики (ПТХ) різних типів резисторів та резистивних структур від 10 Ом до 1 МОм [26]. Дослідження нелінійності виконано для інтегральних мікросхем серії K174XA11 (аналог TDA2593) у кількості 160 одиниць на репрезентативних (представницьких) вибірках. Комплексні залежності квадратичної нелінійності за абсолютним значенням і фазою, отримані за допомогою методу різницевої частоти окремо для гідних та дефектних зразків. Ці залежності були перетворені на косинусні та синусні компоненти ДРКЛ. Залежно від похибки для резистора ортонормований простір складається з двох базисних векторів. Для мікросхем, простір яких має три координати, кількість матриць дефектів збільшилася до 5. Загальна кількість ансамблю початкових векторів становить 160 (вибірки з 32 одиниць для кожної матриці) Елементи отриманих ортонормованих матриць, що зображені в просторі та проекціях, подані на рисунку 4.6,а-д.



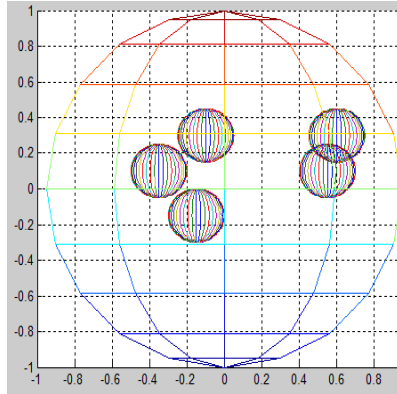
a



b



c



d

Рисунок 4.6 – Канонічні форми розкладу ортонормованого евклідова простору: а) тривимірний простір X,Y,Z; б) двовимірний простір X,Y; в) двовимірний простір X,Z; г) двовимірний простір

### Результати експерименту

Для практичної реалізації обробки діагностичної інформації за інтегрованими фізичними ефектами було запропоновано використати сучасні технології нейронних мереж (багатошаровий перцептрон, карти Кохонена, радіальні базисні мережі) [26-28]. Для навчання MLP були обрані наступні алгоритми в середовищі MATLAB: байєсівська регуляризація або навчання функції на основі зворотного поширення градієнтного спуску або метод градієнтного спуску; метод градієнтного спуску з адаптивним зворотним поширенням; метод зворотного поширення Пауелла- Біла; метод пружного зворотного поширення або метод зворотного пружного розподілу. В якості критерію оцінки точності навчання використовувалися міжнародні типи помилок MSE, MAE та інші. При навчанні багатошарової процедури перцептрона отримано найкращий результат точності для резисторів ( таблиця 4.3).

Таблиця 4.3 – Порівняльні результати класифікації резисторів

Тип нейронної мережі	Отримана точність класифікації, %	Час навчання, с
RBF- мережа	99.96	2
Карта Кохонена	84	2
Перцептрон (MLP)	98.75	39

Таблиця 4.4 – Результати точності класифікації резисторів для багат шарового перцептрона

Тип нейромережі	Функція активації прихованих шарів logsig- logsig- logsig					
	Типи помилок, $10^{-7}$				k <sub>еп,</sub> од.	t <sub>нав</sub> ч, с
	MSE	SSE	MSEREG	MAE		
MLP	4	9200	3.4	2500	83	39

Як видно з таблиць 4.3 та 4.4, ймовірнісні радіальні базисні нейронні мережі мають вищу точність класифікації, ніж нейронні мережі з радіальними базовими елементами та нульовою похибкою.

Для класифікації мікросхем за допомогою ортонормованої просторової декомпозиції достатньо провести класифікацію на два-три класи (таблиця 4.5).

Таблиця 4.5

Тип нейромережі MLP	Функція активації прихованих шарів logsig- logsig- logsig					
	Типи помилок, $10^{-7}$				k <sub>еп,</sub> од.	t <sub>нав</sub> ч, с
	MSE	SSE	MSEREG	MAE		
2 класса	1.4	4200	1.8	1 100	52	24
3 класса	3	8000	3	2 100	62	33

При цьому найкращі результати знову показала нейронна мережа з функцією активації кожного прихованого шару. Розмір вибірки даних становить 64 зразка.

### *Дослідження на мережах Кохонена*

Подальше дослідження проводилося на самоорганізованих картах (таблиця 4.7).

Таблиця 4.7 – Залежність точності класифікації від параметрів налаштування самоорганізованої карти

Топологія	Hextop			
Тип відстані між сусідніми класами	Linkdist	Dist	Mandist	Boxdist
Правильно класифіковані зразки, %	83.33	83.5	61	70.67
Топологія	Gridtop			
Тип відстані	Linkdist	Dist	Mandist	Boxdist
Правильно класифіковані зразки	61	61	83.67	83.33

Кількість пер	200
Середній час навчання, с	2

Результати топології в таблиці 4.7 мають найкращу продуктивність з

Топологією «gridtop» при використанні відстані між кластерами «mandist», до того ж вплив на точність класифікації параметрів кроку, який використовується для оцінки відстані між сусідніми кластерами, не є значущим ( див. таблицю 6).

Таблиця 4.8 – Вплив параметра кроку на точність класифікації

«Gridtop» топологія	Відстань між кластерами «mandist»						
	10	30	50	70	80	90	100
Рзмір кроку							
Ймовірність вірної класифікації	0.61	0.84	0.837	0.59 7	0.603	61	0.837

Задача розбиття на групи (кластерний аналіз) може розглядатися як задача класифікації в контексті використання нейромереж з двох різних боків.

Мережі Кохонена не потребують задання виходів нейромережі на навчальній множині, тобто навчання виконується тільки по вхідних даних, що називається навчанням без вчителя. Цей алгоритм є нейромережовим аналогом відомого алгоритму  $k$  середніх. При цьому процес навчання залежить від вибору метрики.

В загальному випадку алгоритм навчання мережі Кохонена виглядає наступним чином. На кожному кроці навчання на вхід мережі подається черговий вектор  $x_n$  та шукається нейрон, вага якого найменше відрізняється від цього вектора. Знайдений нейрон оголошується переможцем, і вектор його ваг  $\omega$  оновлюється за формулою:



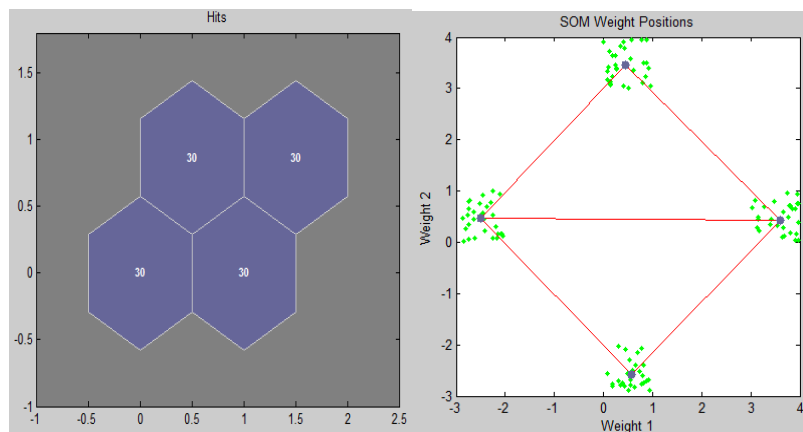
$$\omega(k + 1) = \omega_i(k) + \eta(x_n - \omega_i(k)) + \alpha\omega_i(k)(1 - \|\omega_i\|^2). \quad (4.9)$$

де параметр  $\eta$  відповідає за швидкість навчання та змінює свої значення в проміжку  $(0; 1)$ . Усі навчальні вектори обробляються по черзі, доки не відбудеться стабілізація або не виконається інша умова зупинки.

Якщо вибрана звичайна евклідова метрика  $\|\omega\|^2 = 1$ , то переможцем буде нейрон, для якого скалярний добуток  $(x_n, \omega_i)$  максимальний. Для підтримання такого нормування у цю формулу вводиться штраф за відхилення від 1

Наведемо приклад навчання нейромережі Кохонена.

Отримані після навчання результати в pntool ( рис. 2,а,б)



а

б

Рисунок 4.6 – Результати класифікації на самоорганізованій карті для топології «gridtop» з відстанню «mandist»:

а) кількість точок, що попали в кластери; б) формування центрів ваги

Таблиця 4.9 – Порівняння найкращих результатів для всіх типів навчання нейронних мереж для мікросхем

Тип нейронної мережі	Точність класифікації, %	Час навчання, с	Точність класифікації, %	Час навчання, с
	Два класи		Три класи	
RBF-мережа (pnn)	99.96	2	99,96	2
RBF-мережа (newrbe)	82.81	2	70,83	2
MLP	99.23	24	99.05	33

Для вирішення ймовірнісних задач використовується особливий тип нейронної мережі PNN (ймовірнісні нейронні мережі). Архітектура мережі PNN заснована на архітектурі мережі радіальних базисних функцій, але в якості другого рівня використовується так званий рівень суперника, який обчислює вхідний вектор ймовірності, що належить певному класу, і дорівнює вектору класу, ймовірність якого вище. Основна відмінність між мережами RBF і звичайними багат шаровими мережами прямого розподілу являється функція нейронів прихованого шару. У звичайній багат шаровій мережі кожен нейрон робочого шару реалізує гіперплощину у багатовимірному просторі, а RBF-нейрон реалізує гіперсферу. У задачах, де формування даних близьке до кругової симетрії, це може зменшити кількість нейронів.

При моделюванні MATLAB матриця ваг першого шару  $IW_{11}(\text{net.IW})$ , сформована з використанням векторів із вхідних даних навчального набору у вигляді матриці. Коли подається новий запис, блок обчислює близькість до

нового базиса векторів навчального набору. Потім обчислюється відстань, помножена на зміщення, подається на вхід функції активації  $\text{radbas}$ . Вектор навчального набору, найближчий до входу, подається у вихідному векторі. Число близьке до 1. Матриця ваг другого рівня  $\text{LW21}(\text{net.LW})$  відповідає матриці підключення, що створена для цієї навчальної послідовності. Цю операцію можна виконати за допомогою М-функції  $\text{ind2vec}$ , яка перетворює вектор цілей у матрицю зв'язності. Програма визначає елементи вектора, що відповідають кожному з  $K$  класів. В результаті конкуруюча функція активації другого рівня формує вихідне значення, рівне 1, для найбільшого елемента вектора, і 0 – в іншому випадку. Таким чином, мережа PNN виконує класифікацію вхідного вектора за  $K$  класами.

На нейронних мережах у середовищі MATLAB виконано класифікацію та попереднє сортування елементів за їх фізико-технічним станом. Для попереднього сортування ЕРК були використані ймовірнісні електронні мережі. Фактично, мережа навчена оцінювати функцію щільності ймовірності. Відповідно до байєсовської статистики для мінімізації помилки вибирається модель з найбільшою щільністю ймовірності. Отримані дані для мікросхем і резисторів підтверджують найбільшу точність 99,96 % і швидкість навчання 2 години при використанні ймовірнісних (PNN) мереж RBF порівняно з нейронними мережами з елементами радіального базису та заданою нульовою помилкою ( $\text{newrbe}$ ).

#### **Висновки по розділу 4**

Дискретне розкладання Карунена-Лоева для перетворення діагностичної інформації дозволило застосувати нейронні мережі прямого розповсюдження для задач діагностування електрорадіокомпонентів у середовищі MATLAB. Нейромережеві технології збільшують ефективність технічних засобів діагностики електро-радіокомпонентів по ранньому виявленню прихованих

дефектів у виробництві, стабілізації параметрів готових виробів, підвищенню надійності і стійкості в комп'ютерних технологіях.

### ***Контрольні запитання до 4-го розділу***

4.1 Поняття *a priori* та *a posteriori* інформації. Порівняти з поняттями пост-івент та пре-івент реагування на загрози безпеці інформаційних систем

4.2 Поняття інтегральних фізичних ефектів методів технічної діагностики.

4.3 Переваги і недоліки локальних методів діагностики.

4.4 Переваги і недоліки інтегральних методів діагностики.

4.5 Робоче та тестове діагностування.

4.6 Концептуальна модель фізичних властивостей середовища.

4.7 Поняття аналогових сигнатур.

4.8 Поняття нелінійності фізичного ( чи технічного) середовища.

4.9 Функція сприйнятливості як фізичний аналог перехідної функції.

4.10 Стиснення інформації через розклад Карунена-Лоева.

4.11 Класифікація елементів за допомогою нейронних мереж.

4.12 Який тип нейронних мереж в даному експерименті дає найкращу точність перетворення?

## ***Розділ 5 Проблеми захисту комп'ютерних технологій і мереж***

*Ключові слова:* хмарні технології, віртуалізація, обслуговуюча хмарна система, стійкість програмного забезпечення, марківська модель

*Keywords:* cloud technologies, virtualization, cloud service system, software stability, Markov model

### ***5.1 Захист, надійність та діагностика в хмарних технологіях***

Останнім часом при діагностиці технічної системи та її компонентів з'являється все більший попит на визначення фізичного стану об'єкта, що є дуже важливою інформацією про властивості фізичного середовища в залежності від типу прихованих чи явних дефектів та погіршення продуктивності або різних руйнівних процесів. Всі ці процеси викликають можливість зміни технічного стану. А це потребує розробки відповідних методів прогнозування діагностики обладнання на основі виявлення відповідних ознак зміни їх середовища. Перехід від виробництва та впровадження до сфери послуг ставить нові вимоги по безпеці та надійності комп'ютерних технологій та надає нові можливості для програмного забезпечення [1].

У міжнародному стандарті ISO 9001:2015 виділено характеристики, які дозволяють оцінювати програмне забезпечення (ПЗ) із позиції користувача, розроблювача й керуючого проектом. Рекомендуються 6 основних характеристик якості ПЗ, кожна з яких деталізується декількома (усього 21) субхарактеристиками [9].

Функціональна придатність деталізується придатністю для застосування, точністю, захищеністю, здатністю до взаємодії й погодженістю зі стандартами й правилами проектування. Надійність рекомендується характеризувати рівнем завершеності (відсутності помилок), стійкістю до помилок і перезапусканням. Застосовність пропонується описувати зрозумілістю, навченістю й простотою використання. Ефективність рекомендується характеризувати ресурсною й

тимчасовою економічністю. Супроводженість характеризується зручністю для аналізу, змінюваністю, стабільністю й тестовністю. Переносимість пропонується відобразити адаптованістю, структурованістю, заміненістю й запровадженістю.

Характеристики й субхарактеристики в стандарті визначені дуже коротко, без коментарів і рекомендацій з їхнього застосування до конкретних систем і проектів.

Технологія хмарних обчислень забезпечує нову концепцію плати за використання корисних обчислювальних ресурсів, що базується переважно на технологіях віртуалізації. Основними перевагами хмарних обчислювальних послуг є: самообслуговування, широкий доступ до мережі, об'єднання ресурсів, швидке масштабування. Незважаючи на ці переваги, широке використання цієї нової технології зіштовхуються з низкою перешкод, включаючи безпеку та конфіденційність.

На додаток до традиційних ризиків безпеки хмарні системи мають особливі проблеми безпеки і конфіденційності через віртуалізацію і свою багаторівневу природу [1,5]. Тому саме надійність та діагностика займає перше місце серед характеристик якості у хмарних технологіях.

Надійна програма насамперед повинна забезпечувати досить низьку ймовірність відмови в процесі функціонування в реальному часі. Швидке реагування на перекручування програм, даних або обчислювального процесу й відновлення працездатності за час, менше, чим поріг між збоєм і відмовою, забезпечують високу надійність програм. При цьому некоректна програма може функціонувати абсолютно надійно. У реальних умовах по різних причинах вихідні дані можуть попадати в області значень, що викликають збої, не перевірені при випробуваннях, а також не задані вимогами специфікації й технічного завдання. Якщо в цих ситуаціях відбувається досить швидке відновлення, таке, що не фіксується відмова, то такі події не впливають на основні показники надійності - наробіток на відмову й коефіцієнт готовності.

Отже, надійність функціонування програм є поняттям динамічним, що проявляється в часі, і істотно відрізняється від поняття коректності програм.

Основним принципом класифікації збоїв і відмов у програмах при відсутності їхнього фізичного руйнування є поділ по тимчасовому показнику тривалості відновлення після будь-якого перекручування програм, даних або обчислювального процесу, що реєструється як порушення працездатності [8]. При тривалості відновлення, меншій заданого порога, дефекти й аномалії при функціонуванні програм варто відносити до *збоїв*, а при відновленні, що перевищує по тривалості граничне значення, що відбувається перекручування, відповідає *відмові*. Класифікація програмних збоїв і відмов по тривалості відновлення приводить до необхідності аналізу динамічних характеристик абонентів, що є споживачами даних, оброблених досліджуваним ПЗ, а також тимчасових характеристик функціонування програм.

## **5.2 Типова модель обслуговуючої хмарної системи**

### **5.2.1 Модель факторів, що визначають надійність програмних засобів**

Неможливо забезпечити абсолютна відсутність дефектів проектування в складних ПЗ, внаслідок чого надійність їхнього функціонування має завжди кінцеве, обмежене значення. У загальному випадку під помилкою мається на увазі дефект, погрішність або ненавмисне перекручування об'єкта або процесу. При цьому передбачається, що відомо правильний, еталонний стан об'єкта, стосовно якого може бути визначена наявність відхилення — дефекту або помилки. Для систематичної, координованої боротьби з ними необхідні дослідження факторів, що впливають на надійність ПЗ із боку випадкових, існуючих і потенційно можливих дефектів у конкретних програмах [8].

Іноді бажано, щоб у надзвичайних обставинах монітор виконував діагностичні тести системи. Наступний крок - методи виправлення помилок,

тобто після того, як помилка виявлена, або вона сама, або її наслідки повинні бути виправлені програмним забезпеченням. Виправлення помилок самою системою - плідний метод проектування надійних систем апаратного забезпечення, бо якщо деякий програмний модуль містить помилку, ідентичні «запасні» модулі також будуть містити ту ж помилку.

Розглянемо класифікацію моделей надійності ПЗ [44-48]. Моделі надійності програмних засобів (МНПЗ) підрозділяються на аналітичні й емпіричні. Аналітичні моделі дають можливість розрахувати кількісні показники надійності, ґрунтуючись на даних про поведінку програми в процесі тестування (вимірюючі й оцінюючі моделі). Емпіричні моделі базуються на аналізі структурних особливостей програм. Вони розглядають залежність показників надійності від числа міжмодульних зв'язків, кількості модульних циклів, відносини кількості прямолінійних ділянок програми до кількості крапок розгалуження і т.д. Часто емпіричні моделі не дають кінцевих результатів показників надійності, однак вони включені в класифікаційну схему, тому що розвиток цих моделей дозволяє виявляти взаємозв'язок між складністю ПЗ і його надійністю. Ці моделі можна використати на етапі проектування ПЗ, коли здійснена розбивка на модулі і відома його структура.

Розглянемо основні передумови, обмеження й математичний апарат аналітичних моделей. Аналітичне моделювання надійності ПЗ включає чотири кроки: 1) визначення припущень, пов'язаних із процедурою тестування ПЗ; 2) розробка або вибір аналітичної моделі, що базується на припущеннях про процедуру тестування; 3) вибір параметрів моделей з використанням отриманих даних; 4) застосування моделі - розрахунок кількісних показників надійності по моделі.

Для оцінки надійності таких систем, якими найчастіше є складні ПЗ, крім імовірнісних характеристик наробітку на відмову, важливу роль грають характеристики функціонування після відмови в процесі відновлення. Основним



показником процесу відновлення є тривалість відновлення і її ймовірнісні характеристики. Цей критерій урахує можливість багаторазових відмов і відновлень. Узагальнення характеристик відмов і відновлень виробляється в критерії коефіцієнт готовності. Цей показник відбиває ймовірність мати відновлювану систему в працездатному стані в довільний момент часу. Значення коефіцієнта готовності відповідає частці часу корисної роботи системи на досить великому інтервалі, що містить відмови й відновлення.

Наработка на відмову враховує ситуації втрати працездатності, коли тривалість відновлення досить велика й перевищує граничне значення часу, що розділяє події збою й відмови. При цьому велике значення мають засоби оперативного контролю й відновлення. Якість проведеного налагодження програм більш повно висвітлює значення тривалості між втратами працездатності програм — наробіток на відмовну ситуацію, або стійкість, незалежно від того, наскільки швидко відбулося відновлення. Засоби оперативного контролю й відновлення не впливають на наробіток на відмовну ситуацію, однак можуть значно поліпшувати показники надійності програм. Тому при оцінці необхідного налагодження доцільно вимірювати й контролювати наробіток на відмовну ситуацію, а обсяг і тривалість тестування в ряді випадків установлювати по наробітку на відмову з урахуванням ефективності засобів рестарту.

Для систем обробки інформації й керування в реальному часі наробіток на відмову програм вимірюється десятками й сотнями годин, а для особливо важливих або систем, які широко тиражуються, може досягати десятків тисяч годин. При досить розвиненому програмному оперативному контролі й відновленні наробіток на відмовну ситуацію може бути на один-два порядків менше, ніж наробіток на відмову. Реально дуже важко досягти наробітку на відмовну ситуацію на рівні сотень годин, і тому для одержання високої надійності програм неможливо обмежуватися тестуванням і налагодженням без використання засобів рестарту. Неможливо забезпечити абсолютна відсутність

дефектів проєктування в складних ПЗ, внаслідок чого надійність їхнього функціонування має завжди кінцеве, обмежене значення.

### Динамічні моделі надійності

Модель Шумана. Вихідні дані для моделі Шумана, що ставиться до динамічних моделей дискретного часу, збираються в процесі тестування ПЗ протягом фіксованих або випадкових тимчасових інтервалів. Кожен інтервал - це стадія, на якій виконується послідовність тестів і фіксується деяке число помилок.

*Модель Шумана* може бути використана при певним чином організованій процедурі тестування. Використання моделі Шумана припускає, що тестування проводиться в кілька етапів. Кожен етап являє собою виконання програми на повному комплексі розроблених тестових даних. Виявлені помилки реєструються (збирається статистика про помилки), але не виправляються [48].

Передбачається, що перед початком тестування в ПЗ є  $E_T$  помилок. Протягом часу тестування  $\tau$  виявляється  $\varepsilon_c$  помилок розраховуючи на команду в машинній мові. Після  $\tau$  часу тестування питома число помилок на одну машинну команду, що залишилися в системі після  $\tau$  часу тестування, дорівнює:

$$\varepsilon_\tau(\tau) = \frac{E_T}{I_T} - \varepsilon_0(\tau), \quad (5.1)$$

де  $I_T$  — загальне число машинних команд, що передбачається постійним на етапі тестування.

Припускається [48], що значення функції частоти відмов  $Z(t)$  пропорційно числу помилок, що залишилися в ПЗ послі витраченого на тестування часів  $\tau$ :

$$Z(t) = C\varepsilon_\tau(\tau), \quad (5.2)$$

де  $\varepsilon_t$  — деяка константа;  $t$  — час роботи ПЗ без відмови.

Тоді, якщо час роботи ПЗ без відмови  $t$  відраховує від крапки  $t = 0$ , а  $\tau$  залишається фіксованим; функція надійності, або ймовірність безвідмовної роботи на інтервалі часу від 0 до  $t$ , дорівнює:

$$R(t, \tau) = \exp\left\{-c \left[\frac{E_T}{I_T} - \varepsilon_0(\tau)\right] t\right\}; \quad (5.3)$$

$$t_{cp} = \frac{1}{c \left[\frac{E_T}{I_T} - \varepsilon_0(\tau)\right]}. \quad (5.4)$$

З величин, що входять у формули (5.3) і (5.4), не відомі початкове значення помилок у ПЗ ( $E_T$ ) і коефіцієнт пропорційності. Для їхнього визначення прибігають до наступних міркувань. У процесі тестування збирається інформація про час і кількість помилок на кожному прогоні, тобто загальний час тестування  $\tau$  складається із часу кожного прогону:

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \dots + \tau_n. \quad (5.5)$$

Припускаючи, що інтенсивність появи помилок постійна й дорівнює  $\lambda$ , можна обчислити її як число помилок в одиницю часу:

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^k A_i}{\tau}, \quad (5.6)$$

де  $A_i$  — кількість помилок на  $i$ -м прогоні.

$$t_{cp} = \frac{\tau}{\sum_{i=1}^k A_i}. \quad (5.7)$$

Маючи дані для двох різних моментів тестування  $\tau_a$  й  $\tau_b$ , які вибираються з урахуванням вимоги, щоб  $\varepsilon_c(\tau_b) > \varepsilon_c(\tau_a)$ , можна зіставити рівняння (5.5) і (5.7) при  $\tau_a$  й  $\tau_b$ .

$$\frac{1}{\lambda_{ta}} = \frac{1}{c \left[\frac{E_T}{I_T} - \varepsilon_0(\tau_a)\right]}; \quad (5.8)$$

$$\frac{1}{\lambda_{tb}} = \frac{1}{c \left[\frac{E_T}{I_T} - \varepsilon_0(\tau_b)\right]}. \quad (5.9)$$

Для знаходження  $C$  і  $E$  використовується принцип максимальної правдоподібності (пропорція) [48].

Обчислюючи відносини (5.8) і (5.9), для помилок  $E_T$  одержимо [48]:

$$E_T = \frac{I_T \left[ \frac{\lambda \tau_b}{\lambda \tau_a \varepsilon_0(\tau_a)} - \varepsilon_0(\tau_b) \right]}{\left( \frac{\lambda \tau_b}{\lambda \tau_a} \right) - 1}. \quad (5.10)$$

Підставивши отриману оцінку параметрів  $E_T$  у виразі (5.10), одержимо оцінку для другого невідомого параметра:

$$C = \frac{\lambda \tau_a}{\frac{E_T}{I_T} - \varepsilon_0(\tau_a)}. \quad (5.11)$$

Одержавши невідомі  $E_T$  і  $C$ , можна розрахувати надійність програми по формулі (5.3).

Перевага цієї моделі полягає в тому, що можна виправляти помилки, вносячи зміни в текст програми в ході тестування, не розбиваючи процес на етапи, щоб задовольнити вимогу сталості машинних інструкцій.

Модель La Padula. По цій моделі виконання послідовності тестів виробляється в  $m$  етапів. Кожен етап закінчується внесенням змін (виправлень) у ПЗ. Зростаюча функція надійності базується на числі помилок, що виявляються у ході кожного тестового прогону.

Перевага моделі полягає в тім, що вона є прогножною й, ґрунтуючись на даних, отриманих у ході тестування, дає можливість пророчити ймовірність безвідмовної роботи програми, а наступних етапів її виконання.

Модель Джелінського - Моранды. Модель Джелінського-Моранды ставиться до динамічних моделей безперервного часу. Вихідні дані для використання цієї моделі збираються в процесі тестування ПЗ. При цьому фіксується час до чергової відмови. Основне положення, на якому базується модель, полягає в тім, що значення інтервалів часу тестування між виявленням двох помилок має експонентний розподіл із частотою помилок (або інтенсивністю відмов), яка пропорційна числу ще не виявлених помилок.

Модель Шикю – Волвертона. Модифікація моделі Джелинського - Моранды для випадку виникнення на розглянутому інтервалі більше однієї помилки запропонована Волвертоном і Шиком. При цьому вважається, що виправлення помилок виробляється лише після витікання інтервалу часу, на якому вони виникли. В основі моделі Шикю - Волвертона лежить припущення, відповідно до якого частота помилок пропорційна не тільки кількості помилок у програмах, але й часу тестування, тобто ймовірність виявлення помилок із часом зростає.

Модель Муса. Модель Муса відносять до динамічних моделей безперервного часу. Це значить, що в процесі тестування фіксується час виконання програми (тестового прогону) до чергової відмови. Але вважається, що не всяка помилка ПЗ може викликати відмова, тому допускається виявлення більше однієї помилки при виконанні програми до виникнення чергової відмови. Уважається, що протягом усього життєвого циклу ПЗ може відбутися  $M_0$  відмов і при цьому будуть виявлені всі  $N_0$  помилки, які були присутні в ПЗ перед тестуванням.

Модель перехідних імовірностей. Ця модель заснована на марковському процесі, що протікає в дискретній системі з безперервним часом [15,49].

Процес, що протікає в системі, називається марковським (або процесом без наслідків), якщо для кожного моменту часу ймовірність будь-якого стану системи в майбутньому залежить тільки від стану системи в цей час ( $t_0$ ) і не залежить від того, яким образом система прийшла в цей стан. Процес тестування ПЗ розглядається як марковський процес. У початковий момент тестування ( $t = 0$ ) у ПЗ було  $n$  помилок. Передбачається, що в процесі тестування виявляється по одній помилці. Тоді послідовність станів системи ( $n, n-1, n-2, n-3$ ) і т.д. відповідає періодам часу, коли попередня помилка вже виправлена, а нова ще не виявлена. Наприклад, у стані  $n-5$  п'ята помилка вже виправлена, а шоста ще не виявлена. Послідовність станів  $\{m, m-1, m-2, m-3$  і т.д.} відповідає періодам часу, коли помилки виправляються. Наприклад, у стані  $m-1$  друга помилка вже виявлена,

але ще не виправлена. Помилки виявляються з інтенсивністю  $\lambda$ , а виправляються з інтенсивністю  $\mu$ .

### Статичні моделі надійності

Статичні моделі принципово відрізняються від динамічних насамперед тим, що в них не враховується час появи помилок у процесі тестування й не використовується ніяких припущень про поведінку функції ризику  $\lambda(t)$ . Ці моделі будуються на твердому статистичному фундаменті

Модель Мілса. Модель Липова. Липов модифікував модель Мілса, розглянувши ймовірність виявлення помилки при використанні різного числа тестів.

Проста інтуїтивна модель. Використання цієї моделі припускає проведення тестування двома групами програмістів (або двома програмістами залежно від величини програми) незалежно друг від друга, що використовують незалежні тестові набори. У процесі тестування кожна із груп фіксує всі знайдені нею помилки. При оцінці числа помилок, що залишилися в програмі, результати тестування обох груп збираються й рівняються.

Модель Коркорена. Модель Коркорена ставиться до статичних моделей надійності ПЗ, тому що в ній не використовуються параметри часу тестування й враховується тільки результат  $N$  випробувань, у яких виявлене  $N_i$  помилок  $i$ -го типу. Модель використає ймовірності, що змінюються, відмов для різних типів помилок. На відміну від двох розглянутих вище статичних моделей, по моделі Коркорена оцінюється ймовірність безвідмовного виконання програми на момент оцінки.

Модель складності ( або модель, що визначає час доведення програм).

Ця модель використовується для ПЗ, які мають ієрархічну структуру, тобто ПЗ як система може містити підсистеми, які складаються з компонентів, а ті, у свою

чергу, складаються з  $V$  модулів. Таким чином, ПЗ може мати  $V$  різних рівнів композиції.

### ***5.2.2 Типова модель обслуговуючої хмарної системи***

Хмарні системи дають змогу широкомасштабному спільному використанню послуг, що дозволяє користувачам отримувати доступ до технологічних служб без знання, досвіду або контролю над технологіями інфраструктури, яка їх підтримує. Хмарні обчислення відрізняються від розподілених (grid), службових обчислень і прозорих обчислень, але пов'язані з ними. Прозорі обчислення [50,51] означають, що складні ресурсні сервіси прозорі для користувачів, які бачать лише простий інтерфейс, який зручний у використанні. Основними перевагами сервісів хмарних обчислень є самообслуговування, широкий доступ до мережі, об'єднання ресурсів, швидке масштабування. Незважаючи на ці переваги, широке використання цієї нової технології стикається з *низкою перешкод, включаючи безпеку та конфіденційність*. На додаток до традиційних ризиків безпеки, як і для будь-якої системи хмарних обчислень, підключених до інтернету, хмарні системи мають особливі проблеми з безпекою та конфіденційністю через віртуалізацію та їх багаторівневий характер [52,53]. Надійність хмарних обчислень важко аналізувати через особливості масового спільного використання послуг, глобальної мережі, неоднорідності програмних та апаратних компонентів та складної взаємодії між ними. Тому моделі надійності для чистого/апаратного забезпечення чи звичайних мереж не можуть бути просто застосовані для дослідження надійності хмари [54].

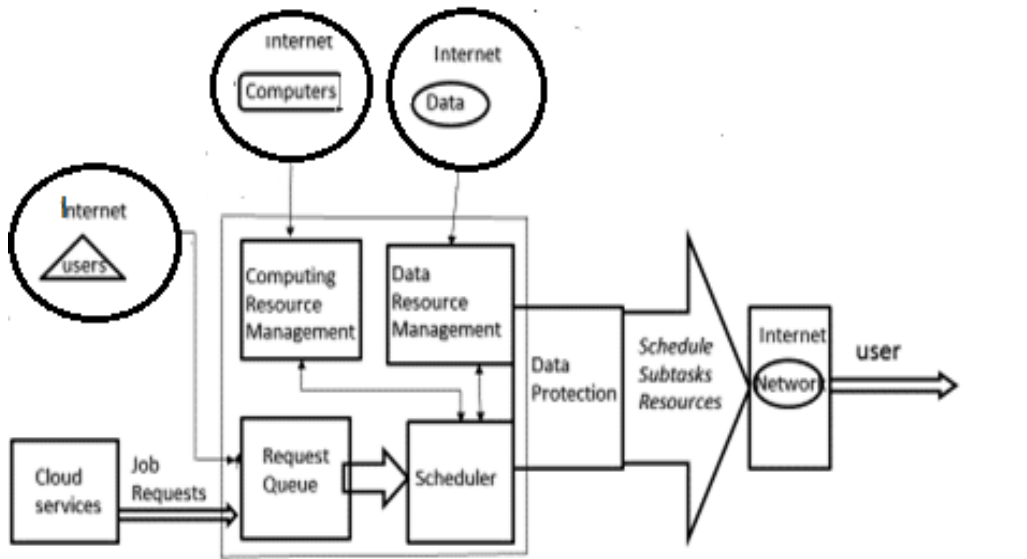


Рисунок 5.1 - Структура системи хмарних сервісів [ 55]

### *Опис системи хмарних сервісів*

Архітектура типової системи хмарних сервісів зображена на рисунку 5.1, який також є типовим уявленням більшості сучасних або майбутніх систем хмарних сервісів [50,54]. Посередині знаходиться хмарна система управління (CMS), яка складається з набору серверів (централізованих або розподілених). CMS в основному виконує чотири різні функції, а саме: 1) керувати чергою запитів, яка отримує запити на роботу від різних користувачів для хмарних сервісів; 2) управляти обчислювальними ресурсами (такими, як ПК, кластери, суперкомп'ютери тощо) над інтернетом; 3) керувати ресурсами даних (наприклад, базами даних, опублікованою інформацією, вмістом URL-адреси тощо) по всьому інтернету; 4) запланувати запит і розподілити його на різні підзадачі; призначення підзадач різним обчислювальним ресурсам, які можуть мати доступ до різних ресурсів даних через інтернет.

Коли користувач запитує певну дану хмарну послугу, надається шаблон робочого процесу для опису та керування хмарним сервісом [43]. Шаблон



робочого процесу служби включає різні підзадачі  $S_i$  ( $i=1, \dots, m$ ) та їх взаємозв'язок (залежність від даних).

Він також показує необхідні ресурси даних, до яких необхідно отримати доступ до підзадач, наприклад, під час запуску. За допомогою робочого процесу хмарного сервісу планувальник у CMS може призначити ці підзадачі різним обчислювальним ресурсам  $K_j$  ( $j=1, \dots, n$ ) під час розподілу ресурсів даних. У той час, як обчислювальні ресурси  $K_j$  і ресурси даних  $D_i$  отримують команди або підзадачі від CMS, вони формують мережу.

Відповідно до підключення або доступності, наприклад,  $K_2$  безпосередньо пов'язаний з  $K_3$ , але не може безпосередньо спілкуватися з  $K_4$  через підключення (наприклад, обидва комп'ютери  $K_2$  і  $K_3$  можуть перебувати за маршрутизаторами, які транслюють свої IP-адреси, щоб вони не могли безпосередньо створити з'єднання ТСІР або не мали доступу один до одного). Мережа хмар може бути дуже великою, і кожне посилення є віртуальним посиленням, яке може проходити через багато компонентів (маршрутизатори / кабелі / оптичні волокна / машини) на великій відстані. Таким чином, обчислювальні ресурси працюватимуть разом через мережу для виконання підзадач, одержуючи доступ до необхідних даних зі своїх ресурсів даних. Коли завдання буде завершено, результати повернуться до користувача, який запитує цю послугу, як показано на рисунку 5.1.

#### *Аналіз відмов системи хмарних обчислень*

Існує безліч типів збоїв, які можуть вплинути на надійність хмарного сервісу, включаючи переповнення, тайм-аути, відсутність ресурсу даних, відсутність обчислювального ресурсу, збої апаратного забезпечення, збій бази даних і збій мережі.

При проектуванні складного програмного забезпечення неможливо передбачити збої, але наробіток на відмов у завжди має кінцеве, обмежене значення.

Передбачається, що є справний, еталонний стан об'єкта, по відношенню до якого може бути виявлена наявність насправності.

Для систематичної, злагодженої боротьби з несправностями чи відмовами необхідно досліджувати фактори, що впливають на надійність програмного забезпечення від випадкових, прихованих помилок у конкретних програмах, а в надзвичайних обставинах можуть проводитися діагностичні тести системи. Якщо в цих ситуаціях буде відбуватися досить швидке відновлення так, що жодної відмови не фіксується, то такі події не впливають на основні показники надійності: *кількість відмов і коефіцієнт готовності*. Отже, надійність роботи програм є поняття динамічне, яке проявляється в часі і суцільно відрізняється від уявлення про коректність програм. Основним принципом класифікації аварій, збоїв і помилок у програмах за відсутністю їх фізичного знищення є поділ часу на тривалість відношення після будь-якого створення програм, даних або обчислювального процесу, що записані як вимкнені.

Розглянемо можливі збої : Переповнення: збій в черзі через обмеження на максимальну кількість запитів. Тайм-аут: помилка часу очікування (або завершення), яку встановлює користувач або монітор служби [51]. Відсутність ресурсу даних пов'язана з тим, що деякі раніше зареєстровані дані були видалені, але менеджер ресурсів не оновлювався. Відсутній обчислювальний ресурс: пов'язаний з тим, що комп'ютер вимикається без повідомлення CMS. Збій програмного забезпечення: відбувається тому, що підзавдання працюють на різних обчислювальних ресурсах і містять збої в роботі програмного забезпечення. Збій бази даних: це те, що зберігаються необхідні ресурси даних, а підзавдання на роботі не можуть отримати доступ до необхідних даних. Збій обладнання: пов'язаний з тим, що обчислювальні ресурси та ресурси даних зазвичай мають апаратне забезпечення (наприклад, комп'ютери чи сервери), яке також може вийти з ладу.

Крім того, ці різні типи збоїв не є незалежними в хмарному сервісі. Запропонована модель надійності хмари є сервісно-орієнтованою та ієрархічною. В неї всебічно розглядаються різні типи помилок, які мають значний вплив на успіх або збій хмарних служб, включаючи переповнення, тайм-аути, відсутності ресурсу даних та обчислювальних ресурсів, збої програмного забезпечення та бази даних, збої обладнання та мережі. І завершальним етапом управління є захист даних і обчислень, який здійснюється об'єктно-орієнтованим підходом.

### ***5.3 Діагностування КСЗІ з виявленням відмов на етапах очікування та виконання***

#### ***5.3.1 Визначення ймовірності помилок часу очікування та переповнення.***

У [51] є проста класифікація вищевказаних помилок на дві групи для життєвого циклу: 1) збої фази запиту: переповнення і тайм-аут; 2) збої на етапі виконання: відсутній ресурс даних, відсутній обчислювальний ресурс, збій програмного забезпечення, збій бази даних, збій обладнання і збій мережі. Ці дві групи відмов можна вважати незалежними. Однак відмови в кожній групі сильно корелюють. Таким чином, розглядання проблем надійності хмарних сервісів можна розділити на дві частини: 1) надійність на етапі запиту, 2) надійність на етапі впровадження і експлуатації. На першому кроці, якщо запит на роботу не буде виконаний планувальником раніше встановленого часу, запит буде відхилений. Швидкість відторгнення позначається  $\mu_r$ .

Припустимо, що черга запиту дорівнює  $N$ . Передбачається, що надходження заявок на роботу підпорядковується закону Пуассона з швидкістю надходження  $\lambda_a$ . Зазвичай для обслуговування запитів є кілька серверів розкладу (планування). Нехай загальна кількість однорідних серверів розкладу  $S$  запускається одночасно для виконання запитів. Час обслуговування для виконання одного запиту для кожного такого сервера вважається експоненціально розподіленим з параметром  $t$  (мкс). Таким чином, цей процес можна змоделювати за допомогою

марковського процесу з очікуванням, в якому стан  $n$  ( $n= 0, \dots, N$ ) – кількість запитів [54].

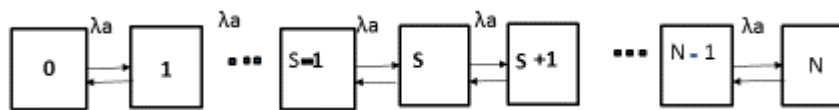


Рисунок 5.2 – Марківська модель черги запитів [51]

Відмови виявляються з інтенсивністю  $\lambda$  і виправляються за допомогою інтенсивності  $\mu$ . Швидкість обслуговування від стану  $n$  до стану  $n-1$  дорівнює  $\lambda_a$ . У стані  $N$  надходження нового запиту призведе до переповнення черги запитів, тому запит відкидається, а черга все одно залишається в стані  $N$ . Швидкість обслуговування запиту сервером планувальника дорівнює  $\mu_r$ . Якщо  $n \leq S$ , то  $n$  запитів можуть негайно обслуговуватись  $S$  серверами планувальника, тому швидкість відправлення будь-якого запиту дорівнює  $n\mu_r$ . Якщо  $n > S$ , серверами розкладу одночасно обслуговуються лише запити  $S$ , серверами розкладу одночасно обслуговуються лише запити  $S$ , тому швидкість відправлення  $S\mu_r$ . Швидкість відкидання для будь-якого запиту в черзі для досягнення належного часу становить  $n\mu_d$  ( $n=1, \dots, N$ ). Позначимо через  $q_n$  стабільну ймовірність того, що система залишиться в стані  $n$  ( $n=0, \dots, N$ ), де  $q_n$  виводиться шляхом розв'язування рівнянь Колмогорова-Чепмена [49,55]:

$$R_{знв} = \sum_{n=0}^{N-1} q_n, \quad (5.6)$$

$$\sum_{n=0}^N q_n = 1, \quad (5.7)$$

де  $R_{знв}$  – це ймовірність того, що збій переповнення не відбудеться ( $n=0,1, \dots, N$ ). Якщо  $n < S$ , то новий запит, який надійшов, може бути негайно обслугований без часу очікування. Таким чином, ймовірність тайм-аутів і переповнень буде неможливою ( тобто фаза запиту є надійною):

$$R_{зап} = \sum_{n=0}^{S-1} q_n + \sum_{n=S}^{N-1} q_n \int_0^{T_3} f_n(t) dt \quad (5.8)$$

Де  $f(t)$ - щільність ймовірності тайм-аутів. Сума в (5.8) між  $[0, N-1]$  містить умову, що збій через переповнення не відбувається, як аналізується в (5.6).

### 5.3.2 Мінімальний граф виконання перекриття (МГВП)

Якщо будь-який набір підзадач  $M$  є успішним, то виконання є надійним для хмарного сервісу для виконання цього набору підзавдань, тому МГВП може відображатися як перекриття вищезгаданих наборів [19,49]. Отримано та об'єднано  $M$  графів для створення МГВП. Для кожного загального елемента, коли графи перетинаються разом, отримується більший наробіток на відмову як кінцевий час роботи цього елемента в МГВП. За допомогою списку  $N$  графів МГВП та відповідного часу завершення надійність хмарного сервісу може бути визначена на етапі збоїв у виконанні, як показано нижче

$$P_B(t) = P\left(\bigcup_{i=1}^N P_{\text{МГВП}i}\right). \quad (5.9)$$

Це означає, що будь-який МГВПі із загальної кількості маршрутів МГВП, який буде досягнутий, зробить роботу хмарної служби успішною під час виконання. Позначимо подію  $E_j$  як успішну роботу  $j$ -го МГВП, а подію – невиконання. Використовуючи теорему Бейєса[15] для умовної ймовірності, можна вивести (5.10) як суму умовних ймовірностей

$$R_{\text{виконання}} = P\left(\bigcup_{i=1}^N P_{\text{МГВП}i}\right) = \sum_{j=1}^{N_i} P(E_j) \cdot P(\overline{E_1}, \overline{E_2}, \dots, \overline{E_{j-1}} | E_j). \quad (5.10)$$

На наступному етапі за допомогою двійкового пошуку генеруються всі можливі комбінації ідентифікованих критичних елементів, які призводять до події  $\overline{E_1}, \overline{E_2}, \dots, \overline{E_{j-1}} | E_j$ , і розраховується ймовірність цих комбінацій. Їх підсумовування є  $P(\overline{E_1}, \overline{E_2}, \dots, \overline{E_{j-1}} | E_j)$ . При розрахунку ймовірності відмови елементів МГВП слід використовувати максимальний час відповідних записів у списку для цього МГВП. Нарешті, якщо хмарна служба повинна бути успішно завершена, фаза запиту  $P_{36}(t)$  та фаза виконання  $P_6(t)$  повинні бути надійними одночасно

$$P_{\text{обслуговування}}(t) = P_{\text{зв}}(t)P_{\text{в}}(t),$$

(5.11)

де  $P_{\text{зв}}(t)$  можна отримати з (5.6), а  $P_{\text{в}}(t)$  можна вивести з (5.9).

### ***Висновки по розділу 5***

У розділі 5 розглянуто деякі проблеми моделювання хмарних обчислень для забезпечення зручного доступу до мережі за запитом до загального пулу обчислювальних ресурсів, які налаштовуються. Для типової структури системи хмарного сервісу додано комплексну систему безпеки даних. Робота системи хмарних сервісів аналізується через розв'язування рівнянь Колмогорова-Чепмена. На прикладі п'ятиканальної системи з необмеженим часом отримано марківську модель черг очікування та розрахунку параметрів відкидіння.

### ***Контрольні запитання до розділу 5***

- 5.1 Динамічні моделі надійності програмного забезпечення.
- 5.2 Типова модель обслуговування хмарної системи.
- 5.3 Шаблон робочого процесу хмарного сервісу.
- 5.4 Аналіз відмов хмарного сервісу.
- 5.5 Переповнення черги і тайм-аут.
- 5.6 Закон розподілу надходження заявок.
- 5.7 Основний закон розподілу запитів з відмовами при обслуговуванні.
- 5.8 Умови відкидання запитів обслуговування хмарного сервісу.
- 5.9 Мінімальний граф виконання перекриття запитів.
- 5.10 Умови надійного виконання хмарної служби.

### ***Розділ 6 Інформаційно-орієнтований підхід забезпечення безпеки хмарних обчислень***

***Ключові слова:*** інформаційно-орієнтований підхід, концепція безпеки, аналіз відмов, публічні моделі, шифрування інформації

***Keywords:*** information-centric approach, security concept, failure analysis, public models, information encryption

Технологія хмарних обчислень стала популярною альтернативою традиційним обчислювальним технологіям. Ця технологія забезпечує нову концепцію плати за використання корисних обчислювальних ресурсів, що базується переважно на технологіях віртуалізації. Основними перевагами хмарних обчислювальних послуг є: самообслуговування, широкий доступ до мережі, об'єднання ресурсів, швидке масштабування. Незважаючи на ці переваги, широке використання цієї нової технології зіштовхуються з низкою перешкод, включаючи безпеку та конфіденційність. На додаток до традиційних ризиків безпеки ризик як у будь-якої обчислювальної системи, підключеної до Інтернету, хмарні системи мають особливі проблеми безпеки і конфіденційності через віртуалізацію і свою багаторівневу природу [1]. Через те, що ресурси хмар поділяються між різними клієнтами, потенційно шкідливі клієнти можуть використовувати вразливі місця віртуалізації для здійснення атак на дані та застосунки інших клієнтів. Крім того, користувачі хмар володіють обмеженим контролем над своїми даними в хмарі, а постачальники хмарних послуг отримують надмірні права по контролю даних клієнта, включаючи отримання права доступу до контенту клієнта, а також контроль над редагуванням прав доступу. Також, у хмарних обчисленнях дані користувача можуть переміщатись між різними постачальниками хмарних послуг. Крім того, постачальник хмарних послуг потенційно може бути зацікавлений в даних клієнта. Через ці проблеми клієнти не охоче передають свої дані в хмари зважаючи на проблеми конфіденційності інформації. Відповідно, потреба в більш надійній методах забезпечення безпеки інформації в хмарному середовищі приводить до дослідження методів, які можуть захистити дані клієнтів у хмарі навіть від самих постачальників хмар.

### ***6.1 Обґрунтування інформаційно-орієнтованого підходу***

У хмарних обчисленнях дані користувачів, в основному, зберігаються у віртуальних сховищах провайдерів хмарної інфраструктури. В *публічних SaaS та DaaS моделях* користувачі володіють лише даними, які знаходяться на зберіганні.

Все обладнання та програмне забезпечення, залучене до зберігання та обробки інформації, знаходиться у власності сервіс провайдерів. В інших моделях, таких як *публічні IaaS u PaaS моделі*, користувач має доступ до обробки даних та до програмного забезпечення, при цьому доступу до апаратного забезпечення немає. Відповідно, з перспективи користувача хмарного сервісу, найбільш цінним активом в хмарному середовищі є його дані, особливо ті дані, що містять інформацію делікатного характеру і вимагають особливого ставлення, а саме: дані урядового характеру, охорони здоров'я та фінансового спектру. Переваги, що надаються за використання хмарних обчислень, дають користувачам, що раніше розміщували делікатні дані на своїх ПК, більш привабливі перспективи до аутсорсингу своїх даних в хмару [50]. Як і будь-які інші послуги в мережі Інтернет, хмарні сервіси також *зазнають атак на системи безпеки*. Компрометація доступності хмарних послуг, як правило, призводить до короткострокових ефектів, і пошкодження можуть бути відновлені. Компрометація конфіденційності та приватності даних споживачів хмарних послуг може привести в свою чергу до довгострокових ефектів і будь-які втрати можуть бути достатньо важким для відновлення. Наприклад, коли кілька паролів з адміністративних облікових записів UK's National Healthcare System (NHS) було взламано в червні 2011 року, система NHS була закрита органами охорони здоров'я для захисту записів пацієнтів [54]. Це показує, що для таких випадків конфіденційність даних є більш важливою ніж нормальне функціонування системи як такої. Внутрішні ризики можуть бути від користувачів-зловмисників, які використовують той самий хмарний сервіс, і пом'якшення ризиків, в такому випадку, залежить повністю від хмарного провайдера і виходить з-під контролю власника даних. З точки зору власників даних, хмарне середовище невидиме і власник даних не впевнений в тому, як його/її дані захищені від ризиків, пов'язаних з безпекою. Наприклад, виходячи з природи файлів, їх може бути переміщено через провайдерів послуг, невідомих для власників даних, в різних країнах, з різною юрисдикцією щодо конфіденційності даних. Як наслідок з цією



проблемою, клієнти хмари відчувають обмежений контроль над своїми даними і їм бракує впевненості щодо безпеки даних. З іншої точки зору, провайдер хмарних послуг має надмірний контроль над даними клієнтів, особливо щодо їх безпеки та приватності. Отже, власники даних стурбовані безпекою та приватністю їх даних і мають бажання зберегти свої дані в безпеці, навіть від провайдерів інфраструктури хмар. Крім того, клієнти надають перевагу власноруч управляти політикою безпеки своїх даних в безпечному режимі, як ніби ці дані зберігалися на їх ПК.

*Традиційна концепція безпеки* зазвичай зосереджується навколо технологій і пристроїв, що використовуються для зберігання та обробки даних [14,43]. Ця концепція може бути важко адаптованою для забезпечення *необхідного відповідного рівня безпеки*, особливо для делікатних та конфіденційних даних. Наукова спільнота нещодавно звернула увагу на питання безпеки та конфіденційності, запропоновані рішення в основному спрямовані на забезпечення безпеки в віртуальних машинах та операційних системах, що ними оперують. Таким чином, більшість рішень як і раніше засновані на традиційній концепції безпеки і в основному фокусуються на *системно-орієнтованому або VM (віртуальна машина)-орієнтованому підході*. Деякі з цих рішень засновані на концепції надійних обчислень (НО), який було запропоновано і розроблено групою TCG (Trusted Computing Group). TCG прагне розробити набір стандартів і технологій, таких як Trusted Platform Module, які можуть зберігати клієнтські дані і додатки, оброблювані в заявленому довіреному контейнері, який убезпечений навіть від системних адміністраторів хмари [52]. TCG, на основі їх технологій, фокусується на наданні набору інструментів, які можуть бути використані для надання допомоги користувачам, щоб оцінити надійність провайдерів, стежити за дотриманням політики, а також створювати можливість прозорості щодо фізичного розташування даних в хмарі. Проте, користувачі повинні спочатку довіряти TCG технологіям з точки зору оцінки надійності провайдера та якщо TPM, який є основним компонентом, щоб побудувати цю

систему, буде скомпрометовано, постраждає все рішення. У 2010 році Кріс Тарновський стверджував, що йому вдалося скомпрометувати ТРМ. Отже, дослідження і запропоновані рішення на основі на ТРМ, можливо, варто піддати переоцінці. Навіть якщо ТРМ та інші інструменти TCG є гарантією безпеки, фокус цих інструментів не на тому, щоб надати користувачам бажаний контроль за безпекою та приватністю їх даних. Замість цього, з точки зору клієнта, реалізація концепції НО дозволяє здійснювати клієнтам *моніторинг або аудит операцій*, в тому числі над політикою контролю доступу, для хмари через довірені інструменти, які можуть забезпечити докази відповідності концепції НО для користувачі. Нова концепція була запропонована декількома дослідниками для вирішення конкретних питань безпеки хмарних обчислень, переміщаючи фокус з забезпечення безпеки інформації для клієнтів саме на інформації, і вони називають це інформаційно-орієнтованим підходом.

## ***6.2 Принципи роботи інформаційно-орієнтованої моделі***

### ***середовища хмарних обчислень***

Рішення призначене для досягнення наступного переліку бажаних вимог до застосунків в середовищі хмарних обчислень:

- Дані зашифровані та доступні лише для авторизованих користувачів.
- Дані доступні для пошуку без загрози для їх конфіденційності.
- Дані відповідають вимогам самозахисту та необхідним параметрам безпеки.
- Параметри контролю доступу приховані від провайдерів хмарних серверів та інших користувачів.
- Провайдер серверу не знає кількість або особистість користувачів, що авторизовані та мають право доступу до даних.

- Несанкціоновані об'єкти, в тому числі постачальники послуг, не можуть отримати доступ до даних або отримати інформацію про дані від авторизованих процесів, що проводяться на даних.
- Дані містять всю необхідну інформацію для перевірки їх цілісності та достовірності для авторизованих користувачів, які мають доступ до даних.
- Взаємодія між власниками даних та авторизованими користувачами має бути мінімальною, особливо щодо ключових цілей управління [53].

### 6.3 Описи блоків КСЗІ комплексної системи захисту інформації

#### 6.3.1 Блок контролю та управління доступом

Алгоритм шифрування інформації в контейнері з даними блока контролю та управління даними поданий на рисунку 6.1 [58].

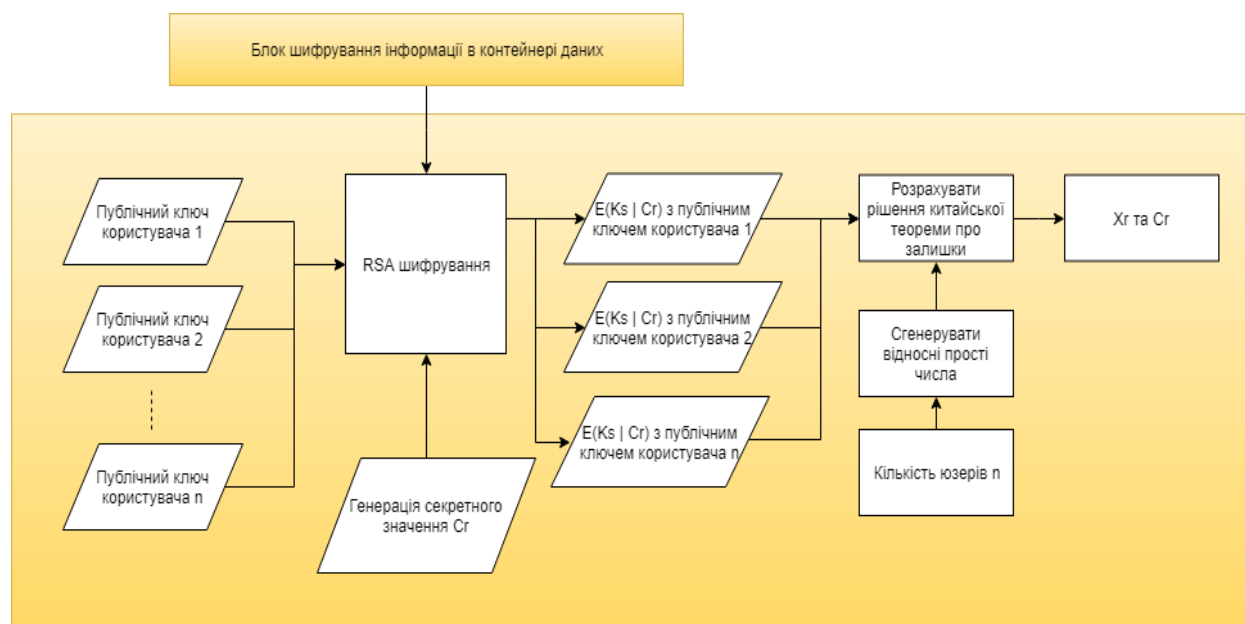


Рисунок 6.1 – Блок контролю та управління доступом

Даний алгоритм використовує китайську теорему о залишках і криптосистему з публічним ключем для безпечного обміну даними захищених користувачів, що зберігаються в середовищі хмарних обчислень серед авторизованих користувачів [56]. Дані, які іноді згадуються як ресурси або файли, захищені *симетричним методом шифрування*, де як секретний ключ використовується  $K_s$ . У даній системі, ресурсом може бути набір даних або файл, який містить дані будь-якого типу, в тому числі текст, аудіо, зображення або відео. Для поширення секретного

ключу для авторизованих користувачів, його зашифровано з використанням методу публічного шифрування відкритого ключа користувача. Шифрування також включає в себе інше значення,  $C_r$ , яка буде використовуватися в якості відповіді на запит сервера, коли користувач робить запит щодо доступу до ресурсу. Лише авторизовані користувачі, які мають відповідний приватний ключ, можуть розшифрувати шифротекст  $C_r$  та  $K_r$  для отримання  $C_r$ , щоб отримати доступ до ресурсу  $r$ . Параметри  $C_r$  та  $K_s$  зчеплені для формування  $C_r||K_s$  та розглядаються як єдине значення. Це значення шифрується за допомогою публічного ключа  $E_{K_{pub\ i}}$  кожного авторизованого користувача  $u_i$ , в результаті шифротекст  $(E_{K_{pub\ i}}(C_r||K_s))$  для цього користувача  $u_i$ , де  $i=1, 2, 3, \dots, k$ , та  $k$  кількість авторизованих користувачів, що мають доступ до ресурсу  $r$ .

Щоб застосувати китайську теорему о залишках до запропонованого рішення [25], для користувачів  $u_1, u_2, \dots, u_k$ , кожен авторизований користувач пов'язаний з унікальним відносним простим числом  $n_i = n_1, n_2, \dots, n_k$ , де  $k$  це кількість авторизованих користувачів. Всі  $n_i, 1 \leq i \leq k$ , є відносні прості числа. Потім, шифротекст  $C_r||K_s$  генерується для кожного користувача, тобто  $(E_{K_{pub\ i}}(C_r||K_s))$ , використовується для заміни  $a_i$  у рівнянні китайської теореми про залишки для виведення наступної спільної конгруентності:

$$X_r \equiv (E_{K_{pub\ 1}}(C_r||K_s)) \pmod{n_1},$$

$$X_r \equiv (E_{K_{pub\ 2}}(C_r||K_s)) \pmod{n_2},$$

$$X_r \equiv (E_{K_{pub\ k}}(C_r||K_s)) \pmod{n_k}.$$

Вирішення цієї конгруенції  $X_r$ , таке, що  $0 \leq X_r < n = n_1 n_2 \dots n_k$ , є загальним значенням для ресурсу  $r$  і він приєднаний до ресурсу, а ресурс і загальна значення зберігаються разом в хмарному сервері. Коли авторизований користувач  $u_i$  надсилає запит щодо доступу до ресурсу  $r$ , хмарний сервер надсилає йому

спільне значення  $X_r$ . Коли користувач отримує спільного значення  $X_r$ , він використовує відповідний приватний ключ для розшифровки  $X_r$ , щоб отримати значення  $C_r // K_s$ , як показано нижче:

$$\left( C_r // K_s = D_{K_{privi}} (X_r \bmod n_i) \right),$$

де  $D_{K_{privi}}$  - це операція дешифрування з використанням приватного ключа користувача  $u_i$ , та  $n_i$  як відносного простого числа, специфічного для даного користувача. Значення  $C_r$  потім вирушає назад до серверу користувачем, щоб довести володіння правом доступу до ресурсу. Потім сервер надсилає ресурс для користувача і ключ  $K_s$ , який використовується користувачем для того, щоб розшифрувати файл та отримати його вміст.

### 6.3.2. Блок шифрування інформації в контейнері даних

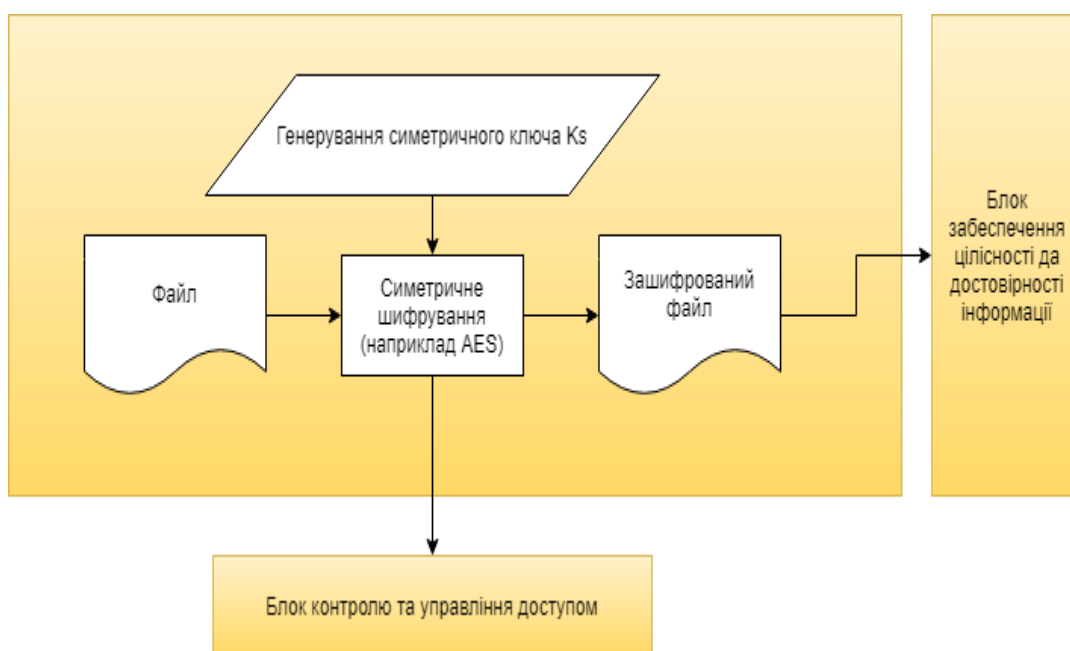


Рисунок 6.2 - Шифрування інформації в контейнері з даними

З точки зору підвищення безпеки в запропонованому рішенні, власник даних повинен використовувати унікальний симетричний ключ,  $K_s$ , для шифрування кожного файлу перед відправкою його на зберігання в хмару [58]. Відповідно до орієнтованого на безпеку інформації підходу, всі вимоги до безпеки прикріплені

до фактичних даних, отже, кожен симетричний ключ прикріплюється до його файлу безпечним методом. Симетричний ключ  $K_S$  захищений двома рівнями: спочатку шифруванням його авторизованим користувачем, а потім за допомогою китайської теореми о залишках, щоб знайти загальне значення  $X_r$ . Лише авторизовані користувачі можуть обчислити  $K_S$  з  $X_r$ , якому потрібен відповідний  $n_i$  та приватний ключ авторизованого користувача. Для ефективного управління ключами, власник даних додає себе в якості користувача при розрахунку  $X_r$  для кожного файлу. Отже, ані власник даних, ані користувачі не зобов'язані зберігати  $K_S$ , але їм потрібен тільки їх приватний ключ і призначене значення  $n_i$ . Таким чином, ключ  $K_S$  надійно та ефективно, спільно з авторизованими користувачами, захищено від несанкціонованого доступу, включаючи постачальника послуг хостингу файлу.

Секретний ключ  $K_S$ , а також значення  $C_r$  є унікальними для кожного файлу. Якщо значення для одного файлу було скомпрометовано, інші файли залишаються в безпеці. Секретне значення  $C_r$  використовується авторизованим користувачем, щоб показати серверу, що він або вона має право отримати доступ до ресурсу  $r$  (тобто файлу). Власник даних надійно прикріплює секретне значення  $C_r$  до файлу, а також надсилає його всередині шифротекст  $X_r$  до сервера. Лише авторизовані користувачі можуть розрахувати секретне значення  $C_r$  з використанням спільного значення  $X_r$ . Таким чином, лише авторизовані користувачі можуть знати і відкрити  $C_r$  серверу і довести, що вони мають право доступу до цього конкретного файлу. Секретне значення  $C_r$  є унікальним для кожного файлу, навіть якщо він використовується одним користувач для різних файлів. Таким чином, якщо один  $C_r$  для конкретного файлу скомпрометований, ніякі інші файли не будуть під загрозою. Крім того, ця функція корисна, якщо власник даних хоче змінити деталі щодо авторизованих користувачів для файлу, наприклад, щоб додати нового авторизованого користувача, власнику даних лише необхідно змінити  $X_r$  для цього файлу. Оскільки параметр  $C_r$  може залишатися таким же самим, немає необхідності для повторного надсилання

нового  $C_r$  до серверу. Це, в свою чергу, дозволить знизити ймовірність компрометації цього значення в процесі підтримки динамічного механізму оновлення списку авторизованих користувачів. Проте, при забороні користувачу доступу до файлу, до якого він/вона вже мають доступ, значення  $C_r$  має бути змінене з міркувань безпеки.

### 6.3.3 Блок пошуку по ключовим словам в зашифрованих даних

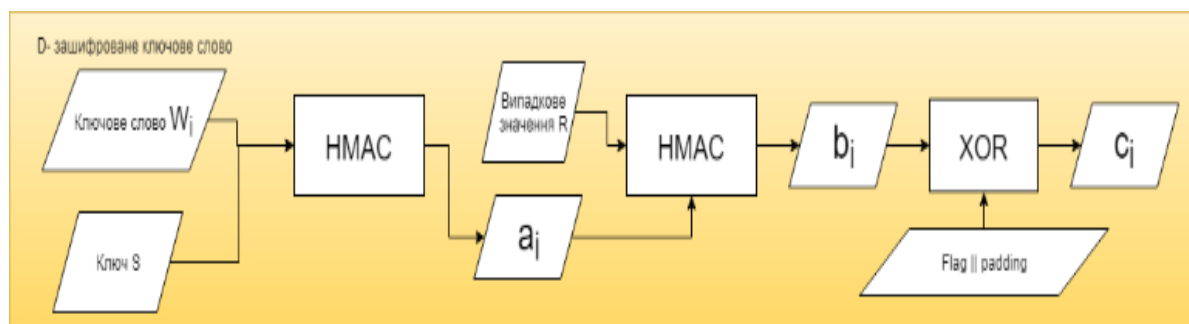


Рисунок 6.3 - Блок забезпечення можливості пошуку

Далі буде представлена модель для пошуку зашифрованих даних, яка сумісна з інформаційно-орієнтованим підходом [58]. Власник даних повинен вказати один секретний ключ  $K_w$ , який використовується при шифруванні кожного ключового слова. Власник файлу використовує псевдовипадкову функцію для шифрування ключових слів. Нехай  $H_K(m)$  буде хеш-код аутентифікації повідомлень (HMAC), який може бути використаний будь-якою криптографічною хеш-функцією, такою як MD5, SHA1, SHA256 або SHA512, з ключем  $K$  та вхідним повідомленням  $m$  [57]. Припустимо,  $w_i$  це  $i$ -е ключове слово в списку ключових слів,  $R$  це випадкове число, флаг це постійний біт-патерн з фіксованою довжиною  $l$  біт біти заповнювачі деякий патерн бітів.

$$a_i = H_{K_w}(w_i),$$

$$b_i = H_{a_i}(R),$$

$$c_i = b_i \oplus (\text{флаг} || \text{заповнювач}).$$

Від кожного ключового слова  $w_i$ , власник даних створює  $c_i$  та надсилає його з випадковим числом  $R$  до сервера як додаток до відповідного файлу.  $c_i$  є зашифрованою формою ключового слова  $w_i$ ; таким чином, сервер не може відкрити  $w_i$  від  $c_i$ . Наступний пункт описує, як користувачі можуть безпечно здійснювати пошук їхніми зашифрованими файлами за допомогою використання зашифрованих ключових слів.

Для пошуку зашифрованих даних, що зберігаються в хмарному середовищі, коли користувач  $u_i$  здійснює пошук ключового слова  $w_i$ , користувач має надіслати запит власнику даних для отримання можливості пошуку, що містить ключове слово  $w_i$  зашифроване за допомогою публічний ключ власника ( $K_{pub\ o}$ ) і підписане приватний ключ користувача ( $K_{prv\ i}$ ). Власник даних потім відповідає з  $T_w = H_{K_w}(w_i)$ , зашифрованому за допомогою публічний ключ користувача ( $K_{pub\ i}$ ). Користувач розшифровує повідомлення за допомогою свого приватний ключ та потім зашифровує  $T_w$  з публічний ключ сервера ( $K_{pub\ s}$ ), перед відправкою його на сервер в якості пошукового запиту з ID власника, нонс і сеансовий ключ  $K_t$ .

### ***Висновки до 6-го розділу***

Рішення розроблене на основі модулів, кожен з яких забезпечує набір сервісів, які в основному знаходяться в управлінні власника даних. Перший модуль призначений для шифрування даних перед їх аутсорсингом в хмарну інфраструктуру. Другий модуль створює можливості для більш ефективного та дієвого способу управління політикою контролю доступу, які виражені секретний та спільний ключ, які призначені для спільного використання і доступу до контролю даних. Третій модуль використовується для забезпечення можливості безпечного пошуку для зашифрованих даних через генерацію зашифрованих ключових слів. Результати всіх попередніх модулів використовуються для створення результуючого контейнера. Використання контейнера є результатом пошуку рішення що підвищує безпеку і конфіденційність та відповідає середовищу хмарних обчислень. Використання



контейнера, як частини запропонованого рішення, здатне зберегти приватність, цілісність та достовірність даних які було розміщено в хмарі, навіть від самого хмарного провайдеру з мінімальним впливом на функціональність зашифрованих даних, які відповідають можливостям пошуку та поширення для авторизованих користувачів. На останок, важливо згадати, що функції безпеки, запропоновані в контейнері, залежать від криптографічних алгоритмів, які використовуються в даному рішенні і знаходяться під управлінням власника даних.

### ***Контрольні запитання до розділу 6***

- 6.1 Обґрунтуйте необхідність забезпечити безпеку і конфіденційність у хмарних технологій.
- 6.2 Публічні моделі хмарних технологій.
- 6.3 Чим відрізняється компрометація доступності послуг від компрометації конфіденційності та приватності даних споживачів?
- 6.4 Чому клієнти бажають зберегти свої дані навіть від провайдерів інфраструктури хмар?
- 6.5 Сутність інформаційно-орієнтованого підходу.
- 6.6 Принципи роботи інформаційно-орієнтованої моделі.
- 6.7 Опис блоку контролю та управління доступом.
- 6.8 Опис блоку шифрування інформації в контейнері даних.
- 6.9 Рівняння китайської теореми о залишках
- 6.10 Опис блоку пошуку по ключовим словам в зашифрованих даних

### ***Післямова***

У Навчальному посібнику «Інформаційна безпека та захист даних в комп'ютерних технологіях і мережах/ Вибрані розділи», висвітлено ряд вибраних важливих тем з групи дисциплін із інформаційної стійкості комп'ютерних технологій та мереж, захисту інформації та інформаційної безпеки у мережах, надійності та діагностики, проектування комп'ютерних систем захисту інформації .

У цю частину не ввійшли такі теми, як Схеми постановки та верифікації Електронного цифрового підпису (ЕЦП), Схема ЕЦП Ель-Гамаль, Схема ЕЦП RSA, Схема ЕЦП DSA, Стандарт ЕЦП DSS, Сертифікати публічних (відкритих) ключів, Протокол X.509 та життєвий цикл Сертифікатів публічних ключів, Криптографія на еліптичних кривих ECC. Вони складуть основний зміст навчального посібника «Інформаційна безпека та захист даних в комп'ютерних технологіях і мережах», Частина 2, який автор планує укласти надалі.

### *Перелік посилань*

1. Ролік О.І., Теленик С.Ф., Ясочка М.В. Управління корпоративною ІТ-інфраструктурою. – К.: Наукова думка, 2018. – 576 с.
2. Тилборг ван Х.К.А. Основы криптологии. Профессиональное руководство и интерактивный учебник. / Х.К.А. ван Тилборг. – М. : Мир, 2006. – 471 с.
3. Скляр Бернанд. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение, 2-е издание: Пер. с англ. / Б. Скляр. - М. : Издательский дом «Вильямс», 2003. - 1104 с. : ил.
4. Шнайер Брюс. Прикладная криптография. Протоколы, алгоритмы, исходные тексты на С. / Б. Шнайер. – М. : Изд-во ТРИУМФ, 2002. – 816 с.
5. <https://pzks.nmu.org.ua/ua/sillaby/bdct.pdf> · Файл PDF  
Віртуалізації в великих дата-центрах і використання існуючих каналів зв'язку
6. ISO 9126. Характеристики якості програмного забезпечення.
7. [Тест // Великий тлумачний словник сучасної української мови](#) (з дод. і допов.) / уклад. і гол. ред. В. Т. Бусел. — 5-те вид. — К. ; Ірпінь : Перун, 2005. — [ISBN 966-569-013-2](#).
8. ІЕС 60812:2015. Методи аналізування надійності систем. Аналіз наслідків видів відмов (FMEA).
9. Н7256:2011 Системи управління якістю. Застосування ISO 9001.

10. ISO 10001:2013. Системи управління якістю. Задоволення замовників.
11. ISO 10004:2013. Системи управління якістю. Настанови щодо моніторингу та оцінювання
12. [https://ojs.onat.edu.ua/index.php/sbornik\\_onat/...](https://ojs.onat.edu.ua/index.php/sbornik_onat/...) · Файл PDF  
Технічна діагностика безпроводних каналів стандарту 802.11.
13. <https://e-tk.lntu.edu.ua/pluginfile.php/4601/mod...> · Файл PDF  
[Microsoft Word - TEA\\_20190202\\_друк \(lntu.edu.ua\)](#)  
Технічна діагностика. Терміни та визначення. ДСТУ 2389-94.
14. Інформаційна безпека та захист даних в комп'ютерних технологіях і мережах [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології» / В.П. Полторак ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,73 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 78 с.
15. Теорія ймовірностей і математична статистика = Theory of Probability and Mathematical Statistics [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальностей 121 «Інженерія програмного забезпечення», 126 «Інформаційні системи та технології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Є. О. Покровський, С. Є. Покровський, О.В. Савчук. – Електронні текстові дані (1 файл: 4,28 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 231 с.
16. <https://www.amazon.com/How-Operate-Qc-Circle-Activities/dp/4817192720>  
How to Operate Qc Circle Activities: QC Circle Headquarters:  
9784817192721 Amazon.com: Books (дата звернення 20.10.2021).
17. [www.juse.jp/ishikawa/e/symposium/symposium\\_en\\_02\\_160701.pdf](http://www.juse.jp/ishikawa/e/symposium/symposium_en_02_160701.pdf)  
QC Circle Activities and Prof/ Kaoru Ishikawa (дата звернення 20.10.2021).
18. Голинкевич Т.А. Прикладная теория надежности. Учебник. - М.:

- Высшая школа, 1985. - 168 с.
19. Пархоменко П.П., Согомоян Е.С. Основы технической диагностики. Кн.2/ Под ред. ПП.Пархоменко. -М.: Энергия, 1981.-320 с.
20. Технические средства диагностирования. Справочник // В.В.Клюев, П.П.Пархоменко, В.Е. Абрамчук и др. Под. ред. В.В. Клюева.- М.: Машиностроение, 1989 .- 672 с.
21. Согомоян Е.С.Ю, Слабаков Е.В. Самопроверяемые устройства й отказоустойчивые системы. М.: Радио и связь, 1989. - 208 с.
22. Воробьева Н.И., Корнейчук В.И., Савчук Е.В. Надежность компьютерных систем.- К.: Корнейчук, 2000. - 144 с.
23. Жураковський Ю.П., Полторац В.П. Теорія інформації та кодування: Підручник. – К.: Вища школа, 2001. - 255 с.
24. Володарський Є.Т., Кухарчук В.В., Поджаренко В.О., Сердюк Г.Б. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю / Навчальний посібник (№ 2-12 від 09.01.2001 р. по Міністерству Освіти і науки України) – Вінниця, Велес, 2001.- 219 с.
25. Электрофизическое диагностирование элементов радиоэлектронной аппаратуры.// В.П. Бережной, Ю.П. Юсов, С.П. Ходневич, Г.Б.Сердюк и др. Под. общей ред. В.П. Бережного. М.: ЦНИИ Электроника, 1990. - 304 с.
26. Telenyk S., Savchuk O., Pokrovskyi E., Domaskina N., Krivenko K. Usage of neural networks for processing diagnostic information of electric radio components //Advanced Computer Systems and Networks: Design and Application.Proceedings of 6-th International Conference ACSN-2013, September 16-18,2013, Lviv, Ukraine, pp .224-225.
27. Савчук О.В., Кривенко К.С. Інтелектуальний аналіз діагностичної інформації складних технічних комплексів // Інтелектуальний аналіз інформації IAI-2014 / 3б. праць. – К.: Просвіта. – 2014. – С.172-177.

28. Савчук О.В., Кривенко К.С. Класифікація електро-радіокомпонентів за допомогою нейромережових технологій // Інтелектуальний аналіз інформації ІАІ-2015 / 36. праць. – К.: Просвіта. – 2015. – С.196-202.
29. Теорія автоматичного керування: класика та сучасність:  
Підручник / Н.Б. Репнікова.-К.НТУУ «КПІ», 2011. – 328 с.
30. Надежность и эффективность в технике: Справочник в 10 томах.- М.:  
Машиностроение:  
Том 1. Методология. Организация. Терминология. -1986. – 224 с.  
Том 2. Математические методы в теории надежности и эффективности. – 1987. – 280 с.  
Том 3. Эффективность технических систем. -1988. -316 с.  
Том 4. Методы подобия в надежности. – 1987. -280 с.  
Том 5. Проектный анализ надежности. – 1988. – 316 с.  
Том 6. Экспериментальная обработка и испытания. – 1989. – 376 с.  
Том 7. Качество и надежность в производстве. – 1989. – 280 с.  
Том 8. Эксплуатация и ремонт. – 1990. – 320 с.  
Том 9. Техническая диагностика. – 1987. – 352 с.  
Том 10. Справочные данные по условиям эксплуатации и характеристикам надежности. – 1990. – 336 с.
31. ДСТУ 2864.-94. Надійність техніки. Експериментальне оцінювання та контроль надійності. Основні положення. - К.: Держстандарт України, 1995. - 30 с.
32. ГОСТ 27.205-97 (ДСТУ 3524-97). Надежность техники. Проектная оценка надежности сложных систем с учетом технического и программного обеспечения и оперативного персонала. Основные положения.
33. Savchuk O., Morgal O., Artamonova V. Latash I.(student) Usage of Fuzzy Sets in Medical Research/ Proc. of the Int. ICACIT-2017, Poland, Cracow, 2016.- 4 p.
34. Азарсков В.Н., Стрельников В.П. Надежность систем управления и автоматики: Учеб. Пособие. - К.: НАУ, 2004. - 164 с.

35. ГОСТ 19.508-79 ЕСПД. Руководство по техническому обслуживанию. Требования к содержанию и оформлению.
36. Структурная информационная теория надежности систем / Пампуро В.И.- Отв. ред. Счастливый Г.Г.: АН Украины. Ин-т электродинамики . – Киев: Наукова думка, 1992. – 328 с.
37. <https://studopedia.org/4-170929.html> Структурне резервування.
38. S .Telenyk, O.Savchuk, E. Pokrovskyi, O. Morgal , K. Krivenko, I.Latash. On Some Problems of Neural Network Technologies in Electric Components Diagnosing/ Artificial Intelligence, 2017, №3/4.- p.p.95-104.
39. Надійність та діагностика. Частина 1: Логічні методи діагностування технічних систем. Метод. вказівки до виконання домашньої контрольної роботи для студентів на пряму підготовки спец. 6.050201 «Системна інженерія» / Укладачі: О.В. Савчук, Л.С. Венделовська. - К.: ІВЦ Політехніка, 2010. – 47 с.
40. Сердюк Г.Б., Усатенко В.Г., Миненко А.П. Автоматизированные комплексы для электрофизического диагностирования ИС и других изделий электронной техники по критериям качества и надежности. К.: КПИ, НПП АМАТЕК, 1992.- С. 55-59.
41. Теоретичні основи електротехніки: Підручник: У 3 т. / В. С. Бойко, В. В. Бойко, Ю. Ф. Видолоб та ін.; За заг. ред. І. М. Чиженка, В. С. Бойка. - К.: ШЦ "Видавництво «Політехніка»", 2004. - Т. 1: Усталені режими лінійних електричних кіл із зосередженими параметрами. - 272 с: ISBN 966-622-042-3
42. [https://studopedia.ru/2\\_45034\\_avtokorrelyatsiya-v-ostatkah-kriteriy-darbinauotsona.html](https://studopedia.ru/2_45034_avtokorrelyatsiya-v-ostatkah-kriteriy-darbinauotsona.html) (залишки-регресії) Динамічні моделі надійності
43. T. Dillon, W. Chen, and E. Chang. Cloud Computing: Issues and Challenges, in Advanced Information Networking and Applications (AINA)// 24th IEEE International Conference, 2010, pp. 27-33.

44. [online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=51308](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=51308)

[ДСТУ 3004-95. Надійність техніки. Методи оцінки показників ...](#)

45. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення. - К.: Держстандарт України, 1995.- 92 с.

46. ДСТУ 2992-95. Изделия электронной техники. Методы расчета надежности. - К.: Держстандарт України, 1995. - 76 с.

47. ДСТУ 2863.-94. Надійність техніки . Програма забезпечення надійності. Загальні вимоги. - К.: Держстандарт України, 1995. -36 с.

48. <https://mydocx.ru/2-105753.html> Модель Шумана (дата звернення 10.12.2021).

49. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения.- Уч. Пособие для втузов.-М.:Высшая школа, 2000.-383 с.

50. Jose M. Alcaraz Calero, Nigel Edwards, Johannes Kirschnick, Lawrence Wilcock & Mike Wray Clouds: Toward a multi-tenancy authorization system for cloud services// IEEE Security and Privacy, 2010, pp. 16-122.

51. Chou, D. C., & Chou, A. Y. . Software as a Service (SaaS) as an Outsourcing Mode // An Economic Analysis, 2007, pp. 386-391.

52. Jun Feng, Yu Chen. Bridging the Missing link of Cloud data storage security in AWS // IEEE conf on CCNC, 2010.

53. I. Iankoulova, M. Daneva: Cloud Computing Security Requirements: a Systematic Review // Sixth International Conference on Research Challenges in Information Science, 2012, 7, pp., 2012.

54. B. Grobauer, T. Walloschek, and E. Stocker, Understanding Cloud Computing Vulnerabilities// Security & Privacy, IEEE, 2011, vol. 9, pp. 50-57.

55. Sergii Telenyk, Olena Savchuk, Eugene Pokrovskiy, Oleg Morgal, O. Pochylenko/ On Reability Modeling and Evaluating in Cloud Services System/ Aryificial Intelligence, №3/4, 2018,- 11p.

56. Kaya, Kamer & Aydin Selçuk, Ali. Secret Sharing Extensions based on the Chinese Remainder Theorem // IACR Cryptology ePrint Archive. 2010. 96.

57. Jun-Ho Lee, Min-Woo Park: Multi level Intrusion Detection System and Log management in Cloud Computing // ICACT. 2011. pp. 316-397.
58. Пирожков О. Ю., Савчук О.В. Інформаційно-орієнтована концепція забезпечення безпеки хмарних обчислень/Інфокомунікаційні системи та технології, вип.№2(2) / 2018.- с.32-36
59. Пацюра И.В., Корнейчук В.И., Довбыш Л.В. Надежность электронных систем.- К.: Світ, 1997. – 127 с.
60. Тарасенко В.П., Маламан А.Ю., Черниченко Ю.П., Корнійчук В.І. Надійність комп'ютерних систем. –К. : Корнійчук, 2007.- 256 с.
61. Цвитун А.А., Корнейчук В.И., Долголенко А.Н. Надежность компьютерных сетей.-К.: Корнейчук, 2010. - 116 с.
62. ISO 9126:1991. Информационная технология. Оценка программного продукта. Характеристики качества и руководство по их применению
63. <https://expeducation.ru/ru/article/view?id=10351> Теорія катастроф.
64. <https://gtmarket.ru/library/articles/875> Илья Пригожин. Философия неустойчивости. – Перевод с английского: Я.И. Свирский / Вопросы философии, №6, 1991. Дата звернення: 24 грудня 2021 р.).



## ДОДАТКИ

### Додаток А

#### Розрахунки надійності комп'ютерних систем захисту інформації (аналітичні оцінки)

##### Додаток А1. Методика повного розрахунку надійності технічних засобів

###### Основні положення

Такий розрахунок роблять із метою визначення основних показників надійності й ремонтпридатності: функції ймовірності безвідмовної роботи  $P(t)$  і відновлення  $R(t)$ . При цьому думають, що  $\lambda$  - постійна, відмови є незалежними подіями й відмова одного елемента приводить до відмови всієї системи. Звичайно так буває, коли система не має апаратної й тимчасової надлишковості, яку вводять для того, щоб система продовжувала безвідмовно працювати при наявності відмов деяких елементів. Розрахунок надійності таких систем з надлишковістю ускладнюється через необхідність обліку властивостей надлишковості [59].

При зроблених вище пропозиціях використовується схема, коли всі її елементи з'єднані послідовно, інтенсивність відмов системи дорівнює сумі інтенсивностей відмов її елементів. Розрахунок надійності в цьому випадку складається в підрахунку кількості  $N_i$  елементів  $i$ -го типу, наявних у об'єкті, які визначаються по наведеним у наступному розділі даним їхньої експлуатаційної інтенсивності відмов  $\lambda_{\text{э}i}$  й обчисленню інтенсивності відмов  $\lambda$  системи:

$$\lambda = K_a \cdot K_o \sum_{i=1}^n N_i \cdot \lambda_{\text{э}i} \quad (\text{A.1})$$

де  $n$  – кількість типів елементів системи,  $K_a$  і  $K_o$  – коефіцієнти, що враховують наявність амортизації системи, і якість її обслуговування.  $K_a=0,85$  при наявності й  $K_a=1$  при відсутності амортизації  $K_o=1$  для побутової апаратури й  $K_o=0,5$  для апаратів виробничо–технічного призначення. Далі по формулах

$$P(t) = e^{-\lambda t}, \quad (A.2)$$

$$T_o = \frac{1}{\lambda}.$$

(A.3)

Крім  $\lambda$ , надійність характеризується ще й рядом інших показників: терміном зберігання, часом ремонту тощо. Терміни зберігання вказуються в роках.

Оцінку часу ремонту роблять шляхом розрахунку тривалості виконання всіх операцій, що відповідають технології ремонту. Для системи час відновлення складається з наступних складових:

1 Час  $t_1$  - час роботи несправної системи. Цей час відраховується від появи відмови до її виявлення. Фактичні втрати машинного часу можуть бути значно більшими через те, що система з несправною ПЕОМ може знищити раніше отримані результати. Час  $t_1$  залежить від наявності системи контролю правильності роботи, тобто можливості самодіагностування всіх пристроїв  $t_1 \cong 0$ . При програмному контролі ЕОМ приблизно вважають, що  $t_1 \cong 0,25$  години.

2 Початковий час  $t_2$  простою відраховується від моменту, коли оператор помітив несправність до його звертання до ремонтника.

3 Час  $t_3$  очікування ремонту. Значення часу  $t_2$  й  $t_3$  залежать від організації служби ремонту. При наявності чергового ремонтника  $t_2+t_3=0$ . При централізованому ремонті цей час може тривати до кількох діб, необхідних для прибуття ремонтника.

4 Час  $t_4$  дослідження й ремонту визначається витратами на завантаження й роботу іспитових програм, спроб усунення відмови й повторного виконання іспитових програм для того, щоб переконатися, що ремонт дійсно зроблений. Величина  $t_4$  залежить від кількості засобів контролю й діагностики й від трудомісткості операцій розбирання, заміни вузлів, що відмовили, і зборки системи.

5 Час  $t_5$  запуску системи після ремонту необхідно для завантаження програмного забезпечення. Цей час визначається якістю зовнішніх пристроїв і перебуває в межах від 1 до 30 хвилин.

Значення  $t_i$  ( $i=1,2,\dots,5$ ) для п'яти різних ЕОМ (1-малі, 3-середні, 5-великі) виробництва 80-х років, наведені в таблиці А1.1

Таблиця А1.1

Складові часу відновлення	Час відновлення в годинах для ПЕОМ				
	1	2	3	4	5
$T_2+t_3$	0,2	0,8	1,5	3,3	0,8
$T_4$	5	9,2	11,6	6,6	5,7
$T_B=t_1+t_2=t_3+t_4+t_5$	5,7	10,5	13,6	10,4	7

Зменшення  $T_B$  в ПЕОМ класів 4 й 5 обумовлено тим, що великі ЕОМ мають потужну систему контролю й діагностики, що зменшує час їхнього ремонту.

Розрахунок складового часу відновлення дозволяє не тільки оцінити середній час ремонту  $T_B$ , але й зробити припущення про функції розподілу  $T_B$ . Якщо всі складові приблизно рівні, тобто є підстави думати, що  $T_B$  є величинами

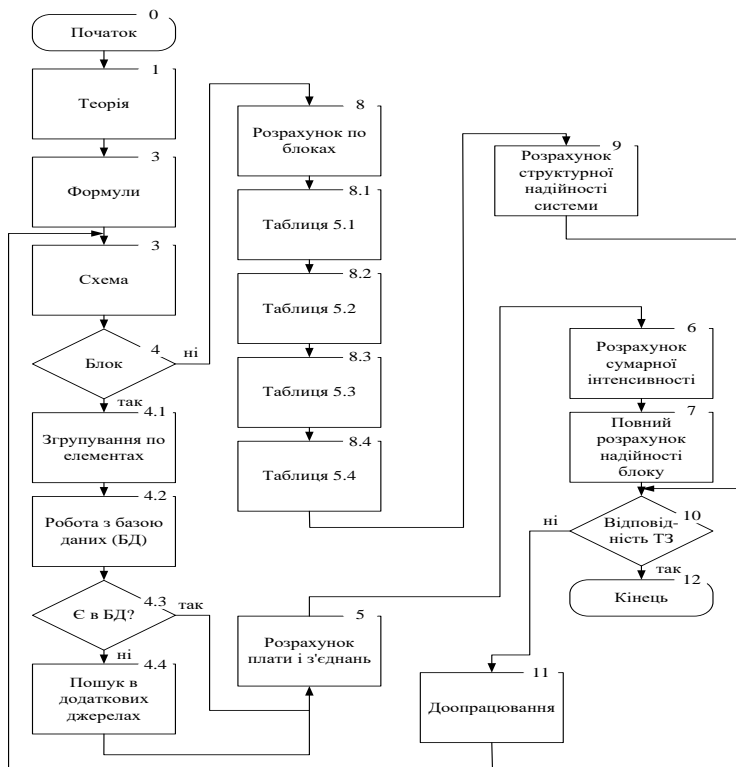
різного порядку, то можна припустити, що  $T_v$  розподілено за експоненціальним законом. У цьому випадку

$$R(t) = 1 - e^{-\mu t}, \quad (A1.4)$$

де  $\mu = \frac{1}{T}$ . Більш точно  $R(t)$  можна визначити шляхом моделювання процесу відновлення ПЕОМ або хронометражу робіт.

### *Додаток А2. Загальний алгоритм повного розрахунку надійності технічних засобів*

Схема алгоритму сумарної інтенсивності відмов для повного розрахунку нижньої границі надійності КСЗІ і/або його блоку, коли приймається послідовна схема заміщення, наведена на рисунку А2.1.



## Рисунок А2.1

Зміст блоків схеми алгоритму наступний:

1) Короткі теоретичні зведення з теорії надійності з урахуванням вимог стандартизації [59,с.90 - 92; 22,60,61].

2) Основні розрахункові формули показників надійності [59, с.4-11].

3) Принципова схема всієї КСЗІ або її окремого вузла (блоку) і/або перелік елементів.

3.1) Аналіз переліку елементів відповідно до ТЗ. Угрупування елементів системи на вигляд (інтегральні схеми, конденсатори, резистори та ін.).

3.2) Складання зведеної таблиці даних повного розрахунку надійності КСЗІ.

Таблиця А2.1

Найменування елемента	Кількість, одиниць
Мікросхеми	
...	
Резистори	
...	
Конденсатори	
...	
...	

3.3) Розрахунок інтенсивностей відмов кожного виду елементів з використанням бази даних, що наведена нижче [59, с.21-87].

3.4) Розрахунок інтенсивностей відмов металізованої плати і з'єднань [59, с. 33-34; таблиця 5.3, с. 20].

3.5) Розрахунок сумарної інтенсивності відмов блоку. Результати розрахунку звести в таблицю А2.2.

Таблиця А2.2

Найменування елемента	Кількість, одиниць	Інтенсивність відмов, $10^{-8} \Gamma^{-1}$	Добуток $N_i \lambda_i, 10^{-8} \Gamma^{-1}$
Мікросхеми			
...		- * -	
Інтенсивність відмов мікросхем , усього			
Конденсатори			
...			
Інтенсивність відмов конденсаторів , усього			
Резистори			
...			
Інтенсивність відмов резисторів, усього			
Інші елементи			
Інтенсивність відмов інших елементів, усього			
Плата			
...			

Інтенсивність відмов плати, усього
З'єднання

...			
Інтенсивність відмов з'єднань, усього			
Інтенсивність відмов блоку, разом (підсумовування інтенсивностей за формулою (2.4.1))			

### ***Додаток А3. Повний розрахунок надійності блоку КСЗІ***

Розрахунок ймовірності безвідмовної роботи, наробітку на відмову та часу відновлення КСЗІ відповідно формулам (3.4.1)-(3.4.4) п. 3.4 [59]. Графічна інтерпретація результатів розрахунку: побудувати графік  $P(t)$  з кроком  $\Delta t = T_0/n$ , ( $n=7...10$ ).

А3.1) Визначення інтенсивності відмов окремих блоків складних КСЗІ у загальному вигляді.

А3.1.1) Визначення інтенсивності відмов) окремих блоків складних КСЗІ в умовах нормальної експлуатації (  $T=20^{\circ}-25^{\circ} C$ , вологість 50-70%)

$\lambda_0$  [59, таблиця 5.1, с.19].

А3.2) Уточнення умов експлуатації зазначених блоків КСЗІ. Визначення коефіцієнта  $K$  з урахуванням умов експлуатації. Визначення уточненої інтенсивності відмов системи

$$\lambda = K \lambda_0 \text{ [59, таблиця 5.2, с.19].}$$

А3.3) Уточнення коефіцієнту експлуатації  $K$  щодо температури з урахуванням поправкових коефіцієнтів  $K_1, \dots, K_7$

[59, таблиця 5.3, с. 20].

А3.4) Облік умов збережуваності виробів (в неробочому стані) [59, таблиця 5.4, с. 20].

*Розрахунок структурної надійності КСЗІ [22].*

А3.10) Перевірка розрахункових даних на відповідність ТЗ. Якщо розрахункові дані відповідають ТЗ - кінець розрахунків, у протилежному випадку - проведення заходів для підвищення надійності (дивись п.п. А3.6...А3.9).

Даний алгоритм повного розрахунку надійності систем можна виконати, використовуючи [57], а дані для розрахунків отримати експериментально, або з джерел [20,22,30,31,34,43,45, 57-59].

## Додаток Б

### *Тестування програмних засобів*

#### *Б.1 Методи та системи тестового діагностування*

Тестування застосовується для визначення відповідності предмета випробування заданим специфікаціям [7,24,30]. До завдань тестування не належить визначення причин невідповідності заданим вимогам (специфікаціям). Тестування — один з розділів технічної *діагностики*.



Тестування застосовується в техніці, медицині, психіатрії, освіті для визначення придатності об'єкта тестування для виконання тих чи інших функцій. Якість тестування і достовірність його результатів значною мірою залежить від методів тестування та складу тестів.

Процес тестування включає:

- подачу тестового набору;
- визначення реакції об'єкта тестування на тестовий набір;
- оцінку реакції і висновки.

*Тестовий набір* складається з окремих *тестів* і розробляється таким чином, щоб забезпечити повне або значне покриття множини ймовірних впливів на об'єкт тестування. Цим, також, визначається складність розробки як окремих тестів, так і тестових наборів.

У *технічній діагностиці* застосовуються формалізовані методи розробки мінімальних, необхідних і достатніх тестів перевірки працездатності (відповідності специфікаціям). Наприклад, в електронній промисловості, формалізовані методи розробки тестів цифрових пристроїв можуть базуватись на моделях статичних несправностей (розрив, коротке замикання, тощо) та статистичних даних про несправності в аналогічних пристроях.

В *педагогічній діагностиці* отримали поширення методи тестування, що не погіршують якості отриманих об'єктом тестування (учнем) знань. Ця специфіка пов'язана з тим, що процес тестування є частиною навчального процесу і під час тестування учень не повинен отримувати або закріплювати хибних знань. Ця проблема є досить гострою в *автоматизованих системах перевірки знань*.

### ***Б.2 Модель, що визначає час доведення програм***

Ця модель використовується для ПЗ, які мають ієрархічну структуру, тобто ПЗ як система може містити підсистеми, які складаються з компонентів, а ті, у свою чергу, складаються з  $V$  модулів. Таким чином, ПЗ може мати  $V$  різних рівнів композиції. На будь-якому рівні ієрархії можлива взаємна залежність між будь-

якими парами об'єктів системи. Усе взаємозалежності розглядаються в термінах залежності між парами модулів.

Аналіз модульних зв'язків будується на тім, що кожна пара модулів має кінцеву (можливо, нульову) ймовірність, зміни в одному модулі викличуть зміни в іншому модулі.

Дана модель дозволяє на етапі тестування, а точніше при тестовій зборці системи, визначати можливе число необхідних виправлень і час, необхідне для доведення ПЗ до робочого стану.

Грунтуючись на описаній процедурі оцінки загального числа змін, необхідних для доведення ПЗ, можна побудувати дві різні стратегії коректування помилок:

- фіксувати всі помилки в одному обраному модулі й усунути всі побічні ефекти, викликані змінами цього модуля, відпрацьовуючи в такий спосіб послідовно всі модулі;
- фіксувати всі помилки нульового порядку в кожному модулі, потім фіксувати всі помилки першого порядку тощо.

Дослідження цих стратегій доводить, що час коректування помилок на кожному кроці тестування визначається максимальним числом змін, внесених у ПЗ на цьому кроці, а загальний час - сумою максимальних часів на кожному кроці.

Це підтверджує відомий факт, що тестування звичайно є послідовним процесом і має значні можливості для паралельного виправлення помилок, що часто приводить до перевищення затрачуваних на нього ресурсів над запланованими [13,24,30].

Спеціалісти-сертифікатори мають право на розширення умов випробувань і на створення різних критичних і стресових ситуацій у межах нормативної документації, при яких повинні забезпечуватися задана якість і надійність

рішення запропонованих завдань. Якщо всі випробування проходять успішно, то на відповідну версію ПЗ оформляється спеціальний документ — *сертифікат відповідності* [32,34]. Цей документ офіційно підтверджує відповідність стандартам, нормативним й експлуатаційним документам функцій і характеристик випробуваних засобів, а також допустимість їхнього застосування в певній області.

Методологія прийняття рішень про допустимість видачі сертифіката на ПЗ визначається оцінкою ступеня його відповідності діючої й/або спеціально розробленим документам. У вихідних нормативних документах повинні бути зосереджені всі функціональні й експлуатаційні характеристики ПЗ, що забезпечують замовникові й користувачам можливість коректного застосування сертифікованого об'єкта у всьому різноманітті його функцій і показників якості. Вибір і ранжирування показників повинні проводитися з урахуванням класів ПЗ, їхнього функціонального призначення, режимів експлуатації, ступеня критичності й твердості вимог до результатів функціонування й проявам можливих дефектів і помилок. При цьому можуть залучатися документи попередніх етапів випробувань і документи, що підтверджують дотримання атестованих технологій при розробці програм на всіх етапах. Випробування ПЗ у конкретних проблемно-орієнтованих системах проводяться за правилами й методиками, прийнятим для відповідних класів критичних інформаційних систем, наприклад, авіаційних або космічних комплексів.

Роботи із сертифікації поєднуються в *технологічний процес*, на кожному етапі якого реєструються документи, що відбивають стан й якість результатів розробки ПЗ. Залежно від характеристик об'єкта сертифікації на її виконання виділяються ресурси різних видів. У результаті складність програм, а також доступні для сертифікації ресурси стають непрямими критеріями або факторами, що впливають на вибір методів випробувань, а також на досягання якості і надійності ПЗ.

Сертифікаційні випробування засвідчують якість і надійність ПЗ тільки в умовах, обмежених конкретними стандартами й нормативними документами, з деякою кінцевою ймовірністю. У реальних умовах експлуатації принципово можливі відхилення від характеристик зовнішнього середовища функціонування ПЗ за межі, обмежені сертифікатом, і ситуації, не перевірені при сертифікаційних випробуваннях. Ці обставини здатні викликати катастрофічні наслідки, що загрожують надійності функціонування й безпеки застосування ПЗ. Наявність сертифіката в ПЗ для критичних систем є необхідною умовою їхнього допуску до експлуатації. Однак будь-який сертифікат на складні системи не може гарантувати абсолютну їхню надійність застосування, і завжди залишається деякий ризик виникнення відмовних ситуацій.

*Систематичне тестування* імпортованих ПЗ у процесі проектування виробляється самими розроблювачами ІС. При відпрацьовуванні критичних ПЗ доцільні створення або закупівля комплектів і генераторів тестів для тестування конкретних ПЗ у складі ІС або автономно. Таке додаткове тестування підвищує впевненість у якості й надійності застосовуваних імпортованих продуктів у конкретному оточенні, а також може приводити до виявлення деяких помилок проектування й комплексування закордонних програмних компонентів. Їхнє усунення в більшості випадків доцільно проводити силами закордонної фірми-розроблювача з використанням організаційно і юридично оформленого механізму супроводу виробів постачальником.

*Обов'язкова сертифікація* закордонних ПЗ для складних, критичних ІС припускає супровід закупаваних, ліцензійно чистих виробів сертифікатом відповідності, виданим спеціалізованою іспитовою фірмою. Таке юридичне твердження якості й надійності застосування імпортованого виробу може бути недостатнім для особливо важливих, критичних ІС, тому що сертифікат відповідності не завжди супроводжується протоколами випробувань і використаними при цьому тестами, що не дозволяє оцінити повноту випробувань. У цих випадках варто орієнтуватися на додаткову сертифікацію

імпортних ПЗ вітчизняними проблемно-орієнтованими, атестованими сертифікаційними лабораторіями.

Такі випробування дозволяють упевнитися в надійності застосовуваних закордонних ПЗ, а також додатково виявити деякі некоректності програм або документації. Оперативні методи підвищення надійності функціонування ПЗ передбачаються в деяких закордонних виробках й, зокрема, у механізмах забезпечення цілісності інформації баз даних у *реляційних СУБД*. Однак розмаїтість умов функціонування імпортних ПЗ у складних вітчизняних інтегральних схем не дозволяє задовольнитися тільки штатними методами оперативного виявлення аномалій і відновлення обчислювального процесу, програм і даних. Методи й засоби для цього можуть бути в ряді випадків досить автономними й орієнтованими на оперативне підвищення надійності конкретної інтегральних схем у цілому, а не тільки окремих використовуваних ПЗ. Ці спеціалізовані методи й засоби можуть розроблятися вітчизняними фахівцями для забезпечення комплексної надійності з використанням всіх імпортних компонентів. Такий підхід дозволяє забезпечити комплексування різнорідних ПЗ різних закордонних постачальників і спеціалізованої вітчизняної системи оперативного захисту в єдиному комплексі програм. При цьому важливо використати концепцію й *стандартів відкритих систем* при взаємодії між як закупаваними, так і знову розроблювальними компонентами ПЗ, а також при їхній взаємодії із зовнішнім середовищем. Застосування стандартизованих інтерфейсів відкритих систем між прикладними програмами й CASE-технологією є ефективним сучасним методом підвищення надійності інформаційних систем при наявності різнорідних постачальників компонентів. Таким чином, для забезпечення надійності функціонування закордонних ПЗ у складі вітчизняних інтегральних схем насамперед варто повністю відмовитися від застосування нелегальних імпортних програм і баз даних. Процеси закупівлі, контролю й застосування імпортних ПЗ для складних вітчизняних інтегральних схем повинні бути організовані й підтримані додатковими випробуваннями.

Використання ліцензійно чистих ПЗ і тісна взаємодія з їхнім закордонним фірмами-постачальниками дозволяють ефективно продовжувати тестування програм при їхньому комплексуванні у вітчизняних ІС, оцінювати й підвищувати надійність функціонування. При закупівлі закордонних ПЗ доцільно вимагати *сертифікат відповідності* й супровідну *документацію* по методам, тестам і результатам випробувань. У ряді випадків може бути необхідна *додаткова сертифікація* імпортованих програм вітчизняними сертифікаційними лабораторіями. Крім того, для кожної критичної інтегральних схем повинна розроблятися спеціалізована система забезпечення надійності її функціонування шляхом оперативного контролю, виявлення дефектів і відновлення обчислювального процесу, програм і даних при перекручуваннях, що загрожують надійності й безпеці застосування.

В імпортованих програмах, крім випадкових помилок, можливі *навмисні фрагменти* — «заставні елементи» і віруси з метою реалізації шкідливих для експлуатації функцій, які не описані в документації. До настання певної події «заставний елемент» залишається неактивним, а при виконанні деякої умови здійснює руйнівні дії, що приводять до відмови й не передбачені функціональним призначенням і документацією. Сертифікація імпортованих програм для посвідчення відсутності в них вірусів або «заставних елементів» може здійснюватися у двох ситуаціях:

- при наявності в складі документації, що поставляється, вихідних текстів програм мовою програмування й описів алгоритмів обробки інформації;
- при наявності тільки експлуатаційної документації, недостатньої для аналізу змісту й текстів програм.

У першому випадку визначення наявності в програмі сторонніх компонентів може вироблятися послідовним звіренням тексту програми мовою програмування з описом програми й специфікації. По тексту програми складається блок-схема аналізованого алгоритму, що рівняється з алгоритмом,

викладеним в описі програми. Якщо *логічна структура алгоритмів розрізняється*, то варто проводити додатковий аналіз елементів блок-схем, у яких виявлені розходження. Такі розходження можуть бути обумовлені дефектами документації на програму, випадковими або навмисними дефектами самої програми. Дефекти програми підлягають докладному аналізу, класифікації й коректуванню, після чого її варто піддати повному тестуванню й повторній сертифікації на повну відповідність всієї документації й відсутність шкідливих компонентів.

У другому випадку, що є найбільш масовим, завдання значно ускладнюється, тому що вихідні документи про структуру й зміст програм й алгоритмів не поставляються. Для одержання тексту програми й алгоритму *необхідно провести дизасемблерування об'єктного коду програми* й виразити кожен функціональну команду коду асемблера у вигляді логічної процедури для подання як *оператора блок-схеми алгоритму*. Побудована блок-схема підлягає аналізу на наявність сумнівних конструкцій, тупиків і висячих вершин, які можуть виявитися «заставними елементами». Кожна сумнівна група процедур підлягає подальшому аналізу на можливість її приналежності «заставному елементу», вірусу або випадковій помилці. Виявлені ділянки програми, що містять випадкові й навмисні дефекти, повинні коректуватися. Після їхнього виключення програма підлягає *повторному повному тестуванню* на відповідність експлуатаційної документації [11,32,34].

Чітка економічна і юридична взаємодія з певними фірмами - постачальниками імпортованих ПЗ дозволяє тримати під контролем не тільки досягну надійність ІС, але й значно знижує ймовірність злочинних аномалій у виробках, що поставляють ними. Виявлення й публікація відомостей про навмисні негативні компоненти в програмних продуктах здатні завдати значної шкоди репутації й бізнесу фірми.

### ***Б.3 Методи і системи тестового діагностування***

## *програмного забезпечення*

### *Б.3.1 Основні визначення*

Тестування — процес виконання програми з наміром знайти помилки [8,30]. Тестування виявляється досить незвичайним процесом ( чому воно й вважається важким), тому що це процес руйнівний. Адже ціль того, що перевіряє (тестувальник) - змусити програму збитися. Він задоволений, якщо це йому вдається; якщо ж програма на його тесті не збивається, він не вдоволений.

Класифікація різних форм тестування :

Тестування (testing) — процес виконання програми (або частини програми) з наміром (або метою) знайти помилки.

Доказ (proof) — спроба знайти помилки в програмі безвідносно до зовнішнього для програми середовищу. Більшість методів доказу припускає формулювання твердженні про поведження програми й потім вивід і доказ математичних теорем про правильність програми. Докази можуть розглядатися як форма тестування, хоча вони й не припускають прямого виконання програми. Багато дослідників вважають доказ альтернативою тестуванню - погляд багато в чому помилковий.

Контроль (verification) — спроба знайти помилки, виконуючи програму в тестовому середовищу, або під час моделювання.

Випробування (validation) — спроба знайти помилки, виконуючи програму в заданому реальному середовищі.

Атестація (certification) — авторитетне підтвердження правильності програми. При тестуванні з метою атестації виконується порівняння з деяким заздалегідь певним стандартом.

Налагодження (debugging) не є різновидом тестування. Хоча слова «налагодження» й «тестування» часто використовуються як синоніми, під ними



маються на увазі різні види діяльності. *Тестування* - діяльність, спрямована на виявлення помилок; *налагодження* - спрямоване на встановлення точної природи відомої помилки, а потім - на виправлення цієї помилки.

Ці два види діяльності зв'язані - результати тестування є вихідними даними для налагодження. Ці визначення представляють один погляд на тестування - з боку середовища, на яку воно опирається. Інший ряд визначень, наведений нижче, охоплює другу сторону тестування: типи помилок, які передбачається виявити, і стандарти, з якими зіставляються програми, які тестуються.

Тестування модуля, або автономне тестування (module testing, unit testing) — контроль окремого програмного модуля, звичайно в ізольованому середовищі (тобто ізольовано від всіх інших модулів). Тестування модуля іноді включає також математичний доказ.

Тестування сполучень (integration testing) — контроль сполучень між частинами системи (модулями, компонентами, підсистемами).

Тестування зовнішніх функцій (external function testing) — контроль зовнішнього поведіння системи, певного зовнішніми специфікаціями.

Комплексне тестування (system testing) — контроль й/або випробування системи стосовно вихідним цілям. Комплексне тестування є процесом контролю, якщо воно виконується в середовищу, яке моделюється, і процесом випробування, якщо виконується в середовищі реальної, життєвої.

Тестування прийнятності (acceptance testing) — перевірка відповідності програми вимогам користувача.

Тестування настроювання (installation testing) — перевірка відповідності кожного конкретного варіанта установки системи з метою виявити будь-які помилки, що виникли в процесі настроювання системи.

На сучасному етапі розвитку інформаційних технологій програмне забезпечення характеризується великим ступенем складності. Особливістю

програмного забезпечення, розроблювального для сфери економіки, є те, що воно постійно змінюється. Зв'язано це насамперед зі змінами, що відбуваються в предметній області (введення нових послуг, бізнесів-процесів, зміна законодавства).

Сьогоднішня потреба говорити про програмне забезпечення як про промисловий продукт, відповідно про створення ПО - як про виробництво. Існує безліч стандартів підтримки життєвого циклу програмного забезпечення. Розроблено безліч стандартів і методик підтримки стадій ЖЦ ПО, наприклад стандарти ISO, 9000 й ISO 9001, розроблені Міжнародною організацією по стандартизації (ISO) [6,10,11].

На сьогоднішній день автоматизована більшість етапів розробки програмного забезпечення, у тому числі й етап тестування. Однак у вітчизняній практиці тестуванню програмних засобів відведена незаслужено маленька роль. Причинами можуть бути відсутність грошей на придбання дорогих CASE-засобів, що підтримують всі етапи розробки ПО, у тому числі тестування, або небажання тримати таку штатну одиницю, як *фахівець із тестування*. Звичайно здобувають засобу автоматизації проєктування.

**ER-модель** (від англ. *Entity-Relationship model*, модель «сутність — зв'язок») — модель даних, що дозволяє описувати концептуальні схеми предметної області (створення ER-моделей, інформаційних моделей й ін.) і програмування (автоматичне створення БД на основі ER-моделі, створення інтерфейсу на основі ER-моделі, візуальне програмування).

З тестуванням справи йдуть складніше.

Тестування займає важливе місце в життєвому циклі програмного забезпечення, це трудомісткий і дорогий процес. В організаційній структурі сучасній фірми-розроблювача ПО повинен бути відділ по тестуванню програмного забезпечення або фахівець із тестування програмного забезпечення.

## Види тестування

У цій главі була перерахована велика кількість видів тестування програмних засобів. Найбільш важливі для практики перераховані нижче.

1. Функціональне — тестування можливостей системи, її реакція на ті або інші ситуації. Звичайно результат тестування (реакція системи) співпадає з постановкою завдання, і при невідповідності фіксується помилка.
2. Регресійне — перевірка повноти реалізованих функцій системи в порівнянні з попередньою версією програмного продукту.
3. Навантажувальне — тестування роботи системи на пікове навантаження, при цьому робиться вивід про продуктивність системи. Наприклад, з'ясовується середній час уведення одного документа (якщо програмне забезпечення призначене для зберігання й обробки документів). Умовою для навантажувального тестування є виконання випробувань на одній і тій же конфігурації системи. Якщо тестується продуктивність на 2-х різних СУБД, то конфігурація системи повинна бути ідентичною (той же сервер, ті ж робітники станції), у випробуваннях міняються лише СУБД. На основі навантажувального тестування висувуються вимоги до апаратної частини й програмної частини системи (операційна система, СУБД).
4. Контроль після виправлення (зворотний зв'язок). Цей вид тестування має на увазі під собою перевірку вже виправлених помилок.
5. Стресове тестування — перевірка реакції системи на позаштатні ситуації. Прикладом може служити перевірка системи на відновлення працездатності після відключення живлення на сервері бази даних.

б. Адаптаційне тестування — перевірка коректності перекладу програмного забезпечення на іншу національну мову.

### Місце тестування в процесі розробки ПО

Розглянемо організаційну структуру типової компанії-розроблювача програмного забезпечення й більше докладне підрозділ, що займається тестуванням програмного забезпечення (відділ тестування, група тестування). Виділимо завдання, які вирішує відділ тестування, його внутрішню структуру, взаємодію з іншими відділами [30,32,34,35,60].

Взагалі структура фірми - розроблювача програмного забезпечення відбиває етапи життєвого циклу програмного засобу. Те або інший підрозділ забезпечує виконання робіт з одному або декількох етапам життєвого циклу програмного забезпечення.

Аналітичний відділ. У завдання аналітичного відділу входять:

- визначення концепцій і функціонального напрямку розвитку програмного продукту;
- проведення передпроектного обстеження;
- визначення функціональних можливостей системи;
- визначення (разом з розроблювачами) технічних вимог до системи;
- опис бізнесів-процесів предметної області в термінах, зрозумілих розроблювачам (постановки завдань і специфікації на розробку);
- написання постановок завдань і специфікацій на доробку програмного засобу при зміні законодавства, вимог клієнтів, розширенні функціональних можливостей продукту;

- контроль процесу реалізації нових можливостей у програмних продуктах компанії.

Відділ документації. Часто даний відділ не виділяється у відособлену структуру, він може входити, наприклад, до складу аналітичного відділу. У завдання відділу входять написання технічної документації для кінцевого користувача, відстеження змін у програмному засобі й актуалізація в документації.

Відділ розробки. Це ключовий відділ для фірми. Якщо без інших відділів найчастіше можна обійтися, то без відділу розробки ніяк не можна. У його завдання входять:

- визначення (разом з аналітиками) технічних вимог до системи;
- реалізація базових функцій програмного засобу;
- розширення переліку функцій програмного засобу (реалізація доробок);
- виправлення знайдених помилок;
- адаптація програмного продукту для функціонування в інших умовах (перехід на нову СУБД, нова мова програмування й ін.);
- оптимізація програмного продукту (збільшення швидкодії, надійності й ін.).

Відділ технічної підтримки (гаряча лінія). Здійснює консультації користувачів з питань, пов'язаних з установкою й експлуатацією програмного засобу по різних каналах зв'язку (телефон, пошта, електронна пошта).

Відділ тестування. У завдання відділу входять:

- комплексний контроль якості;
- підготовка тестової документації (плани тестування тощо);
- виявлення й локалізація помилок у функціонуванні програмних продуктів;
- фіксування й відстеження помилок у функціонуванні програмних засобів;

- перевірка відповідності документації програмного продукту стандартам і реально реалізованим функціям;
- участь у розробці й впровадженні системи якості;
- автоматизація тестування;
- оцінка продуктивності розроблювальних програмних засобів на різних програмно-апаратних платформах й їхніх специфічних конфігураціях.

У деяких компаніях на відділ тестування покладають зборка й випуск програмного забезпечення (у деяких компаніях цим займається відділ розробки). Всі відділи компанії взаємодіють між собою, дані взаємодії впорядковані між собою й представляють виробничі технологічні процеси. Технологічні процеси, як правило, регламентовані внутрішніми документами або внутрікорпоративними стандартами; у сукупності являють собою технологічний цикл виробництва програмного засобу.

Типових технологічних ланцюжків усередині компанії-розроблювача програмного забезпечення велика безліч. Як приклад розглянемо схему взаємодії відділу тестування програмного забезпечення з іншими відділами при виявленні помилки під час функціонування програмного забезпечення в користувача (рисунок Б.5).

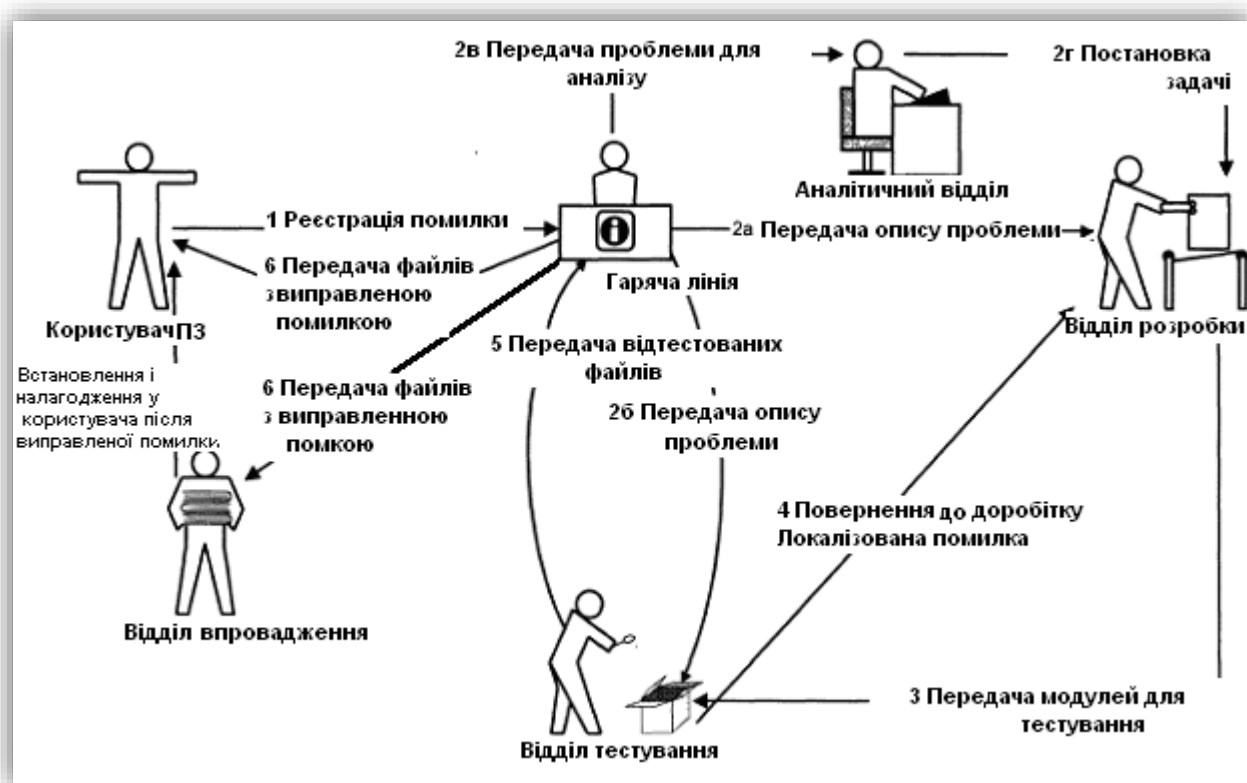


Рисунок Б.5 Схема технологічного процесу виправлення помилки ПЗ при знаходженні її користувачем

Особливу роль при розробці програмного забезпечення грає контроль якості програм, що поставляють користувачам. Тут особливу роль грає відділ тестування й/або підрозділ, що здійснює приймання готового продукту. У завдання даних підрозділів входить проміжний і кінцевий контроль якості програмних засобів. Якщо якість програмного продукту при прийманні не відповідає необхідному рівню, то підрозділ, відповідальне за контроль якості, може забракувати його, тобто накласти вето на вихід програмного продукту. Неякісне програмне забезпечення до користувача не потрапить.

1 По підтримуваних каналах зв'язку (звичайно різні види електронної пошти, телефон) користувач при виявленні помилки в програмному засобі звертається в службу технічної підтримки. Фахівець намагається відтворити проблему, і якщо вона не є помилкою в силу неправильних дій користувача або недостатніх знань

користувача, то фахівець служби технічної підтримки дає користувачеві консультацію або посилання на документацію користувача.

2 Якщо фахівець служби технічної підтримки визначив виниклу проблему як помилку, то він докладно описує її й відправляє опис помилки або у відділ розробки для виправлення

(2а), або у відділ тестування для локалізації, якщо помилку, що виникла в користувача, відтворити не вдалося

(2б). Якщо прояв помилки пов'язане із ситуацією, що вимагає зміни постановки завдання й аналізу, опис проблеми передається в аналітичний відділ відповідальному аналітикові

(2в). Після аналізу й написання постановки завдання на доробку аналітик передає опис проблеми разом з постановкою у відділ розробки (2г).

3 Розроблювач виправляє помилку, після чого передає опис проблеми, модулі й постановку завдання (якщо проблема пройшло через аналітичний відділ) у відділ тестування (3). Тестер відтворює помилку по описі, звіряє отриманий результат з постановкою завдання. Перевіряє всі можливі місця в програмному засобі, де помилка могла мати свій прояв. У випадку, якщо помилка виправлена, тестер передає відтестовані модулі у відділ технічної підтримки (5). Якщо помилка не була виправлена або виправлена не повністю, тестер повертає завдання з описом проблем, які не були виправлені, у відділ розробки (4). Цикл розроблювач - тестер (3- на рисунку 5.5) може повторюватися кілька разів, поки помилка не буде повністю виправлена.

4 Відділ технічної підтримки приймає відтестовані модулі, опис проблеми, коментарі тестера, далі по скороченій програмі засвідчує, що помилка виправлена (здійснює приймальне тестування), і передає файли одним зі способів користувачеві (по електронній пошті, через ftp-сервер, на магнітному або іншому носії) (ба). У випадку, якщо користувач не в змозі самостійно встановити файли,



у яких виправлена помилка, або цього не дозволяє програмний засіб, або з користувачем обговорений інший спосіб передачі файлів у технологічний процес, то підключається відділ впровадження (6). Залежно від внутрішньої технології відтестовані файли можуть попадати як з відділу технічної підтримки (6), так і безпосередньо від тестера. Далі фахівець відділу впровадження проводить установку файлів, налаштування системи й конвертацію даних, якщо виправлення помилки спричинило зміну збережених даних програмного засобу.

5. Описаний вище технологічний процес не є догмою й може бути змінений залежно від сформованих обставин. Один принцип повинен виконуватися завжди для забезпечення якості програмного продукту - програмний продукт не повинен попадати до користувача невідтестованим.

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ  
СІКОРСЬКОГО»

**НАВЧАЛЬНИЙ АНГЛО-УКРАЇНСЬКИЙ,  
УКРАЇНСЬКО-АНГЛІЙСЬКИЙ  
МАТЕМАТИЧНИЙ СЛОВНИК**

*Затверджено Вченою радою факультету інформатики  
та обчислювальної техніки КПІ ім. Ігоря Сікорського  
(протокол № 10 від 24.05.2018 р.)*

Київ 2018

Навчальний англо-український, українсько-англійський математичний словник [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальностей 121 «Інженерія програмного забезпечення», 126 «Інформаційні системи та технології» / КПІ ім.Ігоря Сікорського; уклад.: Є. О. Покровський, С. Є. Покровський, О.В. Савчук. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,3 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 114 с.

**Рецензенти:**

Забара Станіслав Сергійович, проф, д.т.н., зав.каф. інформаційних технологій та програмування Університету «Україна»

Дорошенко Анатолій Юхимович, проф., д.ф.-м.н., зав.відділом Інституту програмних систем НАНУ

**Відповідальний редактор**

Ролік Олександр Іванович, д.т.н., професор, завідувач кафедри АУТС ФІОТ КПІ ім. Ігоря Сікорського”

**Зміст**

**ПЕРЕДМОВА ДО СЛОВНИКУ.....189**

**АНГЛО-УКРАЇНСЬКІ (АУ) СЛОВНИКИ**

**РОЗДІЛ 1. АУ СЛОВНИК ЗАГАЛЬНОВЖИВАНОЇ МАТЕМАТИЧНОЇ ЛЕКСИКИ.....190**

**1.1 КОРОТКИЙ АУ СЛОВНИК БАЗОВИХ МАТЕМАТИЧНИХ ТЕРМІНІВ.....190**

**1.2 КОРОТКИЙ АУ СЛОВНИК ОПЕРАЦІЇ «ДОДАВАННЯ».....192**

**1.3 КОРОТКИЙ АУ СЛОВНИК ОПЕРАЦІЇ «ВІДНІМАННЯ» .....194**

**1.4 КОРОТКИЙ АУ СЛОВНИК ОПЕРАЦІЇ «МНОЖЕННЯ».....195**

**1.5 КОРОТКИЙ АУ СЛОВНИК ОПЕРАЦІЇ «ДІЛЕННЯ».....196**

**1.6 КОРОТКИЙ АУ СЛОВНИК ОПЕРАЦІЇ «ДРОБИ».....196**

1.7 КОРОТКИЙ АУ СЛОВНИК ОПЕРАЦІЇ «ЗВЕДЕННЯ У СТУПІНЬ».....	197
1.8 ДЕЯКІ АЛГЕБРАЇЧНІ ВИРАЗИ І ФОРМУЛИ .....	197
1.9 ОСНОВНІ СИМВОЛИ І ВИРАЗИ, ПОВ'ЯЗАНІ З ТЕОРІЄЮ МНОЖИН.....	199
1.10 КЛАСИФІКАЦІЯ ЕЛЕМЕНТАРНИХ ФУНКЦІЙ.....	199
1.11 ВИРАЗИ, ЩО СТОСУЮТЬСЯ ІНТЕРВАЛІВ І ОБМЕЖЕНЬ.....	200
РОЗДІЛ 2. АНГЛІЙСЬКІ СКОРОЧЕННЯ В ЗАГАЛЬНІЙ МАТЕМАТИКИ .....	214
РОЗДІЛ 3. УЧБОВИЙ АУ СЛОВНИК З ТЕОРІЇ ЙМОВІРНОСТЕЙ .....	232

## УКРАЇНСЬКО-АНГЛІЙСЬКІ (УА) СЛОВНИКИ

РОЗДІЛ 4. УА СЛОВНИК ЗАГАЛЬНОВЖИВАНОЇ МАТЕМАТИЧНОЇ ЛЕКСИКИ.....	292
4.1 КОРОТКИЙ УА СЛОВНИК БАЗОВИХ МАТЕМАТИЧНИХ ТЕРМІВ.....	292
4.2 КОРОТКИЙ УА СЛОВНИК ОПЕРАЦІЇ «ДОДАВАННЯ».....	309
4.3 КОРОТКИЙ УА СЛОВНИК ОПЕРАЦІЇ «ВІДНІМАННЯ».....	310
4.4 КОРОТКИЙ УА СЛОВНИК ОПЕРАЦІЇ «МНОЖЕННЯ».....	311
4.5 КОРОТКИЙ УА СЛОВНИК ОПЕРАЦІЇ «ДІЛЕННЯ».....	311
4.6 КОРОТКИЙ УА СЛОВНИК ОПЕРАЦІЇ « ДРОБИ».....	312
4.7 КОРОТКИЙ УА СЛОВНИК ОПЕРАЦІЇ «ЗВЕДЕННЯ У СТУПІНЬ».....	312
РОЗДІЛ 5. АНГЛІЙСЬКІ СКОРОЧЕННЯ В ЗАГАЛЬНІЙ МАТЕМАТИКИ.....	313
РОЗДІЛ 6. УЧБОВИЙ УА СЛОВНИК З ТЕОРІЇ ЙМОВІРНОСТЕЙ.....	322
..	
ЛІТЕРАТУРА ДО ДОДАТКУ В.....	384

## ПЕРЕДМОВА ДО СЛОВНИКУ

Навчальний англо-український, україно-англійський Словник математичних термінів складено на підставі кількох лінгвістичних джерел, зазначених в кінці видання в розділі «Література». Цей словник є виключно навчальним і ні в якому випадку не може конкурувати з «великими» за розміром і змістом математичними словниками – англо-українським (Література [1], 224 с.), або англо-російським ([3], 918 с.). До останніх треба звертатись при поглибленій роботі з англomовними математичними текстами, при написанні або перекладі англomовних рефератів, курсових та дипломних матеріалів з поглибленим математичним змістом. Цей же словник як початковий методичний посібник рекомендується для використання на практичних заняттях з англійської мови (в тому числі з мови для профілюючих навчальних дисциплін) для студентів молодших курсів політехнічного (негуманітарного) профілю навчання. Мета словника – ознайомити студентів з основними математичними поняттями, символами і скороченнями в англomовній літературі.

Весь матеріал Словника поділений на дві частини – Англо-українську (АУ) і Українсько-англійську (УА), кожна з яких надає базові математичні терміни загальноживаної англійської лексики, а також відповідні скорочення. В тексті використано поняття «прямий» і «зворотний» словники в тому сенсі, що УА словники (розділи 4, 5, 6) побудовані за програмно-дзеркальним (тобто зворотним) принципом структури текста відповідно до розділів 1, 2, 3.

Транскрипція термінів в Англо-українських (прямих) словниках не наводиться. При необхідності рекомендується перевірити її по спеціалізованим виданням (словникам) типа вказаних вище. Навпаки, в Українсько-англійських (зворотних, розділи 4 і 6) словниках транскрипція вважається дуже необхідною і тому надається. Прийняті в словнику скорочення найменувань частин мови є відомими - іменник (n), дієслово (v), прикметник (a), прислівник (adv), прийменникова форма (prep). Вони відповідають загальнопоширеній лексиці англійської мови і надаються для довідки.

В завершуючих розділах (3 і 6) обох частин як приклад спеціалізованого Англо-українського і Українсько-англійського математичного словника надається учбовий словник з теорії ймовірностей (з елементами теорії випадкових процесів, математичної статистики, теорії операцій, комбінаторики та інших аналогічних за спрямованістю).

Автори-укладачі ще раз звертають увагу на навчальному характері словників. Їх мета є не довідковою, а методичною, тобто навчити студентів як працювати з такими матеріалами. Вважається, що це перший досвід читача – студента в такому сенсі.

## РОЗДІЛ 1. Короткий словник формульної лексики в англійській мові (Як читати англійською основні математичні вирази)

### 1.1 Порядкові і реляційні знаки

Знаки	Читання	Приклади
1.	Firstly; or; in the first place	
2.	Secondly; or in the second place	
.	Point; or decimal point	
...	And so on to	1, 2, 3... 25 read: one, two, three and so on to twenty five
$\Lambda \infty$	And so on to infinity	1, 2, 3... read: one, two, three and so on to infinity
$\Theta$	since, because	
$X_1$	X one, or : X sub one	
$x \rightarrow \infty$	X approaches infinity or:	

	X tends to infinity	
=	is equal to	$a$ equals $b$ , or: $a$ is equal to $b$ ; or: $a$ is $b$
$\neq$	is not equal to; or: does not equal	$a$ does not equal $b$ ; or: $a$ is not equal to $b$ ; or: $a$ is not $b$
$\propto, \sim$	(is) directly proportional to	$a$ (is) directly proportional to
$\approx$	approximately equals or : is approximately equal to	$a \approx b$ ; $a$ approximately equals $b$ , or: $a$ is approximately equal to $b$
::	as (in proportions)	$p:q :: s:t$ , read $p$ (is) to $q$ as $s$ (is) to $t$
$\equiv$	is identical with, or is always equal to	$F(x)=0$ read: $f$ of $x$ (is) identical with zero
()	parentheses; or : round brackets	
[]	brackets; or: square brackets	
{ }	Braces	
<	(is) less than	$p < q$ ; read: $p$ (is) less than $q$
>	(is) greater than	$p > q$ ; read: $p$ (is) greater than $q$

$\leq$	(is) not greater than	$p$ (is) not greater than $q$
$\geq$	(is) greater than or equals	$a$ (is) greater than or equals $b$

## 1.2 Основні знаки і терміни арифметичної операції

Операція	Знаки операції		Приклади	Назви компонент
	Запис	Читання		
addition	+	Plus	$a+b=s$ $a$ plus $b$ is equal to $s$	$a$ and $b$ are addends; or: items; or: summands; $s$ -sum
substraction	-	minus	$L-I=a$ Capital $L$ minus $I$ is equal to $a$	$L$ – minuend, $I$ – subtrahend $a$ – difference or: remainder
multiplication	*	multiplied by	$a \times b = ab = c$ $a$ times $b$ is equal $c$ ; or: $a$ multiplied by $b$ is equal to $c$ ; or: $ab$ equals $c$	$a$ and $b$ are factors; $a$ -multiplicand, $b$ – multiplier, $c$ – product
division	/	divided by: or over	$a : b = a/b = c$ $a$ divided by $b$ equals $c$ ; or: $a$ over $b$ is equals to $c$	$a$ – dividend, $b$ – divisor, $c$ – quotient; or: $a$ – numerator,



				$b$ – denominator, $a/b$ – fraction
--	--	--	--	---

### 1.3 Операції з дробами

Приклади		Пояснення
Запис	Читання	
$1/2$	one second; or: a half	$1/2$ ; $1/3$ ; $1/4$ ; $2/3$ ; $1/100$ ; and $5/16$ are proper fractions. A proper fraction is one whose numerator is less than denominator
$1/3$	one third; a third	
$2/3$	two thirds	
$1/4$	one fourth; or: a fourth; or: a quarter	
$1/100$	a hundredth	
$5/16$	five sixteenths	
$23/6$ $9/9$	twenty three sixths nine ninths	$23/6$ and $9/9$ are improper fractions. An improper fraction is a fraction whose numerator is equal to or larger than the denominator
$3\frac{5}{7}$	three and five sevenths	three and five sevenths is a mixed number. A mixed number is a number and a fraction written together
$ar/br = a/b$	<i>ar</i> over <i>br</i> equals <i>a</i> over <i>b</i>	to reduce a fraction to its lower terms, divide the numerator and the denominator by their highest common factor (or: measure, or: divisor)

$a/b = ar/br$	$a$ over $b$ equals $ar$ over $br$	to reduce a fraction to its higher terms, multiply the numerator and the denominator by the same number
$a/b \pm c/d = (ad \pm bc)/bd$	$a$ over $b$ , this fraction followed by plus or minus $c$ over $d$ equals $ad$ plus or minus $bc$ , this sum or difference over $bd$	to find the sum (the difference) of two unlike fractions, change them to like fractions (fractions having their least common denominator) and combine the numerators
$a/b \times c/d = ac/bd$	$a$ over $b$ , this fraction multiplied by $c$ over $d$ equals $ac$ over $bd$	to find the product of two fractions, multiply the numerators together and the denominators together
$5/6 * 1/2 = 5/3 = 1\frac{2}{3}$	five sixths multiplied by a half equals one and two thirds	to find quotient of two fractions, multiplied the dividend by the inverted divisor
$a/b : c/d = ad/bc$	$a$ over $b$ , this fraction divided by $c$ over $d$ equals $ad$ over $bc$	to convert and improper fraction into a mixed number, break it up into the sum of an integer and a proper fraction

#### 1.4 Десяткові дроби

Запис	Читання
.2	point two

0.2	o point two, or: two tenths
0.02	o point o two, or: two hundredths
12.707	twelve point seven o seven

### 1.5 Коріння

Символи	Читання	Пояснення
$\sqrt[n]{c} = b$	(the) <i>n</i> -th root of <i>c</i> is equal to <i>b</i>	to extract a root
$\sqrt[n]{\quad}$	Radical	to express a radical by a power with <i>n</i>
$\sqrt{\quad}$	root sign, or: radical sign	a fractional exponent
<i>n</i>	index of a root	
<i>c</i>	Radicand	
<i>b</i>	value of a root	
$\sqrt{x}$	square root of <i>x</i>	
$\sqrt[3]{x}$	cube root of <i>x</i>	
$\sqrt[n]{c^m} = c^{\frac{m}{n}}$	the <i>n</i> -th root of <i>c</i> to the <i>m</i> -th power equals <i>c</i> to the power of <i>m</i> over <i>n</i>	
$L = \sqrt{R^2 \pm x^2}$	capital <i>L</i> equals the square root of (out of) capital <i>R</i> squared plus or minus <i>x</i> squared	

### 1.6 Ступінь

Символи	Читання	Пояснення
$b^n = c$	<i>b</i> to the <i>n</i> -th power is equal to <i>c</i> <i>b</i> to the <i>n</i> -th is equal to <i>c</i>	to raise to a power

	the n-th power of $b$ is equal to $c$ $b$ to the power of $n$ is equal to $c$ $b$ to the power $n$ is equal to $c$	
$b^2, b^3$	$b$ squared, $b$ cubed	
$b^{-n}$	$b$ to the power of minus $n$	
$a^{m/n}$ $= \sqrt[n]{a^m}$	$m$ over the n-th power of $a$ equal the n-th root of $a$ to the m-th power	

### 1.7 Логарифми

Символи	Читання	Пояснення
$\log_b c = n$	the logarithm of $c$ to the base $b$ is equal to $n$	natural logarithm of $c$ number - $\ln c$
$\log_b c$	logarithmic expression	(common) logarithm of $c$ number ( $\log c$ or: $\lg c$ )
$b$	Base	
$c$	antilogarithm	
$n$	value of a logarithm	
$a^3 = \log_c d$	a cubed equals the logarithm of $d$ to the base $c$	

### 1.8 Деякі алгебраїчні вирази і формули

Символи	Читання
$a'$	a prime
$a''$	a second prime; or: a double prime
$a'''$	a triple prime
$a'_1$	a first prime

$a_2''$	a second prime
$a_c''$	a second prime sub $c$ ; or: a $c$ -th second prime
$M$ or $\mu$	Modulus
$\frac{dz}{dx}$	the first derivative of $z$ with respect to $x$
$\frac{d^2z}{dx^2}$	the second derivative of $z$ with respect to $x$
$\frac{d^n z}{dx^n}$	the $n$ -th derivative of $z$ with respect to $x$
$y = f(x)$	$y$ is a function of $x$ ; or: $y$ equals $f$ of $x$
$\rightarrow$	approaches; or: approaches the limit; or: tends to
$x \rightarrow a$	$x$ approaches the limit $a$
$x \rightarrow x_0$	$x$ approaches $x$ nought; or: $x$ tends to $x$ nought
$\int_n^m \dots$	the integral of ... from $n$ to $m$ ; or: the integral of ... between limits $n$ and $m$
$\int 2x dx = x^2$	the integral of $2x dx$ is $x^2$
$\frac{d}{dx} \int_{x_0}^x Lx dx$	$d$ over $dx$ of the integral from $x$ sub 0 (or: from $x$ zero-th) to $x$ of capital $Lx dx$
$m = R_1x - P_1(x - a_1) - P_2(x - a_2)$	$m$ equals $R$ sub one multiplied by $x$ minus $P$ sub one, round brackets opened, $x$ minus $a$ sub one, round brackets closed, minus $P$ sub two, round brackets opened, $x$ minus $a$ sub two, round brackets closed; or: $m$ equals $R$ first $x$ minus $P$ first multiplied by the difference between $x$ and $a$ sub one minus $P$ second multiplied by the difference between $x$ and $a$ sub two
$\Sigma$	the sum

$\sum_{i=1}^n x_i$	summing over $x$ sub $i$ from one to $n$
--------------------	--

### 1.9 Основні символи і вирази, пов'язані з теорією множин

<b>Символи</b>	<b>Читання</b>
$a \in M$	$a$ is an element of $M$ ; or: $a$ belongs to $M$
$a \notin M$	$a$ is not an element of $M$ ; or: $a$ does not belong to $M$
$M = \{2,4,6\}$	$M$ is the set with the elements 2,4,6
$M = \emptyset$	$M$ is an empty set (or; a null set)
$M \subseteq B$	$M$ is a subset of $B$
$M \subset B$	$M$ is a proper subset of $B$
$A \cup B$	the union of $A$ and $B$
$A \cap B$	the intersection of $A$ and $B$
$A \times B$	the Cartesian product $A$ and $B$

### 1.10 Класифікація елементарних функцій

<b>Функції</b>	<b>Читання</b>
----------------	----------------

rational fractional functions	$y = \frac{7 + x}{2 + x^2}$	$y$ equals the fraction with numerator 7 plus $x$ and the denominator 2 plus $x$ squared
irrational functions	$y = -\sqrt{z^2 - x^2}$	$y$ equals the negative square root of the difference $z$ squared minus $x$ squared
exponential functions	$y = \ln(x)$	$y$ equals the natural logarithm of $x$
trigonometric functions	$y = \sin(x)$	$y$ equals the <i>sine</i> of $x$
	$y = \cos(x)$	$y$ equals the <i>cosine</i> of $x$
	$y = \tan(x)$	$y$ equals the <i>tangent</i> of $x$
	$y = \cot(x)$	$y$ equals the <i>cotangent</i> of $x$
	$y = \sec(x)$	$y$ equals the <i>secant</i> of $x$
	$y = \csc(x)$	$y$ equals the <i>cosecant</i> of $x$
antitrigonometric functions; or: inverse trigonometric functions	$y = \sin^{-1}(x)$	$y$ equals the inverse sine of $x$ , or: the arcsine of $x$ , or: the angle whose sine is $x$

### 1.11 Вирази, що стосуються інтервалів і обмежень

<b>Знаки</b>	<b>Читання</b>
$(a; b)$	open interval $a b$
$[a; b]$	closed interval $a b$



$(a; b]$	half – open interval $a b$ , open on the left and closed on the right
$X = (-\infty; \infty)$	capital $x$ equals the open interval minus infinite plus infinite
$X \rightarrow x_0$	$x$ approaches $x$ nought; or: $x$ tends $x$ nought
$\lim_{x \rightarrow x_0} f(x) = L$	the limit of $f$ of $x$ as $x$ tends to $x$ one is capital $L$
$\lim_{x \rightarrow x_0} f(x) = f(x_0)$	the limit of $f$ of $x$ as $x$ tends to $x$ nought is equal to $f$ of $x$ nought
$\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = 0$	the limit of $a$ sub $n$ is zero as $n$ tends to infinity

## АНГЛО-УКРАЇНСЬКІ (АУ) СЛОВНИКИ

### РОЗДІЛ 1. АУ СЛОВНИК ЗАГАЛЬНОВЖИВАНОЇ МАТЕМАТИЧНОЇ ЛЕКСИКИ

#### 1.1 КОРОТКИЙ АУ СЛОВНИК БАЗОВИХ МАТЕМАТИЧНИХ ТЕРМІНІВ

#### А

accuracy  $n$  - *точність*

addition  $n$  – *складання, додавання, додаток*  
adjacent  $a$  – *суміжний, сусідній*

algebra  $n$  - *алгебра*

alter  $v$  – *змінювати(сь), переробляти*

altitude  $n$  - *висота*

amount  $n$  – *сума, , кількість, обсяг*

angle  $n$  - *кут*

apply *v* – докла<sup>д</sup>ати, застосовувати, вживати  
appropriate *v* – привласнювати, призначати

*a* - відповідний

approximately *adv* – приблизно

area *n* – площа, зона

arrange *v* – приводити в порядок, упорядковувати  
arrangement *n*- упорядкування associate *v* –  
з'єднувати(сь), зв'язувати

average *a* - середній

axis *n* – вісь

## **B**

balance *n* – рівновага, *v* врівноважувати

base *n* – заснування, база

binary *a* – бінарний, подвійний

brackets *n* – дужки

## **C**

calculation *n* - обчислення

calculus *n* - обчислення

capability *n* - здатність

capable *a* - здатний

cell *n* – осередок, елемент, ячейка

chord *n* - хорда

cipher *n* – шифр

*v* шифрувати

circle *n* - коло

circumference *n* – коло, контур, довжина контура  
coefficient *n* - коефіцієнт

combine with *v* – з'єднувати(ся) comparatively  
*adv* – порівняно, відносно complete *a* – повний,  
закінчений; *v* закінчувати component *n* –  
компонент, складова частина compose *v* -  
складати

composition *n* – склад(ання)

cone *n* - конус

conclude *v* – робити висновок

condition *n* – стан, умова

conical *a* – конічний, конусоподібний

consequently *adv* – отже, тому що

constitute *v* - складати

contiguous *a* - суміжний

contract *v* – скорочувати, зменшувати(ся)

conversely *adv* – зворотньо, навпаки

count *v* - рахувати

cube *n* - куб

curve *n* – крива

## **D**

decimal *a* - десятковий

decode *v* - розшифрувати

decomposition *n* - розкладання

decrease *n* – зменшення, спадання

*v* – спадати, зменшуватися

deduce *v* – робити висновки, прослідкувати

definite *a* - визначений

degree *n* - градус  
denominator *n* - знаменник  
destination *n* - призначення

determine *n* – визначити, встановлювати, спонукати, змушувати  
diameter *n* - діаметр

difference *n* - різниця

different *a* – різний, відмінний (від інших)  
differentiate *v* - розрізняти

digit *n* – цифра, розряд direction *n*  
- напрям discontinuous *a* -  
переривчастий discover *v* –  
відкривати, виявляти

discrete *n* – дискретний, перервний, розривний  
divide *v* – виконувати ділення

division *n* - ділення

domain *n* – область, сфера

dominant *a* – переважаючий, панівний

due *a* – належний, обумовлений

## **Е**

enlarge *v* – збільшувати(ся), розширювати(ся)

equal *a* – рівний

*v* – дорівнювати,  
зрівнювати equation *n* - рівняння

equivalent *n* – еквівалент *a*  
- рівносильний

even *a* - парний

exaggerate *v* - перебільшувати

exceed *v* – перевищувати, перевершувати  
exception *n* - виключення

excess *n* – надлишок  
expand *v* - розширювати

extent *n* – протяжність, об'єм, границя  
extremely *adv* – вкрай, надзвичайно

## **Ф**

familiar *a* - близький

figure *n* - цифра

fit *v* - відповідати

foundation *n* – фундамент, основа, базис

fraction *n* - дріб

frequency *n* - частота

function *n* – функція

## **G**

geometry *n* - геометрія

give *v* – викликати, давати

## **H**

height *n* - висота

horizontal *n* – горизонталь(ний)

## **I**

identical *a* - однаковий; подібний;

ідентичний identity *v* - впізнавати,

ідентифікувати imbalance *n* - нестійкість

*imply* - означати; мати на увазі

*increase* *n* - збільшення;

*v* - збільшувати,  
*збільшуватися* *indicate* *v* - вказувати,  
*показувати* *infinity* *n* - нескінченність

*instability* *n* - нестійкість, мінливість

*instance* *n* - приклад, окремий випадок

*intensity* *n* - напруженість,

*інтенсивність* *interaction* *n* - взаємодія

*intermediate* *a* - проміжний

*introduce* *v* - вводити *invariably*

*adv* - незмінно, завжди

*inversely* *adv* – зворотньо, зворотньо

*пропорційно* *involve* *v* - вмикати

*irregular* *a* – нерівномірний, нерегулярний

*irrespective* *adv* - незалежно

## **L**

*length* *n* - довжина

*level* *n* - рівень

*limit* *n* – межа, границя

*v* - обмежувати

*line* *n* – лінія, риска

*literal* *a* – буквений

## **M**

*majority* *n* - більшість

*make* *up* *v* – складати; утворювати

*mathematics* *n* - математика

maximum *n* – максимум; найбільше значення

mean *n* – середнє число, середина

measure *n* – міра

*v* - вимірювати

measurement *n* - вимір

medium *n* – середовище

*a* - середній

middle *a* – середній

*n* - середина

minimum *n* – мінімум, найменше значення

minute *a* - маленький

multiplication *n* – множення

multiply *v* – множити

mutual *a* – взаємний, загальний



## N

natural *a* – природно; натурально

negative *n* – заперечення

*a* – від'ємний

*v* - заперечувати

negligible *a* - незначний

notation *n* – система позначень

number *n* - число

numeration *n* – обчислення, нумерація

numerator *n* – числівник дроби

numerical *a* – числовий

## O

obvious *a* – наявний (очевидний)

occur *v* – мати місце, ставатися

odd *a* - непарний

opposite *a* - протилежний

order *n* - порядок

ordinary *a* - звичайний

otherwise *adv* – інакше, в іншому випадку

outcome *n* - результат

owing to *prep* – внаслідок; завдяки

## P

pattern *n* - зразок

peak *n* – найвища точка, максимум, пік percentage

*n* – процент, процентне співвідношення permanent

*a* – постійний, незмінний phenomenon *n* – явище, феномен

positive *a* – позитивний

possible *a* - можливий

power *n* - ступінь

precisely *adv* - точно

prism *n* - призма

probability *n* – можливість, ймовірність (ймовірність)

probably *adv* – можливо

proceed *v* – продовжувати, походити, переходити (до)

produce *v* – пред'являти, надавати; виготовляти

product *n* – добуток, результат, наслідок, вихід property  
*n* - властивість

proportion *n* - пропорція

protect *v* - захищати, охороняти

purely *adv* - виключно

purpose *n* – мета

## Q

quality *n* - якість

quantity *n* - кількість

quarter *n* – чверть

## R

random *a* - випадковий

at random *prep* – невпорядковано, випадково

range *n* - 1) ряд; лінія 2) діапазон 3) область поширення

rate *n* – норма

*v* - оцінювати

reaction *n* - реакція

reason *n* - причина, довід, підстава

reduce *v* - зменшувати, скорочувати

reflect *v* - відображати

reflection *n* - відображення

relatively *adv* - щодо, стосовно

reorganization *n* - реорганізація, перетворення

resemble *v* - бути схожим

residual *n* - залишок, різниця; *a* - залишковий

result *n* – результат

*v* - виникати; приводити до чого-небудь

right-angled *a* - прямокутний

ruler *n* – лінійка

## S

scan *v* - уважно розглядати, сканувати

score *n* - рахунок

separate *a* - окремий, особливий

*v* - відокремлювати, розділяти

set-square *n* - кутник

several *a* - кілька

shape *n* - форма

share *n* - частина, частка

signal *n* - сигнал, знак

signify *v* - позначати similar

*a* - схожий, подібний

significance *n* - 1) значення, сенс 2) важливість

size *n* - розмір

strengthen *v* - посилювати (ся)

structure *n* - структура; будова



subject *n* - предмет

subtend *v* – стягувати (про дугу); протилежати(про сторони трикутника)

subtraction *n* - віднімання

sufficiently *adv* - достатньо

supremacy *n* - перевага

systematically *adv* – систематично

## **T**

tangent *n* - 1) дотична 2) тангенс

temporary *a* - тимчасовий

tend *v* – направлятися, прагнути, мати схильність до

tensile *a* - безрозмірний

thence *adv* – звідси, з цього випливає

theorem *n* - теорема

theoretical *a* - теоретичний

theory *n* - теорія

therefore *adv* - тому, отже

thus *adv* - таким чином; отже

tiny *a* – крихітний, невеличкий

total *a* – повний, загальний

transfer *n* - передача, перенесення

*v* – переносити, переміщати, передавати

transmit *v* - передавати

treble *a* – потрійний

*v* - потроювати

triangle *n* - трикутник

trigonometry *n* - тригонометрія

twice *adv* – двічі

## U

undoubtedly *adv* - *безсумнівно*

uneven *a* - *непарний*

uniformly *adv* - *рівномірно*

unit *n* – *одиниця*

## V

value *n* - *значення, величина*

variant *n* – *різновид*

*a* - *відмінний від інших*

variable *n* – *змінна (величина)*

variation *n* - *зміна, відхилення*

vary *v* - *змінювати (ся), міняти ся*

vertex *n* – *вершина*

virtually *adv* - *фактично*

## 1.2 КОРОТКИЙ АУ СЛОВНИК ОПЕРАЦІЇ «ДОДАВАННЯ»

add - *додавати*

addend - *доданок*

equal - *рівний, дорівнювати*

equality - *рівність*

item - *доданок*

make – *робити, зіставляти*

negligible - *незначний*

negligible quantity - *величина, якої можна знехтувати*  
quantity - *кількість; величина* sign - *знак, символ;*  
*ставити знак*

+ 1. plus - *плюс*

2. positive - *додатній; позитивний;*  
*додатна величина*

3. positive sign - *знак плюс*

4. sign of addition - *знак*  
*додавання* sum – *сума,*  
*підсумовувати* summand - *доданок*

symbol - *символ; умовний знак, умовне позначення*  
total - *ціле, сума; підсумок; цілий,*

*сумарний; підводити підсумок*  
unknown - *невідоме*

### 1.3 КОРОТКИЙ АУ СЛОВНИК ОПЕРАЦІЇ «ВІДНІМАННЯ»

between - *поміж*

decrease - *зменшувати*

difference - *різниця*

diminish - *зменшуватися*

from - *із, від*

leave - *залишити*

less - *без, мінус, за вирахуванням*

minuend - *зменшуване*

negative – *від'ємний*

- 1. minus - *мінус, без; від'ємний; знак мінус; від'ємна величина;*

2. negative sign - *мінус, від'ємний знак;*

3. sign of subtraction - *знак віднімання*

subtract - *віднімати*

subtrahend – *від'ємник*



## 1.4 КОРОТКИЙ АУ СЛОВНИК ОПЕРАЦІЇ «МНОЖЕННЯ»

factor - *множник; коефіцієнт, фактор*

multiply - *множити*

multiplicand - *множене*

multiplier - *множник*

× multiplication sign - *знак множення; при арифметичному множенні невеликих*

*цілих чисел читається в більшості випадків як **times***  
once - *один раз, однократно*

product - *добуток*

table of multiplication - *таблиця множення*

three times - *тричі*

twice - *двічі*

## 1.5 КОРОТКИЙ АУ СЛОВНИК ОПЕРАЦІЇ «ДІЛЕННЯ»

divide - *ділити; розділяти*

divided by, over - *ділитися на*

dividend – *ділене*

: (або /) division sign - *знак ділення*  
divisor - *дільник; дівізор* quotient -  
*частка, відношення*

remainder - *залишок, залишковий член;*  
*різниця* the unknown - *шукане*

## 1.6 КОРОТКИЙ АУ СЛОВНИК ОПЕРАЦІЇ «ДРОБИ. ПРОСТІ ДРОБИ»

cardinal numbers - *кількісні чисельники*

decimal - *десятковий*

denominator - *знаменник*

integer - *ціле число*

nought - *нуль (головним чином в математиці)*

numerator - *чисельник*

ordinal numbers - *порядкові чисельники*

zero - *нуль (головним чином на шкалах)*

## 1.7 КОРОТКИЙ АУ СЛОВНИК ОПЕРАЦІЇ «ЗВЕДЕННЯ У СТУПІНЬ»

base - *основа; рівень відліку; базисний, базовий*

difference base – *різнична база*

cube - *куб; корінь кубичний; зводити в куб*

even - *парний;*

exponent – *показник, показник ступені, експонента*

odd - *непарний;*

power - *ступінь; показник ступені*

raise to a power - *зводити у ступінь*

square - *квадрат; корінь квадратний; зводити у квадрат*

## РОЗДІЛ 2. АНГЛІЙСЬКІ СКОРОЧЕННЯ В ЗАГАЛЬНІЙ МАТЕМАТИКИ (ПРЯМИЙ АУ СЛОВНИК) <sup>x)</sup>

### **A**

#### **a**

1. [absolute] абсолютний (про величину)
2. [altitude] висота
3. [angle] кут
4. [area] поверхня

**AA** [arithmetic average] середнє арифметичне **abs** [absolute] абсолютний (про величину) **absc** [abscissa] абсциса

**Abs. E** [absolute error] абсолютна похибка

**AD** [average deviation] середнє відхилення

**ad inf** [ad infinitum] без кінця, до нескінченності

### **AE**

1. [absolute error] абсолютна похибка
2. [almost everywhere] майже скрізь
3. [arithmetic expression] арифметичний вираз **AF** [accuracy figure] показник точності

**AGP** [arithmetic-geometrical progression] арифметико-геометрична прогресія  
**alt** [alternation] чередування

**AM** [arithmetic mean] середнє арифметичне **am** [amplitude] амплітуда

**amt** [amount] кількість, величина  
**anal** [analysis] аналіз, розрахунок

---

**ANOVA(R), AOV** [analysis of variance] дисперсійний аналіз  
**ans** [answer] відповідь

**AOC** [analysis of covariance] коваріаційний аналіз  
**AP** [arithmetic progression] арифметична прогресія

**appr.** [approximate] наближений, приблизний **AS**  
[almost sure] майже напевно

**ASE** [average squared error] середній квадрат помилки

**ASN** [average sample number] середній об'єм виборки

**asymp** [asymptotic] асимптотичний **ave/avg** [average]

середнє // середній

---

x) Повний словник математичних скорочень див. видання [3], наведене в розділі «Література». В даному словнику надаються найбільш поширені і прості скорочення з більш детальним розглядом скорочень для Теорії Імовірностей.

**B**

**b**

[base] основа

**BCD** [binary-coded decimal] десяткове число у двійковому коді

**BFS** [basic feasible solution] базисне можливе рішення

**BV** [basic variable] основна змінна

**C**

**c**

1. [circumference] коло

2. [correction] виправлення

**card** [cardinal] кардинальне число

**CDF** [cumulative distribution function] (інтегральна) функція розподілу

**CF**

1. [characteristic function] характеристична функція
2. [correction factor] поправочний коефіцієнт

**char**

1. [character] характер
2. [characteristic] характеристика

**CI** [confidence interval] довірчий інтервал

**cir** [circular] круговий

**ckw** [clockwise] за годинниковою стрілкою

**cl**

1. [confidence level] довірчий рівень
2. [confidence limit] довірна межа

**clopen** [closed and open] замкнутий і відкритий

**coeff** [coefficient] коефіцієнт

**C.of C.** [coefficient of correlation] коефіцієнт кореляції

**col** [column] стовпчик

**cond**

1. [condition] умова, стан
2. [conditional] умовний

**const** [constant] постійна (величина)

**cont** [continuous] неперервний, продовжений

**corr**

1. [correction] корекція, поправка
2. [correlation] кореляція

**cov** [covariance] коваріація

**c.pr.** [conditional probability] умовна ймовірність

**CS, cusum** [cumulative sum] загальна сума

**cyl** [cylinder] циліндр

## D

**DD** [distribution density] щільність розподілу

**DE** [differential equation] диференціальне рівняння

**def** [definition] визначення

**deg** [degree] ступінь

**diag** [diagonal] діагональ

**diam** [diameter] діаметр

**diff** [difference] різниця

**dim** [dimension] розмірність

**div**

1. [dividend] ділене

2. [divisor] дільник

**dom** [domain] ділянка

**doz** [dozen] дюжина

**DR** [derived rule] виведене правило

## E

**E, e** [error] похибка

**EC** [error correcting] виправлення помилки, внесення поправки

**eff** [efficiency] ефективність

**EG** [Euclidean geometry] евклідова

геометрія **elim** [elimination] виключення

**EP** [estimated probability] оцінка ймовірності

**erf** [error function] інтеграл ймовірності

**eq**

1. [equal] рівний

2. [equation] рівняння

**est**

1. [estimate] оцінка

2. [estimated] розрахунковий

**EV** [expected value] математичне очікування

**eval** [evaluation] оцінка

**ex**

1. [exercise] вправа

2. [exponential] експоненційна функція // експоненціальний

**ext** [extension] розширення

**F**

**f** [function] функція

**FF** [frequency function] функція щільності

**fr** [frontier] межа (множини)

**G**

**GCD** [greatest common divisor] найбільший спільний дільник

[general independent] незалежні (випадкові величини), розподілені за довільним законом

**GM** [geometric mean] середнє геометричне

**GP** [geometric progression] геометрична прогресія

**gp** [group] група

**grad** [gradient] градієнт

**H**

**h** [height] висота

**hex** [hexagon] шестикутник

**HMP** [homogeneous Markov process] однорідний марковський процес

**hor** [horizontal] горизонтальний

**hyp** [hypothesis] гіпотеза

**I**

**i**

1. [imaginary] уявний

2. [intrinsic] власний, внутрішній

**iff** [if and only if] тоді, і тільки тоді, коли

**im**

1.[image] образ

2. [imaginary] уявний

3. **inc** [inclusively]

ВКЛЮЧНО

**int** [interior] внутрішність (множини)

**IP** [in probability] згідно ймовірності

**IT** [information theory] теорія інформації

**L**

**l**

1. [length] довжина

2. [lower] нижній

**LA** [linear algebra] лінійна алгебра

**LC** [log-convex] логарифмічний опуклий

**LCB** [lower confidence bound] нижня довірча межа

**LCD** [lowest common denominator] спільний найменший знаменник

**LCM** [lowest common multiple] найменше спільне кратне

**lev** [level] рівень



**LF** [linear form] лінійна форма

**LHS** [left-hand side] ліва частина

**lim** [limit] границя, межа

**lin** [linear] лінійний

**LL** [lower limit] нижня межа

**LOAC** [low accuracy] низька точність

**LP** [linear programming] лінійне програмування

**LT** [Laplace transform] перетворення Лапласа

## **M**

[Markovian] марковський

**mat** [matrix] матриця

### **math**

1. [mathematical] математичний

2. [mathematics] математика

**max** [maximum] максимум

## **MC**

1. [Markov chain] марковський ланцюг

2. [Monte-Carlo (method)] метод Монте-Карло

**MD** [mean deviation] середнє відхилення

**med** [median] медіана

**MP** [mathematical programming] математичне програмування

**MPE** [most probable estimate] найбільш імовірна оцінка

**mpy** [multiply] множити

## **MS**

1. [mathematical system] математична система
2. [mean square] середній квадрат/середнє квадратичне значення
3. [more significant] більш значущий, старший (про разряд)
4. [multiplicative system] мультиплікативна система

**MSE** [mean square error] середньо-квадратична похибка

## **N**

1. [norm] норма
2. [normal] нормальний
3. [normalized] нормований
4. [number] число, кількість, номер

**NASC** [necessary and sufficient condition] необхідна і достатня умова

**NC** [necessary condition] необхідна умова

**ND** [normal distribution] нормальний розподіл

**neg** [negative] від'ємний

**nhood** [neighbourhood] окіл

**No, NR** [number]

1. число, кількість
2. номер

**NS** [not significant] незначний

**NSC** [necessary and sufficient condition] необхідна і достатня умова

**NSE** [number of solutions of equation] кількість рішень рівняння

## **O**

**OA** [operation analyses] дослідження операцій

**ob**

1. [object] об'єкт
2. [observation] спостереження; вимір

**OD** [observation data] результати спостережень

**ODE** [ordinary differential equation] звичайне диференціальне рівняння

**OR** [operations research] дослідження операцій

**ord** [order] порядок

**OTE** [other things equal] при інших рівних умовах

## **P**

1. [perimeter] периметр

2. [point] точка

3. [probability] ймовірність

## **PC**

1. [predicate calculus] обчислення предикатів

2. [propositional calculus] обчислення висловлень

**PCS** [probability of correct selection] ймовірність правильного вибору

**p. ct.** [per cent] відсоток

## **PD**

1. [positive definite] позитивно визначений

2. [probability density] щільність ймовірності

3. [probability distribution] розподіл ймовірностей

**PDF** [probability density function] щільність розподілу, щільність ймовірності

## **PE**

1. [permissible error] допустима похибка

2. [probable error] ймовірна похибка

**plim** [probability limit] ймовірнісна межа

**PM** [probability measure] ймовірнісна міра

**pop** [population] сукупність

## **pr**

1. [probability] ймовірність

2. [proven] доведений

**pr.f.** [probability function] функція ймовірності

**prob** [probability] ймовірність

## **PS**

1. [probability of success] ймовірність успішного виходу

2. [probably] статистично значущий

**pt** [point] точка

## **Q**

**Q** [quantity] кількість

**QED** [quod erat demonstrandum] що і треба було довести

**QEI** [quod erat inveniendum] що і треба було знайти

**QM** [quadratic mean] середньо-квадратичне значення

**QT** [quadratic transformation] квадратичне перетворення

## **R**

1. [radius] радіус

2. [rate] швидкість, інтенсивність

3. [range] розмах

**rad** [radical] радикал

**rect** [rectangle] прямокутник

**res** [residue] залишок

**resp** [respectively] відповідно

**RF** [random function] випадкова функція

**RHP** [right half-plane] права напівплощина

**RHS** [right-hand side] права сторона

**rot** [rotation] обертання

**RPD** [random point distribution] випадковий розподіл точок

**RV** [random variable] випадкова величина

## **S**

1. [side] сторона, бік
2. [significant] значущий
3. [surface] поверхня

**SC** [sufficient condition] достатня умова

**SD** [standard deviation] середньоквадратичне відхилення

## **SE**

1. [simultaneous equations] система рівнянь
2. [standard error] середньо-квадратична похибка  
**seq** [sequential] послідовний

**SIRO** [select in random order] вибір у випадковому порядку  
**sk** [skewness] асиметрія

## **SM**

1. [scatter matrix] матриця розсіювання
2. [simplex method] симплекс-метод
3. [stepwise maximization] багатокрокова максимізація

**SMP** [semi-Markovian process] напівмарківський процес

**SN** [sample number] обсяг виборки

**S of S** [sum of squares] сума квадратів

## **sp**

1. [space] простір
2. [spur] слід

**SP** [stochastic process] випадковий процес

**SPAN** [statistical processing and analysis] статистична обробка і аналіз

**SRS** [simple random sample] простий випадковий вибір

## **SS**

1. [sample size] обсяг виборки
2. [sample survey] вибіркоче обстеження

3. [subsystem] підсистема

4. [sum of squares] сума квадратів

**SSP** [steady-state probability] стаціонарна ймовірність

**std.dev.** [standard deviation] середньо-квадратичне відхилення

**sub** [subscript] нижній індекс, з нижнім індексом

**suc** [success] успішний наслідок

**sup** [supremum] супремум

## **T**

**t** [total] сума

**thm** [theorem] теорема

**TL** [time length] тривалість, довгочасність

**tran** [translation] паралельний перенос

**tr.d.f.** [transition distribution function] перехідна функція розподілу

**tr.pr.** [transient probability] ймовірність переходу

**TS** [trigonometric series] тригонометричний ряд

## **U**

1. [unit] одиниця // одиничний

2. [unit] елемент (виборки)

3. [upper] верхній

**unl** [unlimited] необмежений

**UP** [uniform probability] рівномірна ймовірність

**UQ** [uncertain quantity] невизначна величина

## **V**

[volume] обсяг

## **VAR**

1. [variable] змінна (величина) // змінний

2. [variance] дисперсія

**VS**N [variance of sample number] дисперсія обсяга виборки

## **W**

**w** [width]

1. ширина

2. широта

**WD** [Weibull distribution] розподіл Вейбула

**WF** [well-formed] правильний; коректний

**WFF** [well-formed formula] вірно побудована формула

**WRT** [with respect to] відносно

## **Z**

1. [zero] нуль

2. [zone] зона; область

### РОЗДІЛ 3. УЧБОВИЙ АУ СЛОВНИК З ТЕОРІЇ ЙМОВІРНОСТЕЙ <sup>x)</sup>

#### А

**a posteriori distribution** - апостеріорний розподіл

**a posteriori mean** - апостеріорне середнє

**a posteriori probability** - апостеріорна ймовірність

**a priori distribution** - апіорний розподіл

**a priori information** - апіорна інформація

**a priori probability** - апіорна ймовірність

**a priori risk** - апіорний ризик

**absolute deviation** - абсолютне відхилення

**absolute distribution of a Markov chain** - абсолютний /безумовний розподіл ланцюга Маркова

**absolute frequency** - абсолютна частота

**absolute moment** - абсолютний момент

**absolute probability** - безумовна ймовірність

**absolutely continuous distribution** - абсолютно неперервний розподіл

**action functional** - функціонал дії

**active experiment** - активний експеримент

**active variable** - активна змінна

**adapted random process** - адаптований/узгоджений випадковий процес

**addition theorem** - теорема складання (ймовірностей)

**additive function** - адитивна функція

**additive functional** - адитивний функціонал

**additive model** - адитивна модель

**admissible estimator** - допустима оцінка

**aftereffect** - післядія

**flow with aftereffect** — потік із наслідком

**flow without aftereffect** — потік без наслідка

**lack of aftereffect** — відсутність післядії

**algebraic random equation** - алгебраїчне випадкове рівняння



**algorithm** - алгоритм (див докладніше:

**[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/37/algorithm](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/37/algorithm)**)

**all possible regressions method** - метод всіх можливих регресій

**allocation** - розміщення

**almost certain convergence** – майже напевна збіжність

**alphabet** 1. абетка; алфавіт 2. основи, основні поняття і принципи

**amount of information** - кількість інформації

---

<sup>x)</sup> Основні терміни для цього словника одержані із Інтернет-ресурсу [http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/) в зробленому українському перекладі. Якщо основний термін має багато тлумачень, надається його російськомовне пояснення по відповідному адресному посиланню. Транскрипція термінів в даному розділі (на відміну від розд 6) не надається.

**analysis**

1. аналіз (див докладніше:

**[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/57/analysis](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/57/analysis)**)

2. дослідження, вивчення

3. метод дослідження

4. розрахунок (зазвичай перевірочний)

**aperiodic** - неперіодичний

**aperiodic Markov chain** - неперіодичний ланцюг Маркова

**aperiodic state of a Markov chain** - неперіодичний стан ланцюга

Маркова

**approach** підхід

**Bayes approach** - беєсовський підхід

**empirical Bayes approach** -емпіричний беєсовський підхід  
**minimax approach** - мінімаксний підхід

**partial Bayes approach** - частковий беєсовський підхід  
**approximation**

1. апроксимація (див докладніше:

[http://mathematics\\_statistics\\_en.ru.academic.ru/80/approximation](http://mathematics_statistics_en.ru.academic.ru/80/approximation))

2. наближення

**arithmetic** - арифметичний

1. **arithmetic function** - арифметична функція

2. **arithmetic mean** - арифметичне середнє

3. **arithmetic progression** - арифметична прогресія

4. **arithmetic simulation of random processes** – арифметичне

моделювання випадкових процесів

**arithmetics of probability distributions** - арифметика ймовірнісних  
розподілів

**arrangement** - розміщення

**arrangement problem** - задача ранжування

**array** - масив (див. докладніше: <http://translate.academic.ru/array/en/ru>)

1. решітка; (упорядкований) масив; періодична структура; матриця ||  
формувати решітку чи (упорядкований) масив; утворювати періодичну  
структуру чи матрицю

2. (прямокутна) таблиця (елементів); матриця

**arrival stream** - вхідний потік

**asymmetry** - асиметрія (див. докладніше:

<http://translate.academic.ru/asymmetry/en/ru/>)

**asymptotic** – асимптотичний (див. докладніше:

[http://mathematics\\_statistics\\_en.ru.academic.ru/100/asymptotic](http://mathematics_statistics_en.ru.academic.ru/100/asymptotic))

**asymptotically** - асимптотично (див. докладніше:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/101/asymptotically](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/101/asymptotically))

**attribute** (див. докладніше <http://translate.academic.ru/attribute/en/ru/>)

1. визначальна ознака; атрибут; описувач; характеристика; властивість
2. приписувати властивість, привласнити атрибути
3. атрибут (опис поля (field) в усіх екземплярах класу

**autocorrelation** - автокореляція

**autocorrelation function** – автокореляційна / кореляційна функція  
**partial autocorrelation function** - функція часткової автокореляції

**autocovariance** - автоковаріація

**autocovariance function** - автоковаріаційна/коваріаційна функція  
**partial autocovariance function** - функція часткової автоковаріації

**automaton** - автомат (див. докладніше:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/114/automaton](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/114/automaton))

**autonomous probabilistic automaton** - автономний ймовірнісний автомат  
**autoregression** - авторегресія

**auxiliary statistic** - допоміжна статистика

**average** - середній, середнє, середнє значення

**average reward criterion** - критерій середнього виграшу

**average risk** - середній ризик

**moving averages** - ковзаючі середні

**moving weighted averages** - ковзаючі взважені середні  
**space average** - середнє по простору

**time average** - середнє по часу

**averaging principle** – принцип усереднення

**axiom** - аксіома, постулат (див.  
докладніше:  
<http://translate.academic.ru/axiom/en/ru/>)

**to take as an axiom** — приймати як  
аксіому

## **B**

**backward** - зворотній

**balk queueing system** - система обслуговування з відмовами

**basis** - базис

**stochastic basis** - стохастичний базис

**Bayes/ Bayesian** - бейєсовський / байєсовський (див. докладніше:

<http://translate.academic.ru/Bayes/en/ru/>)

**Bayes approach** - бейєсовський підхід

**Bayes decision function** - бейєсовська вирішуюча функція

**Bayes decision rule** - бейєсовське вирішуюче правило

**Bayes estimator** - бейєсовська оцінка

**Bayes formula** - формула Бейєса

**Bernoulli distribution** - розподіл Бернуллі

**Bernoulli flow** - потік Бернуллі

**Bernoulli random variable** - бернулліївська випадкова величина

**Bernoulli theorem** - теорема Бернуллі

**best choice problem** - задача про найкращий вибір

**beta-distribution** - бета-розподіл

**beta function** - бета-функція

**bias** - зсув

**bias of an estimator** - зсув оцінки

**biconnected graph** - двозв'язний граф

**bidirected graph** - двонапрямний граф

**bimodal distribution** - бімодальний/ двовершинний розподіл

**binomial** - біном, біноміальний (докладніше див.:

[http://mathematics\\_statistics\\_en.ru.academic.ru/212/binomial](http://mathematics_statistics_en.ru.academic.ru/212/binomial))

**birth process** - процес (чистого) розмноження

**birth-and-death process** - процес народження та загибелі

**bivariate distribution** – двовимірний розподіл

**bivariate normal distribution** – двовимірний нормальний розподіл

**Boolean model** - Булева модель (докладніше див.:

[http://mathematics\\_statistics\\_en.ru.academic.ru/247/Boolean\\_model](http://mathematics_statistics_en.ru.academic.ru/247/Boolean_model))

**bound** - границя, оцінка

**confidence bound** - довірча границя

**boundedness** - обмеженість

**boundedness in probability** – обмеженість по ймовірності

**stochastic boundedness** - стохастична обмеженість

**branch and probability bound method** - метод гілок та ймовірних меж

**branching** - розгалуження

**branching process** - розгалужений процес (докладніше див.:

[http://mathematics\\_statistics\\_en.ru.academic.ru/271/branching\\_process](http://mathematics_statistics_en.ru.academic.ru/271/branching_process))

## C

**canonical** - канонічний (докладніше див.:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/300/canonical](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/300/canonical))

**Cauchy distribution** - розподіл Коші

**certain event** - достовірна подія

**certainty** - достовірність

**chain** - ланцюг

**Markov chain** - ланцюг Маркова

**characteristic** - характеристика,  
характеристичний

**characteristic function** - характеристична функція

**chi distribution** -  $\chi^2$ -розподіл

**chi square** -  $\chi^2$ -квадрат

**chi square distribution** -  $\chi^2$ -квадрат розподіл

**chi square statistic** - статистика  $\chi^2$ -квадрат

**chi square test** -  $\chi^2$ -квадрат критерій

**classical definition of probability** - класичне визначення ймовірності

(докладніше

див.: <http://translate.academic.ru/classical%20definition%20of%20probability/en/ru/>)

**cluster** - кластер

**cluster analysis** - кластер-аналіз

**cluster model** - кластерна модель

**cluster-procedure** - кластер-процедура

**coefficient** - коефіцієнт (докладніше див.:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/376/coefficient](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/376/coefficient))

**coin tossing** - підкидання монети

**combination** – поєднання, комбінація

**common probability space method** - метод одно-їмовірного простору

**communicating states** - сполучені стани

**complement of an event** - доповнення до події

**complete** - повний, закінчений (докладніше див.:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/406/complete](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/406/complete))

**completeness** - повнота

**confidence** - довіра, довірчий

**confidence bound** - довірча межа

**confidence interval** – довірчий інтервал

**confidence probability** - довірча

їмовірність

**lower confidence bound /limit** - нижня довірча межа

**upper confidence bound/limit** - верхня довірча межа

**confirmatory data analysis** – підтверджуючий аналіз даних

**completion** - поповнення

**completion of a measure** - поповнення міри

**completion of a probability space** - поповнення їмовірнісного простору

**complex** - комплекс, комплексний

**complex Gaussian process** - комплексний гауссівський процес

**complex normal variable** - комплексна нормальна випадкова величина

**component analysis** - компонентний аналіз

**composition** - композиція

**composition of distributions** - композиція розподілів

**method of compositions** - метод композицій

**compound Poisson distribution** - узагальнений / складний розподіл Пуассона

**computer simulation** – комп'ютерне моделювання

**concave function** - увігнута функція

**concordance coefficient** - коефіцієнт конкордації/узгодженості

**condition** - умова (докладніше див.:

[http://mathematics\\_statistics\\_en.ru.academic.ru/421/condition](http://mathematics_statistics_en.ru.academic.ru/421/condition))

**conditional** - умовний

**conditional density** - умовна щільність

**conditional distribution** - умовний розподіл

**conditional distribution function** - умовна функція розподілу



**conditional expectation** – умовне математичне очікування  
**conditional likelihood function** – умовна функція правдоподібності  
**conditional probability** - умовна ймовірність

**conditional variance** - умовна дисперсія  
**connected graph** - зв'язний граф  
**consensus** - узгодження

**consistent** - узгоджений

**consistent distributions** – узгоджені розподіли

**consistent estimator** – слушна оцінка  
**consistent test** – слушний критерій

**constrained estimation** – оцінювання при наявності обмежень

**constrained least squares method** - метод найменших квадратів із обмеженнями  
**constraint** - обмеження, зв'язок

**tree-type constraint** – обмеження типу дерева  
**contaminated sample** – забруднена вибірка  
**continuous** – неперервний

**continuous distribution** – неперервний розподіл  
**continuous flow** – неперервний потік  
**continuous process** – неперервний процес

**control** - управління, контроль

**optimal stochastic control** – оптимальне стохастичне управління  
**quality control** – контроль якості

**statistical quality control** - статистичний контроль якості  
**controlled** - керований, регульований

**controlled branching process** - регульований розгалужений процес

**controlled discrete/continuous time random process** – керований випадковий процес із дискретним/неперервним часом

**controlled jump process** - керований стрибкоподібний процес  
**controlled Markov chain**- керований ланцюг Маркова

**controlled Markov jump process** – керований марковський стрибкоподібний процес

**controlled Markov process** – керований марковський процес  
**controlled random process** - керований випадковий процес

**convergence** – збіжність (докладніше див:

[http://mathematics\\_statistics\\_en.ru.academic.ru/461/convergence](http://mathematics_statistics_en.ru.academic.ru/461/convergence))

**convergent** - збіжний

**convergent sequence** – збіжна послідовність

**convergent series** – збіжний ряд

**convex** - опуклий

**convex function** – опукла функція

**convex graph** – опуклий граф

**strictly convex function** – строго опукла функція

**convolution** - згортка

**correction** - поправка, виправлення

**correlated variables** - корельовані величини

**correlation** - кореляція (докладніше

див.: [http://mathematics\\_statistics\\_en.ru.academic.ru/470/correlation](http://mathematics_statistics_en.ru.academic.ru/470/correlation))

**countable** - рахунковий

**countable Markov chain** – рахунковий ланцюг Маркова

**countable probabilistic automaton** – рахунковий ймовірнісний автомат

**covariance** - коваріація (докладніше

див.: [http://mathematics\\_statistics\\_en.ru.academic.ru/482/covariance](http://mathematics_statistics_en.ru.academic.ru/482/covariance))

**criterion** - критерій (докладніше

див.: [http://mathematics\\_statistics\\_en.ru.academic.ru/493/criterion](http://mathematics_statistics_en.ru.academic.ru/493/criterion))

**critical** - критичний (докладніше

див.: [http://mathematics\\_statistics\\_en.ru.academic.ru/494/critical](http://mathematics_statistics_en.ru.academic.ru/494/critical))

**curve** - крива, лінія

**regression curve** - лінія/крива регресії

**curvilinear** - криволінійний

curvilinear correlation - криволінійна кореляція

**curvilinear regression** - криволінійна регресія

**cut** - розріз

**cut-off process** – процес, що обривається

**cycle** - цикл

**cyclic** - циклічний, періодичний

**cyclic Markov chain**- циклічний/періодичний ланцюг Маркова

## D

**data** - дані (докладніше)

див.: <http://mathematics statistics en ru.academic.ru/519/data>)

**decision** - рішення , вирішальний (докладніше)

див.: <http://mathematics statistics en ru.academic.ru/526/decision>)

**decomposition** - розкладання

**degree of freedom** - ступінь свободи

**delay** - затримка /запізнювання

**density** – щільність (докладніше)

див.: <http://mathematics statistics en ru.academic.ru/541/density>)

**denumerable** - рахунковий

**denumerable Markov chain** – рахунковий ланцюг Маркова

**dependence** - залежність

**dependent** - залежний

**dependent events** – залежні події

**dependent random variables** – залежні випадкові величини

**derivative** - похідна (докладніше)

див.: <http://mathematics statistics en ru.academic.ru/546/derivative>)  
**design** - план, схема, планування (докладніше)

див.: <http://mathematics statistics en ru.academic.ru/547/design>)  
**determinant** - визначник, детермінант

**deterministic** - детермінований

**deviation** – відхилення, ухилення

**diagnosis** - діагноз

**diagnostics**

1. діагностика; діагностування; виявлення несправностей
2. діагностичні засоби

**diagram** - діаграма

**block-diagram** - блок-схема

**dice** – гральний кубік

**difference** - різниця, розрізнений (докладніше)

див.: <http://mathematics statistics en ru.academic.ru/557/difference>)

**differential** - диференціал, диференційний (докладніше див.:

<http://mathematics statistics en ru.academic.ru/558/differential>)  
**differentiation** - диференціювання

**digraph** - оргграф /орієнтований граф

**dimension** - розмірність

**directed** - спрямований

**directed graph** - орієнтований граф

**directed set** – спрямована множина

**discrete** - дискретний

**discrete distribution** - дискретний розподіл

**discrete distribution function** - дискретна функція розподілу

**discrete Fourier transform** - дискретний перетворення

Фурье **discrete measure** - дискретна міра

**discrete random variable** – дискретна (перервна) випадкова величина  
**discrete time random process** - випадковий процес із дискретним часом

**discretization problem** - проблема дискретизації

**discriminant** - дискримінант

**discriminant analysis** - дискримінантний аналіз

**discriminant function** - дискримінантна функція

**discriminant model** - дискримінантна модель

**dispersion** - розсіювання

**dispersion of a distribution** - розсіювання розподілу

**dispersion of a sample** - розсіювання вибірки

**distance** - відстань (докладніше

див.: <http://mathematics statistics en ru.academic.ru/586/distance>)

**distribution** – розподіл (докладніше види розподілів див.:

<http://mathematics statistics en ru.academic.ru/591/distribution>)

**divergent** - розбіжність

**divergent sequence** - розбіжна послідовність

**divergent series** - розбіжний ряд

**domain** - область

**dominating** - домінуючий

**double** – подвійний

**double exponential distribution** - двосторонній показниковий розподіл

**double selection problem**- задача про подвійний вибір

**dual** - двоїстий, пов'язаний

**dual Markov process** - двоїстий марковський процес

## **E**

**edge** - ребро, реберний

**efficiency** - ефективність (докладніше див.:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/631/efficiency](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/631/efficiency))

**efficient** - ефективний

**efficient estimator** - ефективна оцінка

**element** - елемент

**random element** - випадковий елемент

**Gaussian random element** - гаусівський випадковий елемент  
**elementary** - елементарний

**elementary event** - елементарна подія

**elementary measure** - елементарна міра

**elementary probability** - елементарна ймовірність

**elementary set** - елементарна множина

**space of elementary events** - простір елементарних подій  
**empirical** - емпіричний (докладніше

див.: [http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/647/empirical](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/647/empirical))

**empirical distribution function** - емпірична функція розподілу

**entropy** - ентропія (докладніше див.:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/657/entropy](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/657/entropy))

**equation** - рівняння (докладніше див.:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/662/equation](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/662/equation))

**equivalent** - еквівалентний

**ergodic** - ергодичний (докладніше

див.: [http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/667/ergodic](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/667/ergodic))

**ergodicity** - ергодичність

**ergodicity condition** - умова ергодичності

**error** - похибка (докладніше

див.: [http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/672/error](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/672/error))

**essential** - суттєвий

**estimable function** - функція, що допускає незміщену оцінку  
**estimate (estimator)** - оцінка

**estimation** - оцінювання (докладніше

див.: [http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/678/estimation](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/678/estimation))

**event** - подія (докладніше див.:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/688/event](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/688/event))

**exact** - точний

**excess** - ексцес

**exchangeable random variables** – випадкові величини, які можна переставити

**exit** - вихід

**exit boundary** - межа -вихід

**exit density** - щільність ймовірності виходу

**exit rate** - інтенсивність виходу, щільність ймовірності виходу

**expansion** - розкладання (докладніше

див.: [http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/700/expansion](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/700/expansion))

**expectation** - математичне очікування, середнє значення

**conditional expectation** – умовне математичне очікування

**expected** - середній, очікуваний

**expected value** - математичне очікування, середнє значення  
**experiment** – експеримент, дослід

**exponent** – показник; ступінь, експонента; порядок (числа)

**exponential** - експоненціальний, показниковий, експонента, показникова

функція

**exponential distribution** - показниковий/експоненціальний розподіл

**exponential family** – експоненціальне сімейство

**extended** – розширений, продовжений

**extension** - розширення, продовження

**extension of a Markov process** - продовження марковського процесу  
**extinction** - виродження

**extinction of a branching process** - виродження розгалуженого процесу  
**extinction probability** – ймовірність виродження (розгалуженого процесу)

**extrapolation** - екстраполяція, прогноз

**extrapolation of a random process** - екстраполяція/прогнозування випадкового процесу

**extremal** - екстремальний

**extremal problem** - екстремальна задача

**extremal statistical problem** - екстремальна статистична задача

## F

**factor** - фактор, множник (докладніше

див.: [http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/718/factor](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/718/factor))

**factorial** - факторний, факторіальний, факторіал

**failure** - відмова

**failure rate function** - функція інтенсивності відмов

**family** - сімейство (докладніше див.:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/724/family](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/724/family))

**fault tree** - дерево відмов

**fault-tolerance** – нечутливість до відмов  
**favorable event** – сприятлива подія

**fictitious state** - фіктивний стан

**field** - поле (докладніше див.:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/749/field](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/749/field))

**filtering** – фільтрація



**filtering of a random process** - фільтрація випадкового процесу

**nonlinear filtering of a random process** - нелінійна фільтрація випадкового процесу

**finite** - кінцевий (докладніше див.:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/760/finite](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/760/finite))

**first** - перший

**first arrival time** - момент першого досягнення/влучення

**first kind error** – похибка першого роду

**first passage time** - момент/час першого досягнення/влучання/перетину

**first-in-first-out** - дисципліна "першим прийшов - перший обслуговується"

**Fisher F-distribution** – розподіл Фішера

**flatly concentrated family of probability measures** - плоско концентроване сімейство ймовірних мір

**flow** - потік

**Bernoulli flow** - потік Бернуллі

**continuous flow** – неперервний потік

**input flow** - вхідний потік

**measurable flow** - вимірюваний потік

**Poisson flow** - пуассонівський потік

**forecast** - прогноз

**form** - форма

**linear form** - лінійна форма

**quadratic form** - квадратична форма

**formula pl formulae** - формула (докладніше див.:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/789/formula](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/789/formula))

**Fourier series** - ряд Фур'є

**Fourier transform** - перетворення Фур'є

**fraction** - дріб

**frame of reference** - система відліку

**frequency** - частота (докладніше див.:

[http://mathematics\\_statistics\\_en.ru.academic.ru/810/frequency](http://mathematics_statistics_en.ru.academic.ru/810/frequency))

**frequency interpretation of probability** – частотна інтерпретація ймовірності  
**frequency of a random event** - частота випадкової події

**statistical stability of frequencies** - статистична стійкість частот

**fully accessible queueing system** – повністю доступна система обслуговування

**function** - функція (докладніше див.:

[http://mathematics\\_statistics\\_en.ru.academic.ru/815/function](http://mathematics_statistics_en.ru.academic.ru/815/function))

**functional** - функціонал (докладніше див.:

[http://mathematics\\_statistics\\_en.ru.academic.ru/816/functional](http://mathematics_statistics_en.ru.academic.ru/816/functional))

## **G**

**gamma distribution** - гама-розподіл

**gamma function** - гама -функція

**Gauss transform** - перетворення Гауса

**general population** - генеральна сукупність  
**generating function** – твірна функція

**generating function of a random variable** - твірна функція випадкової величини  
**moment generating function** - твірна функція моментів

**probability generating function** - ймовірнісна твірна функція  
**generator** - твірний оператор, генератор

**generator of random numbers** - датчик /генератор випадкових чисел  
**genetics** - генетика

**geometric** - геометричний

**geometric distribution** – геометричний розподіл

**geometric graph** - геометричний граф

**geometric process** - геометричний процес

**graph** - граф (докладніше див.:

[http://mathematics\\_statistics\\_en.ru.academic.ru/866/graph](http://mathematics_statistics_en.ru.academic.ru/866/graph))

**graphical representation of data** - графічне відображення даних  
**grid** - решітка

**grid graph** - решітчастий граф

**ground state** - основний стан

**grouped data** – сгруповані дані

## **H**

**harmonic** - грамонічний

**harmonic averaging**- гармонічне усереднення

**harmonic function** - гармонічна функція

**harmonic interpolation** - гармонічна інтерполяція

**harmonizable** – гармонізований

**harmonizable correlation function** - гармонізована кореляційна функція  
**harmonizable random field** - гармонізоване випадкове поле  
**harmonizable random process** - гармонізований випадковий процес

**hazard function / hazard rate function** - функція інтенсивності відмови  
**hereditary** - спадковий

**heuristic algorithm** - евристичний алгоритм  
**hierarchical model** - ієрархічна модель  
**hierarchy** - ієрархія

**high-order Markov chain** - складний ланцюг Маркова

**histogram** - гістограма

**homogeneous** - однорідний

**homogenization of a stochastic differential equation** - усереднення стохастичного диференційного рівняння

**hull** - оболонка

**convex hull** - опукла оболонка

**linear hull** - лінійна оболонка

**hyperbolic function** - гіперболічна функція **hypergeometric distribution** - гіпергеометричний розподіл

**hypergeometric series** - гіпергеометричний ряд

**hypergeometric series distribution** - розподіл гіпергеометричного ряду

**hypergraph** - гіперграф

**hypergroup** - гіпергрупа

**hypomorphism** - гіпоморфізм

**hypothesis pl hypotheses** – гіпотеза

## I

**i.d. (identically distributed)** - однаково розподілені

**identical** - тотожний, однаковий

**identically distributed** - однаково розподілені

**identifiability** - ідентифікованість (параметрів)

**identifiable parameter** - ідентифікований параметр

**identity** - тотожність (докладніше див:

[http://mathematics\\_statistics\\_en.ru.academic.ru/973/identity](http://mathematics_statistics_en.ru.academic.ru/973/identity))

**image processing** - обробка зображення

**impossible event** - неможлива подія

**improper** - невластний

**improper distribution** - невластний розподіл

**inadmissible estimator** - неприпустима оцінка

**indecomposable** - нерозкладний

**indecomposable branching process** - нерозкладний розгалужений процес

**indecomposable distribution** - нерозкладний розподіл

**indecomposable Markov chain** - нерозкладний ланцюг Маркова

**independence** - незалежність

**independence number** - число незалежності

**mutual independence** - взаємна незалежність

**pairwise independence** - попарна незалежність

**test of independence** - критерій незалежності

**independent** - незалежний

**independent events** - незалежні події

**independent random variables** - незалежні випадкові  
величини **independent trials** - незалежні випробування

**index pl indices** - індекс

**index of a distribution** - індекс  
розподілу **indicator** - індикатор

**indicator of an event** - індикатор події

**inequality** - нерівність (докладніше див:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/999/inequality](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/999/inequality))

**inference** - статистичні висновки

**infinite** - нескінченний

**infinitely divisible** - безмежно подільний (докладніше див:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/1004/infinitely\\_divisible](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/1004/infinitely_divisible))

**influence** - вплив

**influence curve** - крива впливу

**influence diagram** - діаграма впливу

**influence function** - функція впливу

**informational correlation coefficient** - інформаційний коефіцієнт кореляції

**informativeness** - інформативність

**initial distribution** - початковий розподіл

**input** - вхід, вхідний потік

**Palm input** - вхідний потік Пальма

**input flow** - вхідний потік

**input signal** - вхідний сигнал

**input stream** - вхідний / вхідний потік

**nonstationary input** - нестационарний вхідний потік

**recurrent input** - вхідний потік з обмеженою післядією, рекурентний потік

**inspection** - контроль, перевірка

**acceptance inspection** - статистичний приймальний контроль

**inspection plan** - план контролю

**sampling inspection** - вибіркова перевірка

**statistical acceptance inspection** - статистичний приймальний контроль

**integer** - ціле (число)

**integrability** - інтегрованість

**integration** - інтегрування

**intensity** - інтенсивність

**interaction** - взаємодія

**interpolation** - інтерполяція

**intersection of events** - перетин подій

**interval** - інтервал

**confidence interval** - довірчий інтервал

**interval estimation** - інтервальне / довірче оцінювання

**interval estimator** - інтервальна оцінка

**interval scale** - шкала інтервалів

**two-sided confidence interval** - двосторонній довірчий інтервал

**intraclass correlation coefficient** - коефіцієнт внутрішньогрупової кореляції

**invariance** - інваріантність

**invariant** - інваріант, інваріантний (докладніше див:

**[http://mathematics\\_statistics\\_en.ru.academic.ru/1033/invariant](http://mathematics_statistics_en.ru.academic.ru/1033/invariant)**)

**inverse** - зворотний

**inverse sampling** - зворотний вибір

**inversion** - інверсія, звернення

**irreducible Markov chain** - незводимий / нерозкладний ланцюг

Маркова **irredundance** - незвідність (графа)

**isomorphism** - ізоморфізм

**iteration** - ітерація



## J

**join of graphs** - з'єднання графів

**joint** - спільний

**joint distribution** - спільний розподіл

**joint distribution function** - спільна функція розподілу

**joint probability density** - спільна щільність ймовірності

**joint probability distribution** - спільний розподіл ймовірності

## K

**killed Markov process** - марковський процес що обривається

**killing time** - момент обриву

**Kolmogorov distribution** - розподіл Колмогорова

**Kolmogorov formula** - формула Колмогорова

**Kolmogorov forward equation** - пряме рівняння Колмогорова

**Kolmogorov statistic** - статистика Колмогорова

**Kolmogorov's axiomatics of the probability theory** - колмогорівська аксіоматика теорії ймовірностей

**Kolmogorov's inequality** - нерівність Колмогорова

**Kotelnikov theorem** - теорема Котельникова

## L

**label** - мітка

**labeling** - розмітка

**labeling of a graph** - розмітка графа

**lag** - затримка - лаг / запізнювання

**lagged variable** - запізніла змінна

**Lagrange distribution** - розподіл Лагранжа

**Lagrange equation** - рівняння Лагранжа

**Laplace distribution** - розподіл Лапласа

**Laplace method** - метод Лапласа

**Laplace transform** - перетворення Лапласа

**large deviations probabilities** - ймовірності великих відхилень

**last-in- first-out** - дисципліна "останнім прийшов - першим обслуговується"

**latent variable** - латентна (прихована) змінна

**lattice** - решітка

**lattice distribution** – решітковий розподіл

**lattice model** – решіткова модель

**lattice path** - шлях на решітці

**law** - закон, закон розподілу (докладніше див:

[http://mathematics\\_statistics\\_en.ru.academic.ru/1160/law](http://mathematics_statistics_en.ru.academic.ru/1160/law))

**leading function** - провідна функція

**least favorable distribution** - найменш сприятливий розподіл

**least squares method** - метод найменших квадратів

**left Markov process** - лівий марковський процес

**left Palm distribution** - лівий розподіл Пальма

**lemma** - лема

**Neyman-Pearson lemma** - лема Неймана-Пірсона

**level** - рівень

**critical level** - критичний рівень

**level of a test** - рівень критерію

**significance level** - рівень значущості

**likelihood** - правдоподібність, функція правдоподібності (докладніше див:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/1203/likelihood](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/1203/likelihood))

**limit** - межа, границя, граничний

**limit distribution** - граничний розподіл

**limit theorem** - гранична теорема

**line** - лінія

**regression line** - лінія / пряма регресії

**linear** - лінійний (докладніше див:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/1208/linear](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/1208/linear))

**linearization** - лінеаризація

**local** - локальний

**local ergodic theorem** - локальна ергодична теорема

**local limit theorem** - локальна гранична теорема

**local renewal theorem** - локальна теорема відновлення

**local time** - локальний час

**location family** - сімейство (розподілів) з параметром зсуву

**location parameter** - параметр зсуву

**log-likelihood (function)** - логарифмічна функція правдоподібності

**logarithmic series distribution** - розподіл логарифмічного ряду

**logistic distribution** - логістичний розподіл

**logistic equation** - логістичне рівняння

**lognormal distribution** - логарифмічно нормальний (логнормальний) розподіл

**loop** - петля

**loss** - втрати, функція втрат

**loss function** - функція втрат

**loss of information** - втрата інформації

**loss queueing system** - система обслуговування з відмовами

**lower** - нижній

**lower bound** - нижня грань

**lower boundary functional** - нижній граничний функціонал

**lower confidence bound** - нижня довірча межа

**lower function** - нижня функція

**lower semicon tinuous process** - напівбезперервний знизу процес

**lower sequence** - нижня послідовність

**Lyapunov theorem** - теорема Ляпунова

## M

**main effect of a factor** - головний ефект фактора

**manifold** - різноманіття

**mapping** - відображення

**completely positive mapping** - цілком позитивне відображення

**random mapping** - випадкове відображення

**weakly measurable mapping** - слабо вимірюване відображення

**marginal** - маргінальний

**marginal distribution** - маргінальний / приватний розподіл

**marginal distribution function** - маргінальна функція розподілу

**marginal likelihood function** - маргінальна функція правдоподібності

**mark** - мітка / марка

**marked point process** - маркований точковий процес

**Markov chain** - ланцюг Маркова (докладніше див:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/1269/Markov\\_chain](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/1269/Markov_chain))

**Markov decision process** - марківський процес прийняття рішень

**Markov linear-wise process** - лінійчатий марківський процес

**Markov measure** - марківська міра

**Markov process** - марківський процес

**additive functional of a Markov process** - адитивний функціонал від марківського процесу

**Markov property** - Марківська властивість

**Markov random field** - Марківське випадкове поле

**Markov renewal equation** - рівняння марківського відновлення

**Markov source** - марківське джерело (повідомлень)

**Markov strategy** - Марківська стратегія

**Markov time** - марківський момент, момент зупинки

**Markov's inequality** - нерівність Маркова

**mathematical statistics** - математична статистика

**matrix pl matrices** - матриця (докладніше див:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/1289/matrix](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/1289/matrix))

**maximal** - максимальний

**maximal correlation coefficient** - максимальний коефіцієнт кореляції

**maximal invariant** - максимальний інваріант

**maximin** - максимін

**maximin test** - максимінний критерій

**maximin strategy** - максимінна стратегія

**maximum** - максимум

**maximum likelihood** - максимальна правдоподібність

**maximum likelihood estimator** - оцінка максимальної правдоподібності

**maximum likelihood method** - метод максимальної правдоподібності

**Maxwell distribution** - розподіл Максвелла

**mean** - середній, середнє значення (докладніше див:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/1304/mean](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/1304/mean))

**measurable** - вимірювальний

**measurable flow** - вимірювальний потік

**measurable function** - вимірювальна функція

**measurable group** - вимірювальна група

**measurable mapping** - вимірювальне відображення

**measurable partition** - вимірювальне розбиття

**measurable set** - вимірювальна множина

**measurable space** - вимірювальний простір

**memoryless channel** - канал без пам'яті

**memoryless message source** – джерело повідомлень без пам'яті

**message** - повідомлення

**message source** – джерело повідомлення

**method** - метод (докладніше див.:

<http://mathematics-statistics-en.ru.academic.ru/1316/method>)

**metric** - метрика, метричний (докладніше див.:

<http://mathematics-statistics-en.ru.academic.ru/1317/metric>)

**midrange** – середина, розмах

**minimal** - мінімальний (докладніше

див.: <http://mathematics-statistics-en.ru.academic.ru/1321/minimal>)

**minimax** - мінімакс (докладніше див.:

<http://mathematics-statistics-en.ru.academic.ru/1322/minimax>)

**minimum pl minima** - мінімум

**minimum distance estimator** - оцінка мінімальної відстані

**minimum distance functional** - функціонал мінімальної відстані

**minimum distance method** - метод мінімальної відстані

**minimum variance unbiased estimator** - незміщена оцінка з мінімальною дисперсією

**minor** - мінор

**missing data** – зниклі дані

**mixed** - змішаний

**mixing** - перемішування

**mixture** - суміш

**mixture of distributions** – суміш розподілів

**mixture of states** – суміш станів

**normal mixture** – суміш нормальних розподілів

**space of mixtures** – простір сумішей

**mode** - мода

**mode of a distribution** - мода/вершина розподілу

**mode-unbiased estimator** - модально незміщена оцінка

**model** - модель (докладніше див.:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/1339/model](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/1339/model))

**modulus pl moduli** – модуль

**moment** - момент (докладніше див.:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/1348/moment](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/1348/moment))

**monotone** - монотонний

**monotone distribution** - монотонний розподіл

**Monte Carlo method** - метод Монте-Карло

**most powerful test** – найбільш потужний критерій

**most stringent test** - найбільш суворий критерій

**moving average** – ковзне середнє

**moving boundary** – рухома межа

**multicascade queueing system** - багатокаскадна система обслуговування

**multichannel queueing system** - багатоканальна/багатолінійна система

обслуговування

**multicommodity flow** – багатопродуктовий потік

**multicomponent source** - багатокomпонентний джерело (повідомлень)

**multigraph** - мультиграф

**multimodal distribution** – багатoverшинний/мультиmodalьний розподіл

**multinomial** - поліноміальний

**multinomial distribution** - поліноміальний розподіл

**negative multinomial distribution** – від’ємний поліноміальний розподіл  
**multiple** - кратний, множинний (докладніше див.:

[http://mathematics\\_statistics\\_en.ru.academic.ru/1378/multiple](http://mathematics_statistics_en.ru.academic.ru/1378/multiple))

**multiplicative** - мультиплікативний

**multiserver queueing system** - багатоканальна/багатолінійна система обслуговування

**multiterminal channel** - багатокomпонентний канал

**multivariate** – багатомірний (докладніше див.:

[http://mathematics\\_statistics\\_en.ru.academic.ru/1386/multivariate](http://mathematics_statistics_en.ru.academic.ru/1386/multivariate))

**multivariate analysis of variance** - багатомірний дисперсійний аналіз

**multiway channel** – багатосторонній канал

**mutual** - взаємний

**mutually exclusive events** – несумісні події

**MVU estimator** - незміщена оцінка з мінімальною дисперсією

## N

**negation** - заперечення

**negative** – від’ємний

**negative binomial distribution** – від’ємний біноміальний розподіл

**negative correlation** - від’ємна кореляція



**negative definite function** - від'ємно визначена функція

**negative hypergeometric distribution** - від'ємний гіпергеометричний розподіл

**negative multinomial distribution** - від'ємний поліноміальний розподіл

**negligibility** - нехтування

**net** - мережа

**net of measures** – мережа мір

**net of distributions** – мережа розподілів

**network** - мережа

**queueing network** – мережа обслуговування

**neural network** - нейронна мережа

**node-weighted graph** - граф зі зваженими вузлами

**noise** – шум

**nomogram** - номограма

**nonanticipating** – неупереджуваний

**nonanticipating channel** - канал без упередження

**nonanticipating function** – неупереджувана функція

**nonanticipating random process** - неупереджений випадковий процес

**nonanticipating strategy** – неупереджена стратегія

**noncentral chi square distribution** – нецентрований  $\chi^2$ -квадрат розподіл

**noncentral F-distribution** – нецентрований розподіл Фішера

**noncentrality parameter** - параметр нецентрованості **noncommutative probability theory** - некомутативна теорія ймовірностей

**nondegenerate distribution** - невироджений розподіл

**nonessential state** – несуттєвий стан

**nonhomogeneous Markov chain** – неоднорідний ланцюг Маркова

**nonlinear** - нелінійний (докладніше див.:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/1436/nonlinear](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/1436/nonlinear)  
**nonmeasurable set** – безмірна множина

**nonoriented graph** - неорієнтований граф  
**nonparametric** - непараметричний (докладніше див.:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/1440/nonparametric](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/1440/nonparametric)  
**nonrandomized** - нерандомізований

**nonstationarity** - нестационарність

**nonstationary input** - нестационарний вхідний  
потік

**normal** - нормальний

**normal approximation** - нормальна апроксимація

**normal distribution** - нормальний розподіл

**normal Markov process** - нормальний марковський процес

**normal mixture** – суміш нормальних розподілів

**normal random variable** - нормальна випадкова величина

**normal space** - нормальний простір

**normal transition function** - нормальна перехідна функція

**normalizing factor** - нормуючий множник, статистична сума (для розподілу  
Гіббса)

**normed measure** – нормована міра

**normed random variable** - нормована випадкова величина

**norming of a sequence of random variables** -нормування послідовності  
випадкових величин

**nuisance parameter** - заважаючий параметр

**number** - число (докладніше див.:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/1455/number](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/1455/number)

**numerical** - чисельний

## O

**objective function** - цільова функція

**observable** - спостережуваний

**observation** - спостереження

**observation error** – похибка спостереження

**omega square distribution** - омега-квадрат  
розподіл

**one-dimensional** - одновимірний

**one-dimensional random process** – одновимірний випадковий процес

**one-sample problem** – задача з однією вибіркою

**one-sided** - однобічний

**one-sided test** - однобічний критерій

**one-step transition probability** – одно - крокова ймовірність  
переходу

**operating characteristic of a test** - оперативна характеристика  
критерію

**operations research** - дослідження операцій

**operator** - оператор (докладніше див.:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/1475/operator](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/1475/operator))

**opposition graph** - опозиційний граф

**order** - порядок

**ordering** – впорядкованість,  
впорядкування **ordinary** - ординарний  
**orthogonal** - ортогональний

**orthogonality** - ортогональність

**oscillatory random process** – осцилюючий випадковий процес

**output signal** - вихідний сигнал

**overshoot** - перескок

## **P**

**p** – збіжність (докладніше див.:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/462/p](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/462/p))

**pairwise independence** - попарна незалежність

**Palm distribution** – розподіл Пальма

**Palm formula** - формула Пальма

**Palm input** - вхідний потік Пальма

**parameter** - параметр (докладніше див.:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/1519/parameter](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/1519/parameter))

**parametric model** - параметрична модель

**Pareto distribution** – розподіл Парето

**partial** - частковий, окремий (докладніше див.:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/1525/partial](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/1525/partial))

**partially available queueing system** – неповністю доступна  
система обслуговування

**partially ordered set** - частково упорядкована  
множина

**partition** – розбиття (докладніше див.:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/1530/partition](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/1530/partition))

**partitionability** – здатність до розбиття

**Pascal distribution** – розподіл Паскаля

**passage time** - момент досягнення/проходження

**path** - шлях, траєкторія

**pattern recognition** – розпізнавання образів

**Pearson distribution** – розподіл Пірсона

**penalty function** - штрафна функція

**perfect** - досконалий

**perfect graph** – досконалий граф

**perfect probability space** - досконалий ймовірнісний простір  
**periodic** - періодичний

**periodic Markov chain** - періодичний/циклічний ланцюг  
Маркова

**periodic state** - періодичний стан

**periodicity** - періодичність

**permutation** - перестановка, підстановка (докладніше див.:

[http://mathematics\\_statistics\\_en.ru.academic.ru/1562/permutation](http://mathematics_statistics_en.ru.academic.ru/1562/permutation))

**persistent Markov process** – поворотний марківський процес  
**phenomenon pl phenomena** - явище, феномен

**planar graph** - планарний граф

**planar network** – планарна мережа

**Planck distribution** - розподіл Планка

**plane** - площина

**Poincare process** – процес Пуанкаре

**point** - точка, точковий

**Poisson distribution** – розподіл Пуассона

**compound Poisson distribution** – складний розподіл Пуассона  
**Poisson process** - пуассонівський процес

**polar** - полярний

**polar correlation function** – полярна кореляційна  
функція

**polar set** - полярна множина

**Polya distribution** – розподіл Пойа

**polygon** – багатокутник, полігон

**polynomial** - поліном, поліноміальний (докладніше див.:

[http://mathematics\\_statistics\\_en.ru.academic.ru/1605/polynomial](http://mathematics_statistics_en.ru.academic.ru/1605/polynomial))

**polytopic graph** - політопний граф

**population** – сукупність , популяція

**general population** – генеральна сукупність

**poset** - частково впорядкована множина

**positive** – додатній

**positive correlation** – додатна кореляція

**positive definite function** – додатньо визначена функція

**positive state** – додатній стан

**posterior** - апостеріорний

**posterior density** - апостеріорна щільність

**posterior distribution** - апостеріорний розподіл

**posterior probability** – апостеріорна ймовірність

**potential** – потенціал (докладніше див.:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/1617/potential](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/1617/potential))

**power** – потужність, ступінь (докладніше див.:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/1618/power](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/1618/power))

**prediction** - прогнозування

**nonlinear prediction of a random process** - нелінійне прогнозування випадкового процесу

**prediction error** – похибка прогнозування/прогнозу

**regression prediction** - регресійний прогноз

**prime distance graph** - граф простих відстаней

**prime number** – просте число

**principal** - головний

**principal component** - головна компонента

**sample principal components** - вибіркові головні компоненти **principle** – принцип (докладніше див.:

[http://mathematics\\_statistics\\_en.ru.academic.ru/1632/principle](http://mathematics_statistics_en.ru.academic.ru/1632/principle))  
**prior** - апіорний

**prior distribution** – апіорний розподіл

**prior density** - апіорна щільність

**prior information** - апіорна інформація

**probabilistic** – ймовірнісний (докладніше див.:

[http://mathematics\\_statistics\\_en.ru.academic.ru/1634/probabilistic](http://mathematics_statistics_en.ru.academic.ru/1634/probabilistic))

**probability** – ймовірність (докладніше див.:

[http://mathematics\\_statistics\\_en.ru.academic.ru/1635/probability](http://mathematics_statistics_en.ru.academic.ru/1635/probability))

**probable error** – ймовірне/середнє відхилення

**problem** - задача, проблема (докладніше див.:

[http://mathematics\\_statistics\\_en.ru.academic.ru/1638/problem](http://mathematics_statistics_en.ru.academic.ru/1638/problem))

**procedure** - процедура

**process** – процес (докладніше див.:

[http://mathematics\\_statistics\\_en.ru.academic.ru/1640/process](http://mathematics_statistics_en.ru.academic.ru/1640/process))

**product** - добуток

**product of measurable spaces** – добуток вимірних просторів

**product of probability spaces** - добуток ймовірнісний просторів

**programming** - програмування

**dynamic programming** - динамічне програмування

**linear programming** - лінійне програмування

**nonlinear programming** - нелінійне програмування

**projection** - проекція

**proper distribution** – власний розподіл

**proximity measure** - міра близькості

**pseudomoment** - псевдомомент

**pseudorandom numbers** – псевдовипадкові числа

**pulse random process** - імпульсний випадковий процес

**pure** - чистий

**pure Bayes strategy** – чиста бейесовська стратегія

**pure state** - чистий стан

**pure strategy** – чиста стратегія

**purely discontinuous process** - чисто розривний процес

## Q

**quadrangle** – чотирикутник

**quadratic** - квадратичний

**quadrature** - квадратура, квадратурний

**qualitative** - якісний

**quantization** - квантування

**quantum** - квантовий

**quartile** - квартиль

**sample quartile** - вибіркова квартиль

**quasi-Markovian approximation** - квазімарковське наближення

**quasi-smooth Markov process** - квазігладкий марковський процес

**quasi-symmetric distribution** - квазісиметричний розподіл

**quasimeasure** - квазіміра

**queue** - черга, однолінійна система обслуговування з чергою

**queueing discipline** - дисципліна обслуговування

**queueing network** – мережа обслуговування

**queueing system** - система обслуговування (докладніше див.:

[http://mathematics\\_statistics\\_en.ru.academic.ru/1695/queueing\\_system](http://mathematics_statistics_en.ru.academic.ru/1695/queueing_system))

**queueing theory** - теорія систем обслуговування, теорія масового обслуговування, теорія черг



## R

**random** – випадковий (докладніше див.:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/1712/random](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/1712/random))

**random field** – випадкове поле (докладніше див.:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/1713/random\\_field](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/1713/random_field))

**random sample** – випадкова вибірка

**random variable** – випадкова величина (докладніше див.:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/1716/random\\_variable](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/1716/random_variable))

**randomization** - рандомізація

**randomized** – рандомізований

**rank** - ранг (докладніше

див.: [http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/1720/rank](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/1720/rank))

**ranking** - ранжування

**rate** - швидкість, інтенсивність

**failure rate function** - функція інтенсивності відмов

**rate-distortion function** – швидкість створення повідомлень

**rate of information transmission** – швидкість передачі інформації

**reachable state** – досяжний стан

**realization (of a random function)** - реалізація (вибіркової функції)

**record** - рекорд, запис

**rectilinear tree** – прямокутне дерево

**recurrent** - поворотний, рекурентний (докладніше див.:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/1739/recurrent](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/1739/recurrent))

**recursive estimation** - рекурентне оцінювання

**recursive estimator** - рекурентна оцінка

**recursive least squares method** - рекурентний метод найменших квадратів

**reduced branching process** – редукований розгалужений процес

**reducible Markov chain** - привідний/розгалужений ланцюг Маркова

**reduction of dimensionality** - пониження розмірності

**redundancy** – надлишковість, резервування

**optimal redundancy** - оптимальне резервування

**separate redundancy** - роздільне резервування

**reference set** – довідкова множина

**reflection principle** - принцип відображення

**regenerative process** - регенеруючий процес

**region** – ділянка, зона

**regression** - регресія (докладніше див.:

[http://mathematics\\_statistics\\_en.ru.academic.ru/1758/regression](http://mathematics_statistics_en.ru.academic.ru/1758/regression))

**regressor** - регресор, регресивна змінна

**regular** - регулярний

**regular branching process** - регулярний розгалужений процес

**regular conditional probability** - регулярна умовна

імовірність

**regular Markov chain** - регулярний ланцюг Маркова

**regular measure** - регулярна міра

**regular random field** - регулярне випадкове

поле

**regular set** - регулярна множина

**regularity** - регулярність

**regularity condition** - умова регулярності

**rejection method** - метод відкидання

**relation** - відношення, співвідношення

**binary relation** - бінарне відношення

**relative** - відносний

**relatively compact set** – відносно компактна множина

**relatively weak compact family of distributions** - слабо відносне сімейство розподілів

**relay** - релейний

**reliability** - надійність

**reliability function** - функція надійності

**reliability index** - показник надійності

**reliability optimization** – оптимізація

надійності **reliability theory** - теорія надійності

**remote event** – залишкова подія

**renewal** - відновлення (докладніше див.:

[http://mathematics\\_statistics\\_en.ru.academic.ru/1773/renewal](http://mathematics_statistics_en.ru.academic.ru/1773/renewal))

**renovating event** – оновлююча подія

**renovations method** - метод оновлення

**reorientation** - переорієнтація

**repairability** - ремонтпридатність

**repairable system** – відновлювана система

**representation** - подання

**representative** – представницький

**representative sample** - представницька вибірка

**residual** - залишок, залишковий

**resolution** – роздільна здатність

**resolvable** - розв'язний

**response** - відгук, характеристика

**restriction** - звуження, обмеження

**reversal** - обернення

**time reversal** – обернення часу

**reversed** - обернений

**reversed Markov chain** – обернений ланцюг Маркова

**reversed Markov process** – обернений марковський

процес **reversed process** – обернений процес

**reversible process** - оборотний процес

**right Markov process** - правий марковський процес  
**ring** - кільце

**risk** – ризик (докладніше див.:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/1817/risk](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/1817/risk))

**robust** - міцний

**robustness** – міцність, робастність

**root** - корінь

**rooted** - кореневий

**rooted graph** - кореневий граф

**rooted map** – коренева відображення

**rotation** - обертання, поворот, обертальний, ротаційний

**rounding** - округлення

**rounding error** – похибка округлення

**rule** - правило

**decision rule** – вирішальне правило

## S

**saddle point** – сідлова точка

**sample** - вибірка, вибірковий (докладніше див.:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/1839/sample](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/1839/sample))

**sampling** - вибірка (вибіркова процедура) (докладніше див.:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/1840/sampling](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/1840/sampling))

**scalar** - скаляр

**scalar parameter** - скалярний параметр

**scale** - масштаб, шкала (докладніше див.:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/1849/scale](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/1849/scale))

**scaling** - шкалування, скейлінг

**scattering** - розсіювання

**scattering number** - число  
розсіювання

**scheme** - схема

**hashing scheme** - схема змішування

**multiplication scheme** - схема множення

**score** – кількісний показник, оцінка, міра цінності, мітка

**score function** - функція міток

**scoring method** - метод накопичення

**screening** - відсіювання, скринінг

**SDE** стохастичне - диференціальне рівняння (докладніше див.:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/2034/SDE](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/2034/SDE))

**search** - пошук

**binary search** - бінарний пошук

**depth-first search** - пошук в глибину

**search number** - пошукове число

**second kind error** - похибка другого роду

**second-order efficient estimator** - ефективна оцінка другого порядку

**self-complementary graph** - самодоповнюваний граф

**self-decomposable distribution** - саморозкладний розподіл

**self-similar** - автотодельний

**self-similar distribution** – автотодельний розподіл

**semi-interquartile range** - ймовірне / середнє відхилення

**semi-Markov process** - напівмарковський процес

**semideterministic channel** - напівдетермінований канал

**semiflow** - напівпотік

**semistable distribution** - напівстійкий розподіл

**sensitivity** - чутливість

**gross error sensitivity** - чутливість до великих помилок

**separability** - роздільність

**separability condition** - умова роздільності

**separable** - роздільний

**separate redundancy** - роздільне резервування

**separation principle** - принцип поділу

**sequence** - послідовність (докладніше див:

[http://mathematics\\_statistics\\_en.ru.academic.ru/1898/sequence](http://mathematics_statistics_en.ru.academic.ru/1898/sequence))

**sequential probability ratio test** - послідовний критерій відношення ймовірностей / правдоподібності

**serial** - серіальний

**serial correlation coefficient** - серіальний коефіцієнт кореляції  
**series** - ряд (докладніше)

див: [http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/1901/series](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/1901/series))  
**service** - обслуговування

**service time** - час / тривалість обслуговування

**set** – сукупність, послідовність, множина/безліч (докладніше див:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/1903/set](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/1903/set))

**Shannon entropy** - ентропія Шеннона

**Shannon formula** - формула Шеннона

**Shannon information** - інформація Шеннона

**Shannon theorem** - теорема Шеннона

**Sherman distribution** - розподіл Шермана

**shift** - зсув

**Markov shift** - зсув Маркова

**shortest-path problem** – задача про найкоротший шлях

**shrinkage method** - метод стиснення

**signal** - сигнал

**signal flow graph** - сигнальний граф

**signature** - сигнатура

**signed digraph** - знаковий орграф

**significance** - значущість

**significance level** - рівень значущості

**significance test** - критерій значущості

**similar** - подібний

**similar region** - подібна ділянка

**similar test** - подібний критерій

**simplex** - симплекс

**simplex method** - симплексний метод

**Simpson distribution** - розподіл Сімпсона, трикутний розподіл  
**simulation** - моделювання / імітація

**simulation of a random phenomenon** - імітація випадкового явища  
**single-channel queueing system, single-server queueing system** -

одноканальна / однолінійна система обслуговування

**singular** - сингулярний

**site model** - модель вузлів

**size** - розмір, обсяг

**size of test** - розмір критерію

**sample size** - обсяг вибірки

**skew** - асиметрія, асиметричний, косий

**skewness of a distribution** - асиметрія  
розподілу

**slim graph** - стрункий граф

**slowly varying function** - функція що повільно змінюється

**Smirnov distribution** - розподіл Смирнова

**smoothing** - згладжування

**smoothing distribution** - згладжуючий розподіл

**smoothness** - гладкість

**Snedecor distribution** - розподіл Снедекора

**software** - програмне забезпечення

**sojourn time** - час перебування

**solution** - рішення

**source** - джерело (повідомлень)

**memoryless message source** - джерело повідомлень без пам'яті

**message source** - джерело повідомлень

**multicomponent source** - багатоконпонентне джерело  
(повідомлень)



**source - channel network** - мережа джерел і каналів

**space** - простір (докладніше див:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/1975/space](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/1975/space))

**span of a distribution** - (максимальний) крок розподілу  
**sparse graph** - розріджений граф

**spatial median** - просторова медіана

**spectrum pl spectra** спектр (докладніше див:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/1985/spectrum](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/1985/spectrum))

**splice** - зрощувати, склеювати

**spline** - сплайн

**SPRT** – ПКВІ (послідовний критерій відношення ймовірностей / правдоподібності)

**square** - квадрат, квадратний (докладніше див:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/2001/square](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/2001/square))

**stability** – стійкість, стабільність

**asymptotic stability** - асимптотична стійкість

**stability in probability** - стійкість за ймовірністю

**stability of a queueing system** - стійкість системи обслуговування

**stability theorem** - теорема стійкості

**stable** – стійкий, стабільний (докладніше

див: [http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/2005/stable](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/2005/stable))

**stable distribution** - стійкий розподіл (докладніше див:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/2006/stable\\_distribution](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/2006/stable_distribution)) **standard** - стандартний

**standard deviation** - стандартне відхилення, середньоквадратичне відхилення  
**standard error** - стандартне відхилення, стандартна похибка, середньоквадратичне відхилення

**standard Markov process** - стандартний марківський процес

**standard normal distribution** - стандартний нормальний розподіл

**state** - стан (докладніше див:

**[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/2012/state](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/2012/state)**)

---

**stationarity** - стаціонарність

**stationary** - стаціонарний (докладніше

див: **[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/2014/stationary](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/2014/stationary)**)

**statistic** - статистика (функція спостережень) (докладніше

див: **[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/2015/statistic](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/2015/statistic)**)

**statistical** - статистичний (докладніше

див: **[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/2016/statistical](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/2016/statistical)**)

**statistics** - статистика (докладніше див:

**[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/2017/statistics](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/2017/statistics)**)

**steady-state distribution** - стаціонарний розподіл

**steady-state model** - рівноважна модель

**steepest ascent** - метод крутого сходження

**step** – крок, ступінь

**step function** - ступінчаста функція

**step Markov process** - ступінчастий марківський процес

**step random process** - ступінчастий випадковий процес

**stochastic** - стохастичний, випадковий (докладніше

див: **[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/2032/stochastic](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/2032/stochastic)**)

**stochastic differential equation** - стохастическое диференційне рівняння

(докладніше

див: **[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/2033/stochastic\\_differ](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/2033/stochastic_differ)**

---

**ential\_equation)**

**stochastically** - стохастично

**stochastically continuous transition function** - стохастично-неперервна

перехідна функція

**stochastically equivalent random processes** - стохастично-  
еквівалентні випадкові  
процеси

**stopping rule** - правило зупинки

**optimal stopping rule** - оптимальне правило  
зупинки

**strategy** - стратегія (докладніше

див: [http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/2044/strategy](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/2044/strategy))  
**stratified sample** - розщеплена вибірка

**stratified sampling method** - метод шаруватої вибірки

**stratum pl strata** - шар

**strict** - строгий

**strict quasi-parity graph** - строгий квазіпарний граф

**strictly** - строго, сильно

**strictly convex function** - строго опукла функція

**strictly stable distribution** - строго стійкий розподіл

**strictly unimodal distribution** - сильно одновершинний / унімодальний -  
розподіл

**string** - рядок

**bit string** бінарна послідовність (рядок)

**strong** - сильний, посиленій (докладніше

див: <http://mathematics statistics en ru.academic.ru/2052/strong>)  
**strongly** - сильно

**strongly connected graph** - сильно зв'язний граф  
**strongly regular graph** - сильно регулярний граф

**structure** - структура

**Student distribution** - розподіл Стюдента  
**studentized deviation** - стьюдентізоване відхилення  
**sub-Markov semigroup** - субмарківська півгрупа

**subcritical branching process** - докритичний розгалужений процес

**subgraph** - підграф

**subjective probability** - суб'єктивна ймовірність  
**subnet** - підмережа

**subprocess** - підпроцес

**substitution** - підстановка

**random substitution** - випадкова підстановка

**succinct multigraph representation** - стисле мультиграфове відображення  
**sufficiency** - достатність

**sufficiency principle** - принцип достатності  
**sufficient** - достатній

**sufficient estimator** - достатня оцінка

**sufficient statistic** - достатня статистика

**sufficient topology** - достатня топологія

**sum** - сума

**partial sum** - часткова сума

**sum of events** - сума / об'єднання подій

**sum of relative errors** - сума відносних помилок

**supercritical branching process** - надкритичний розгалужений процес

**superefficient estimator** - надфективна оцінка

**supplementary variables method** - метод додаткових змінних

**support of a measure** - носій міри

**surface** - поверхня

**regression surface** - поверхня регресії

**survey** - обстеження, огляд

**sample survey** - вибіркове обстеження

**survey sampling** - вибіркове обстеження

**switching system** - система що перемикається

**symmetric** - симетричний (докладніше

**див:** [http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/2093/symmetric](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/2093/symmetric))

**synchronous point processes** - синхронні точкові процеси

**system** - система (докладніше див:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/2097/system](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/2097/system))

## T

**table** - таблиця

**routing table** - маршрутна таблиця

**contingency table** - таблиця спряжності (ознак)

**tail of a distribution** - хвіст розподілу

**taper** - вікно даних

**tapering of time series** - згладжування часових рядів

**temporally homogeneous random process** - однорідний за часом випадковий процес

**test** - критерій / тест (докладніше див:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/2115/test](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/2115/test))

**testing** - перевірка, випробування

**destructive testing** - руйнуючі випробування

**durability testing** - перевірка довговічності

**testing for normality** - перевірка нормальності

**testing of statistical hypothesis** - перевірка статистичної гіпотези  
**theta graph** - тета-граф

**thin set** - розріджена / тонка множина

**thinning** - проріджування

**threshold** - поріг

**throughput** - пропускна здатність

**tight** - щільний

**tightness** - щільність (сімейства заходів)

**time** - час, момент часу (докладніше

див: [http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/2130/time](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/2130/time))

**time series** - часовий ряд

**tolerance** - толерантність

**tolerance bound** - толерантна межа

**tolerance interval** - толерантний інтервал

**tolerance limit** - толерантна межа

**topological** - топологічний

**topology** - топологія (докладніше див:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/2135/topology](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/2135/topology))

**total** - повний, тотальний

**total probability formula** - формула повної ймовірності

**training sample** - навчальна вибірка

**trajectory** - траєкторія

**transfer** - перенесення, передача (докладніше

див: [http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/2143/transfer](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/2143/transfer))

**transform** - перетворення (докладніше див:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/2144/transform](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/2144/transform))

**transformation** - перетворення (докладніше див:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/2145/transformation](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/2145/transformation))

**transient** - незворотній, перехідний

**transient Markov chain** - незворотній ланцюг Маркова

**transient phenomena** - перехідні явища

**transient state** - незворотній стан

**transition** - перехід (докладніше див:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/2147/transition](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/2147/transition))

**transitive** - транзитивний

**transitive Markov chain** - транзитивний ланцюг Маркова

**transitivity** транзитивність

**transversal** трансверсальний, поперечний

**transversal correlation function** попереча кореляційна функція

**tree** дерево (докладніше див:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/2155/tree](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/2155/tree))

**trend** тренд

**trial** випробування (докладніше див:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/2158/trial](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/2158/trial))

**triangle** трикутник

**triangular array** послідовність серій

**triangular array scheme** схема серій

**triangular distribution** трикутний розподіл

**triangular number** трикутне число

**trigonometric series** тригонометричний ряд

**trimmed mean** зрізане середнє

**trimmed sample** цензурована/зрізана вибірка

**trinomial distribution** триноміальний розподіл

**true effect of a level** справжній ефект рівня

**truncated** зрізаний

**truncated distribution** зрізаний розподіл

**truncated random variable** зрізана випадкова величина

**truncation** зрізання

**truncation method** метод зрізання

**two-sample** двовибірковий (докладніше див:

**[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/2180/two-sample](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/2180/two-sample)**)

**two-sided** двобічний

**two-sided confidence interval** двобічний довірчий інтервал

**two-sided hypothesis** двобічна гіпотеза

**two-sided Student test** двобічний критерій Стюдента

**two-stage sampling** двоступінчастий вибір

**two-way model** двофакторна модель

**type** тип

## U

**unattainable boundary** недосяжна межа

**unbiased** незміщений (докладніше див:

**[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/2189/unbiased](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/2189/unbiased)**)

**unbiasedness** незміщеність



**unbounded** необмежений

**unbounded random walk** необмежене випадкове блукання

**uncertainty** невизначеність

**uncertainty principle** принцип невизначеності

**uncertainty relation** співвідношення невизначеностей

**unconditional** безумовний

**unconditional distribution** безумовний розподіл

**unconditional probability** безумовна ймовірність

**undirected graph** неорієнтований граф

**uniform** рівномірний (докладніше див:

<http://mathematics-statistics-en.ru.academic.ru/2196/uniform>)

**uniformly** рівномірно (докладніше див:

<http://mathematics-statistics-en.ru.academic.ru/2197/uniformly>)

**unimodal distribution** унімодальний / одновершинний розподіл

**unimodality** унімодальність

**multivariate unimodality** багатомірна унімодальність

**union of events** об'єднання / сума подій

**uniqueness** єдиність (докладніше див:

<http://mathematics-statistics-en.ru.academic.ru/2201/uniqueness>)

**unit** одиниця

**sample unit** вибіркова одиниця

**unitary** унітарний

**universal** універсальний

**upper** верхній (докладніше див:

<http://mathematics-statistics-en.ru.academic.ru/2206/upper>)

**urn model** урнова схема / модель

**utility** корисність

**conditional utility** умовна корисність

**expected utility** очікувана корисність

**mean utility** середня корисність

**utility function** функція корисності

## V

**value** значення, величина, ціна (ігри) (докладніше див:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/2212/value](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/2212/value))

**variable** змінна, змінний (докладніше див:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/2217/variable](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/2217/variable))

**variance** дисперсія

**analysis of variance** дисперсійний аналіз

**conditional variance** умовна дисперсія

**generalized variance** узагальнена дисперсія

**residual variance** залишкова дисперсія

**sample variance** вибіркова дисперсія

**variance components** компоненти дисперсії

**variate-difference method** метод змінних різностей

**variation** варіація (докладніше див:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/2220/variation](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/2220/variation))

**vector** вектор (докладніше див:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/2222/vector](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/2222/vector))

**Venn diagram** діаграма Венна

**vertex** pl **vertices** вершина

**vorticity** голосування

**voting** (аналог) голосування

## W

**waiting time** тривалість / час очікування

**walk** блукання (докладніше див:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/2240/walk](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/2240/walk))

**weak** слабкий (докладніше див:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/2244/weak](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/2244/weak))

**weakly** слабо

**weighing/weighting** зважування

**weight** вага

**weight function** вагова функція

**weight matrix** вагова матриця

**weighted** зважений

**weighted least squares method** метод зважених найменших квадратів

**weighted mean** зважене середнє

**well measurable process** цілком вимірний процес, опціональний процес  
**white noise** білий шум

**wide-sense Markov process** марківський процес в широкому сенсі

**wide-sense stationary process** стаціонарний в широкому сенсі процес

**window** вікно (докладніше див:

[http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academic.ru/2278/window](http://mathematics_statistics_en_ru.academic.ru/2278/window))

**workload** кількість роботи

# УКРАЇНСЬКО-АНГЛІЙСЬКІ (УА) СЛОВНИКИ

## РОЗДІЛ 4. УА словник загальноживаної математичної лексики

### 4.1 КОРОТКИЙ УА СЛОВНИК БАЗОВИХ МАТЕМАТИЧНИХ ТЕРМІНІВ

#### А

алгебра - algebra ['ældʒəbrə]

#### Б

база - base [beɪs]

базис - foundation [faʊn'deɪʃn]

безрозмірний - tensile ['tensəl]

безсумнівно - undoubtedly [ʌn'daʊtɪdli]

близький - familiar [fə'mɪliə(r)]

будова - structure ['strʌktʃə(r)]

буквений - literal ['lɪtərəl]

бути схожим - resemble [rɪ'zembəl]

більшість - majority [mə'dʒɔrəti]

бінарний - binary ['baɪnəri]

#### В

в іншому випадку - otherwise ['ʌðəwaɪz]

важливість - significance [sɪg'nɪfɪkəns]

вводити - introduce [ˌɪntrə'dju:s]

величина - value ['vælju:]

вершина - vertex ['vɜ:tɛks]

вживати - apply [ə'plai]

взаємний - mutual ['mju:tʃuəl]

взаємодія - interaction [ɪntə'ræksʃən]

виготовляти - produce [prə'dju:s]

визначений - definite ['defɪnət]

визначити - determine [dɪ'tɜ:mɪn]

викликати - give [gɪv]

виключення - exception [ɪk'sepʃn]

виключно - purely ['pjʊəli]

виконувати ділення - divide [dɪ'vaɪd]

вимір - measurement ['meʒəmənt]

вимірювати - measure ['meʒə(r)]

виникати - result [rɪ'zʌlt]

випадковий - random ['rændəm]

висота - altitude ['æltɪtju:d]  
висота - height [haɪt]  
вихід - product ['prɒdʌkt]  
виявляти - discover [dɪ'skʌvə(r)]  
вказувати - indicate ['ɪndɪkeɪt]  
вкрай - extremely [ɪk'stri:mli]  
  
властивість - property ['prɒpəti]  
вмикати - involve [ɪn'vɒlv]  
внаслідок - owing ['əʊɪŋ]  
впізнавати - identity [aɪ'dentəti]  
врівноважувати - balance ['bæləns]  
встановлювати - determine [dɪ'tɜ:mɪn]  
  
відкривати - discover [dɪ'skʌvə(r)]  
відмінний (від інших) - different ['dɪfrənt]  
відмінний від інших - variant ['veəriənt]  
відносно - comparatively [kəm'pærətɪvli]  
віднімання - subtraction [səb'trækʃən]  
відображати - reflect [rɪ'flekt]  
відображення - reflection [rɪ'flekʃən]  
  
відокремлювати - separate ['seprət]  
відповідати - fit [fɪt]  
відповідний - appropriate [ə'prəʊpriət]  
відхилення - variation [ˌveəri'eɪʃn]  
від'ємний - negative ['negətɪv]  
вісь - axis ['æksɪs]

## Г

геометрія - geometry [dʒi'ɒmətri]

горизонталь(ний) - horizontal [ˌhɒrɪ'zɒntl]

градус - degree [di'ɡri:]

границя - extent [ɪk'stent], limit ['lɪmɪt]

## Д

давати - give [ɡɪv]

двічі - twice [twɑɪs]

десятковий - decimal ['desɪməl]

дискретний - discrete [dɪ'skri:t]

добуток - product ['prɒdʌkt]

довжина - length [leŋθ]

довжина контура - circumference [sə'kʌmfərəns]

довід - reason [ri:zn]

додавання - addition [ə'dɪʃn]

додаток - addition [ə'dɪʃn]

докладати - apply [ə'plai]  
дорівнювати - equal ['i:kwəl]  
достатньо - sufficiently [sə'fɪʃənt]  
дотична - tangent ['tændʒənt]  
дріб - fraction ['frækʃən]  
дужки - brackets ['brækɪts]  
діаметр - diameter [daɪ'æmɪtər]  
діапазон - range [reɪndʒ]  
ділення - division [dɪ'vɪʒn]

## Е

еквівалент - equivalent [ɪ'kwɪvələnt]  
елемент - cell [sel]

## З

з цього випливає - thence [ðens]  
з'єднувати(сь) - associate [ə'səʊʃieɪt]  
завдяки - owing ['əʊɪŋ]  
завжди - invariably [ɪn'veəriəbli]  
загальний - mutual ['mju:tʃuəl], total [təʊtəl]  
закінчений - complete [kəm'pli:t]  
закінчувати - complete [kəm'pli:t]  
залишковий - residual [rɪ'zɪdʒuəl]  
залишок - residual [rɪ'zɪdʒuəl]  
заперечення - negative ['negətɪv]  
заперечувати - negative ['negətɪv]  
заснування - base [beɪs]



застосовувати - apply [ə'plai]  
захищати - protect [prə'tekt]  
збільшення - increase [ɪn'kri:s]  
збільшувати - increase [ɪn'kri:s]  
збільшувати(ся) - enlarge [ɪn'la:dʒ]  
  
зв'язувати - associate [ə'səʊʃieɪt]  
  
звичайний - ordinary ['ɔ:dnri]  
зворотньо - conversely ['kɒnvə:sli], inversely  
[ɪn'vɜ:sli]  
  
звідси - thence [ðens]  
здатний - capable ['keɪpəbl]  
  
здатність - capability [ˌkeɪpə'bɪlɪti]  
зменшення - decrease [dɪ'kri:s]  
зменшувати - reduce [rɪ'dju:s]  
зменшувати(ся) - contract ['kɒntrækt]  
зменшуватися - decrease [dɪ'kri:s]

змушувати - determine [dɪ'tɜ:mɪn]

зміна - variation [ˌveəri'eɪʃn]

змінна (величина) - variable ['veəriəbəl]

змінювати(ся, сь) - vary ['veəri], alter ['ɔ:lte(r)]

знак - signal ['sɪgnəl]

знаменник - denominator [dɪ'nɒmɪneɪtər]

значення - significance [sɪg'nɪfɪkəns], value ['vælju:]

зона - area ['eəriə]

зразок - pattern [pætɪn]

зрівнювати - equal ['i:kwəl]

з'єднувати(ся) - combine [kəm'baɪn]

## I

ідентифікувати - identify [aɪ'dentɪfaɪ]

ідентичний - identical [aɪ'dentɪkəl]

інакше - otherwise ['ʌðəwaɪz]

інтенсивність - intensity [ɪn'tensɪti]

## İ

їмовірність (ймовірність) - probability [ˌprɒbə'bɪlɪti]

## K

коефіцієнт - coefficient [ˌkəʊɪ'fɪʃənt]

коло - circle ['sɜ:kl]

компонент - component [kəm'pəʊnənt]

контур - circumference [sə'kʌmfərəns]  
конус - cone [kəʊn]  
конусоподібний - conical ['kɒnɪkəl]  
конічний - conical ['kɒnɪkəl]  
крива - curve [kɜ:v]  
крихітний - tiny ['taɪni]  
куб - cube [kju:b]  
кут - angle [æŋɡl]  
кутник - set-square [set skweə(r)]  
кілька - several ['sevrəl]  
кількість - amount [ə'maʊnt], quantity ['kwɒntəti]

## Л

лінійка - ruler ['ru:lə(r)]  
лінія - line [laɪn], range [reɪndʒ]

## М

максимум - maximum ['mæksɪməm], peak [pi:k]  
маленький - minute ['mɪnɪt]  
математика - mathematics [ˌmæθə'mætɪks]  
мати місце - occur [ə'kɜ:(r)]  
мати на увазі - imply [ɪm'plaɪ]  
мати схильність до - tend [tend]  
межа - limit ['lɪmɪt]  
мета - purpose ['pɜ:pəs]

множення - multiplication [mʌltɪplɪ'keɪʃn]

множити - multiply ['mʌltɪplaɪ]

можливий - possible ['pɒsəbl]

можливо - probably ['prɒbəbli]

можливість - probability [ˌprɒbə'bɪlɪti]

мінливість - instability [ˌɪnstə'bɪlɪti]

міняти (ся) - vary ['veəri]

мінімум - minimum ['mɪnɪməm]

міра - measure ['meʒə(r)]

## **H**

навпаки - conversely ['kɒnvə:sli]

надавати - produce [prə'dju:s]

надзвичайно - extremely [ɪk'stri:mli]

надлишок - excess [ɪk'ses]

найбільше значення - maximum ['mæksɪməm]

найвища точка - peak [pi:k]

найменше значення - minimum ['mɪnɪməm]

належний - due [dju:]

направлятися - tend [tend]

напруженість - intensity [ɪn'tensɪti]

напрямок - direction [də'rekʃn]

наслідок - product ['prɒdʌkt]

натурально - natural ['nætʃrəl]

наявний - obvious ['ɒbvɪəs]

невеличкий - tiny ['taɪni]

незалежно - irrespective [ˌɪrɪ'spektɪv]

незмінний - permanent ['pɜ:mənənt]  
незмінно - invariably [ɪn'veəriəbli]  
незначний - negligible ['neglɪdʒəbl̩]  
непарний - odd [ɒd], uneven [ʌn'i:vən]  
нерегулярний - irregular [ɪ'regjulər]  
нерівномірний - irregular [ɪ'regjulər]  
нескінченність - infinity [ɪn'fɪnɪti]  
нестійкість - imbalance [ˌɪm'bæləns], instability [ˌɪnstə'bɪlɪti]  
норма - rate [reɪt]  
нумерація - numeration [nju:mə'reɪʃn]

## O

область - domain [də'meɪn]  
область поширення - range [reɪndʒ]  
обмежувати - limit ['lɪmɪt]  
обсяг - amount [ə'maʊnt]  
обумовлений - due [dju:]  
обчислення - calculation [ˌkælkju'leɪʃn], calculus ['kælkjʊləs]  
об'єм - extent [ɪk'stɛnt]  
одиниця - unit ['ju:nɪt]  
однаковий - identical [aɪ'dentɪkəl]  
означати - imply [ɪm'plaɪ]  
окремий - separate ['seprət]  
окремий випадок - instance ['ɪnstəns]  
осередок - cell [sel]  
основа - foundation [faʊn'deɪʃn]

особливий - separate ['seprət]

отже - consequently ['kɒnsɪkwəntli], therefore ['ðeəfə:(r)], thus [ðʌs]

охороняти - protect [prə'tekt]

оцінювати - rate [reɪt]

очевидний - obvious ['ɒvviəs]

## П

панівний - dominant ['dɒmɪnənt]

парний - even [i:vn]

перебільшувати - exaggerate [ɪg'zædʒəreɪt]

перевага - supremacy [su:'preməsi]

переважаючий - dominant ['dɒmɪnənt]

перевершувати - exceed [ɪk'si:d]

перевищувати - exceed [ɪk'si:d]

передавати - transfer [træns'fɜ:(r)], transmit [trænz'mɪt]

передача - transfer [træns'fɜ:(r)]

переміщати - transfer [træns'fɜ:(r)]

перенесення - transfer [træns'fɜ:(r)]

переносити - transfer [træns'fɜ:(r)]

перервний - discrete [dɪ'skri:t]

переривчастий - discontinuous  
[ˌdɪskən'tɪnjuəs]

переробляти - alter ['ɔ:ltə(r)]

перетворення - reorganization ['ri:ɔ:gənəɪ'zeɪʃn]

переходити (до) - proceed [prə'si:d]

площа - area ['eəriə]

повний - complete [kəm'pli:t], total ['təʊtl]

подвійний - binary ['bainəri]

подібний - identical [aɪ'dentɪkəl], similar ['sɪmələ(r)]  
позитивний - positive ['pɒzətɪv]  
позначати - signify ['sɪgnɪfaɪ]  
показувати - indicate ['ɪndɪkeɪt]  
порядок - order ['ɔ:də(r)]  
порівняно - comparatively [kəm'pærətɪvli]  
посилювати (ся) - strengthen ['streŋθən]  
постійний - permanent ['pɜ:mənənt]  
потроювати - treble ['trebl]  
потрійний - treble ['trebl]  
походити - proceed [prə'si:d]  
прагнути - tend [tend]  
предмет - subject ['sʌbdʒɪkt]  
пред'являти - produce [prə'dju:s]  
приблизно - approximately [ə'prɒksɪmətli]  
привласнювати - appropriate [ə'prəʊpriət]  
приводити в порядок - arrange [ə'reɪndʒ]  
приводити до чого-небудь - result [rɪ'zʌlt]  
призма - prism ['prɪzəm]  
призначати - appropriate [ə'prəʊpriət]  
призначення - destination [ˌdestɪ'neɪʃən]  
приклад - instance ['ɪnstəns]  
природно - natural ['nætʃrəl]  
причина - reason [ri:zn]  
продовжувати - proceed [prə'si:d]  
проміжний - intermediate [ˌɪntə'mi:diət]  
пропорція - proportion [prə'pɔ:ʃn]  
прослідкувати - deduce [dɪ'dju:s]

протилежати (про сторони трикутника) – subtend  
[sʌb'tend]

протилежний - opposite ['ɒpəzɪt]

протяжність - extent [ɪk'stent]

процент - percentage [pə'sentɪdʒ]

процентне співвідношення - percentage [pə'sentɪdʒ]

прямокутний - right-angled [raɪt 'æŋɡl]

підстава - reason [ri:zn]

пік - peak [pi:k]

## **P**

рахувати - count [kaʊnt]

рахунок - score [skɔ:(r)]

реакція - reaction [ri'ækʃn]

результат - outcome ['aʊtkʌm], product ['prɒdʌkt], result [rɪ'zʌlt]

реорганізація - reorganization ['ri:ɔ:gənaɪ'zeɪʃn]

риска - line [laɪn]

робити висновки(висновок) - deduce [dɪ'dju:s], conclude [kən'klu:d]

розділяти - separate ['seprət]

розкладання - decomposition [di:kɒmpə'zɪʃn]

розмір - size [saɪz]

розривний - discrete [dɪ'skri:t]

розряд - digit ['dɪdʒɪt]

розрізняти - differentiate [ˌdɪfə'renʃi'eɪt]

розширювати - expand [ɪk'spænd]

розширювати(ся) - enlarge [ɪn'la:dʒ]

розшифрувати - decode [di:'kəʊd]

ряд - range [reɪndʒ]



рівень - level [levl]

рівний - equal ['i:kwəl]

рівновага - balance ['bæləns]

рівномірно - uniformly ['ju:nifɔ:m]

рівносильний - equivalent [i'kwɪvələnt]

рівняння - equation [i'kweɪz(ə)n]

різний - different ['dɪfrənt]

різниця - difference ['dɪfrəns], residual [rɪ'zɪdjuəl]

різновид - variant ['veəriənt]

## C

сенс - significance [sɪg'nɪfɪkəns]

середина - mean [mi:n], middle [mɪdl]

середнє число - mean [mi:n]

середній - average ['ævərɪdʒ], medium ['mi:diəm], middle [mɪdl]

середовище - medium ['mi:diəm]

сигнал - signal ['sɪgnəl]

система позначень - notation [nəʊ'teɪʃ(ə)n]

систематично - systematically [sɪstə'mætɪklɪ]

сканувати - scan [skæn]

склад(ання) - composition [ˌkɒmpə'zɪʃ(ə)n]

складання - addition [ə'dɪʃn]

складати - compose [kəm'pəʊz], constitute ['kɒnstɪtju:t], make [meɪk]

складова частина - component [kəm'pəʊnənt]

скорочувати - contract ['kɒntrækt], reduce [rɪ'dju:s]

спадання - decrease [dɪ'kri:s]

спадати - decrease [dɪ'kri:s]

спонукати - determine [dɪ'tɜ:mɪn]

ставатися - occur [ə'kʊə(r)]

стан - condition [kən'diʃn]

стосовно - relatively ['relatɪvli]

структура - structure ['strʌktʃə(r)]

ступінь - power ['paʊə(r)]

стягувати (про дугу) - subtend [sʌb'tend]

сума - amount [ə'maʊnt]

суміжний - adjacent [ə'dʒeɪsənt], contiguous [kən'tɪɡjuəs]

сусідній - adjacent [ə'dʒeɪsənt]

сфера - domain [də'meɪn]

схожий - similar ['sɪmələ(r)]

## Т

таким чином - thus [ðʌs]

тангенс - tangent ['tændʒənt]

теорема - theorem ['θiərəm]

теоретичний - theoretical [θiə'retɪkəl]

теорія - theory ['θiəri]

тимчасовий - temporary ['tempərəri]

тому - therefore ['ðeəfɔ:(r)]

тому що - consequently ['kɒnsɪkwəntli]

точно - precisely [pri'saɪsli]

точність - accuracy ['ækjʊrəsi]

тригонометрія - trigonometry [ˌtrɪɡə'nɒmətri]

трикутник - triangle ['traɪæŋɡl]

## У

уважно розглядати - scan [skæn]

умова - condition [kən'dɪʃn]

упорядковувати - arrange [ə'reɪndʒ]

упорядкування - arrangement [ə'reɪndʒmənt]

утворювати - make [meɪk]

## Ф

фактично - virtually ['vɜ:tʃuəli]

феномен - phenomenon [fə'nɒmɪnən]

форма - shape [ʃeɪp]

фундамент - foundation [faʊn'deɪʃn]

функція - function ['fʌŋkʃn]

## Х

хорда - chord [kɔ:d]

## Ц

цифра - digit ['dɪdʒɪt], figure ['fɪgə(r)]

## Ч

частина - share [ʃeə(r)]

частка - share [ʃeə(r)]

частота - frequency ['fri:kwənsi]

чверть - quarter ['kwɔ:tə(r)]

число - number ['nʌmbə(r)]

числовий - numerical [nju:'merɪkəl]

числівник дробу - numerator ['nju:məreɪtər]

## Ш

шифр - cipher ['saɪfər]

шифрувати - cipher ['saɪfər]

## Щ

щодо - relatively ['relətɪvli]

## Я

явище - phenomenon [fə'nɒmɪnən]

якість - quality ['kwɒləti]

ячейка - cell [sel]

### 4.2 КОРОТКИЙ УА СЛОВНИК ОПЕРАЦІЇ «ДОДАВАННЯ»

величина, якої можна знехтувати - negligible ['neglɪdʒəbəl]

величина - quantity ['kwɒntəti]

додавати - add [æd]

доданок - addend [ə'dend], item ['aɪtəm]

дорівнювати, рівний - equal ['i:kwəl]

знак, ставити знак - sign [saɪn]

1. плюс - plus [plʌs]
2. додатна величина, додатній, позитивний - positive ['pɒzətɪv]
3. знак плюс - positive ['pɒzətɪv]
4. знак додавання - sign [saɪn]

зіставляти, робити - make [meɪk]

кількість - quantity ['kwɒntəti]

невідоме - unknown [ˌʌn'nəʊn]

незначний - negligible ['neglɪdʒəbəl]

підводити підсумок, підсумок, сумарний, ціле, цілий - total [təʊtəl]

підсумовувати - sum [sʌm]

рівність - equality [ɪ'kwɒləti]

символ - sign [saɪn], symbol [sɪmbəl]

сума - sum [sʌm], total [təʊtəl]

умовне позначення, умовний знак - symbol [sɪmbəl]

### 4.3 КОРОТКИЙ УА СЛОВНИК ОПЕРАЦІЇ «ВІДНІМАННЯ»

без - less [les], minus ['maɪnəs]

від - from [frəm]

віднімати - subtract [səb'trækt]

від'ємна величина, від'ємний, знак мінус - minus ['maɪnəs]

від'ємний - negative ['negətɪv]

1. мінус - less [les], minus ['maɪnəs], negative ['negətɪv]

2. від'ємний знак - negative ['negətɪv]

3. знак віднімання - sign [saɪn]

від'ємник - subtrahend [ˌsʌbtrə'hend]

за вирахуванням - less [les]

залишати - leave [li:v]

зменшуване - minuend [ˈmɪnjuend]

зменшувати - decrease [dɪ'kri:s]

зменшуватися - diminish [dɪ'mɪnɪʃ]

поміж - between [bi'twi:n]

різниця - difference ['dɪfrəns]

із - from [frəm]

#### 4.4 КОРОТКИЙ УА СЛОВНИК ОПЕРАЦІЇ «МНОЖЕННЯ»

множник; коефіцієнт, фактор - factor ['fæktə(r)]

множити - multiply ['mʌltɪplaɪ]

множене - multiplicand [mʌltɪplɪ'kænd]

множник - multiplier ['mʌltɪplaɪə]

× знак множення; при арифметичному множенні невеликих цілих чисел читається в більшості випадків як **times**

множення - multiplication [mʌltɪplɪ'keɪʃn]

один раз, однократно - once [wʌns]

двічі - twice [twais]

тричі - thrice [θraɪs]

добуток - product ['prɒdʌkt]

таблиця множення - table [teɪbl]

#### 4.5 КОРОТКИЙ УА СЛОВНИК ОПЕРАЦІЇ «ДІЛЕННЯ»

ділити; розділяти - divide [dɪ'vaɪd]

ділитися на - divided [dɪ'vaɪdɪd], over  
['əʊvə(r)]

ділене - dividend ['dɪvɪdend]

: (або /) знак ділення - division [di'viʒn]

дільник; дівізор - divisor [di'vaɪzər]

частка, відношення - quotient ['kwɒʃənt]

залишок, залишковий член; різниця - remainder [ri'meɪndər]

#### **4.6 КОРОТКИЙ УА СЛОВНИК ОПЕРАЦІЇ «ДРОБИ»**

кількісні чисельники - cardinal ['kɑ:dɪnəl]

десятковий - decimal ['desɪməl]

знаменник - denominator [di'nɒmɪneɪtər]

ціле число - integer ['ɪntɪdʒər]

чисельник - numerator ['nju:məreɪtər]

порядкові чисельники - ordinal ['ɔ:dɪnəl]

нуль (головним чином в математиці) - nought [nɔ:t]

нуль (головним чином на шкалах) - zero ['ziərəʊ]

#### **4.7 КОРОТКИЙ УА СЛОВНИК ОПЕРАЦІЇ «ЗВЕДЕННЯ У СТУПІНЬ»**

основа; рівень відліку; базисний, базовий - base[beɪs]

куб; корінь кубичний; зводити в куб - cube [kju:b]

різнична база - difference ['dɪfrəns]

парний - even ['i:vən]

показник, показник ступені, експонента - exponent [ɪk'spəʊnənt]

непарний - odd [ɒd]

ступінь; показник ступені - power ['paʊə(r)]

зводити у ступінь - raise [reɪz]

квадрат; корінь квадратний; зводити у квадрат - square [skweə(r)]



## РОЗДІЛ 5.АНГЛІЙСЬКІ СКОРОЧЕННЯ В ЗАГАЛЬНІЙ МАТЕМАТИЦІ (ЗВОРОТНИЙ УА СЛОВНИК)

### А

абсолютна похибка - AE [absolute error], Abs E [absolute error]  
абсолютний (про величину) - a [absolute], abs [absolute]  
абсциса - absc [abscissa]  
амплітуда - am [amplitude]  
аналіз - anal [analysis]  
арифметико-геометрична прогресія - AGP [arithmetic-geometrical progression]  
арифметична прогресія - AP [arithmetic progression]  
арифметичний вираз - AE [arithmetic expression]  
асиметрія - sk [skewness]  
асимптотичний - asymp [asymptotic]

### Б

багатокрокова максимізація - SM [stepwise maximization]  
базисне можливе рішення - BFS [basic feasible solution]  
без кінця - ad inf [ad infinitum]  
бесперервний - cont [continuous]  
бік - S [side]  
більш значущий - MS [more significant]

### В

величина - amt [amount]  
верхній - U [upper]  
вибір у випадковому порядку - SIRO [select in random order]  
вибіркове обстеження - SS [sample survey]  
виведене правило - DR [derived rule]  
визначення - def [definition]  
визначник - D [discriminator]  
виключення - elim [elimination]  
вимір - ob [observation]  
випадкова величина - RV [random variable]  
випадкова функція - RF [random function]  
випадковий процес - SP [stochastic process]  
випадковий розподіл точок - RPD [random point distribution]

виправлення - C [correction]  
виправлення помилки - EC [error correcting]  
висота - a [altitude], h [height]  
включно - inc [inclusively]  
власний - i [intrinsic]  
внесення поправки - EC [error correcting]  
внутрішній - i [intrinsic]  
внутрішність (множини) - int [interior]  
вправа - ex [exercise]  
відносно - WRT [with respect to]  
відповідно - resp [respectively]  
відповідь - ans [answer]  
відсоток - p ct [per cent]  
відстань - D [distance]  
від'ємний - neg [negative]  
вірно побудована формула - WFF [well-formed formula]

## Г

геометрична прогресія - GP [geometric progression]  
горизонтальний - hor [horizontal]  
градієнт - grad [gradient]  
границя - lim [limit]  
група - gr [group]  
гіпотеза - hyp [hypothesis]

## Д

дані - D [data]  
двійковий - D [double]  
десятькове число (десятьковий) - D [decimal]  
десятькове число у двійковому коді - BCD [binary-coded decimal]  
дискримінант - D [discriminator]  
дисперсійний аналіз - ANOVA(R), AOV [analysis of variance]  
дисперсія - VAR [variance]  
дисперсія обсяга виборки - VSN [variance of sample number]  
диференціальне рівняння - DE [differential equation]  
до нескінченності - ad inf [ad infinitum]  
довгочасність - TL [time length]  
доведений - pr [proven]  
довжина - L [length]

довірча межа - cl [confidence limit]  
довірчий рівень - cl [confidence level]  
довірчий інтервал - CI [confidence interval]  
допустима похибка - PE [permissible error]  
дослідження операцій - OA [operation analyses], OR [operations research]  
достатня умова - SC [sufficient condition]  
дубльований - D [double]  
дюжина - doz [dozen]  
діагональ - diag [diagonal]  
діаметр - D [diameter], diam [diameter]  
ділене - div [dividend]  
дільник - div [divisor]  
ділянка - dom [domain]

## Е

евклідова геометрія - EG [Euclidean geometry]  
експоненційна функція (експоненціальний) - ex [exponential]  
елемент (виборки) - U [unit]  
ефективність - eff [efficiency]

## З

з нижнім індексом - sub [subscript]  
за годинниковою стрілкою - ckw [clockwise]  
загальна сума - CS, cusum [cumulative sum]  
залишок - res [residue]  
замикання - cl [closure]  
замкнутий і відкритий - clopen [closed and open]  
звичайне диференціальне рівняння - ODE [ordinary differential equation]  
згідно ймовірності - IP [in probability]  
змінна (величина)(змінний) - VAR [variable]  
значущий - S [significant]  
зона - Z [zone]

## І

ймовірність правильного вибору - PCS [probability of correct selection]  
інтеграл ймовірності - erf [error function]  
інтенсивність - R [rate]  
ймовірна похибка - PE [probable error]

їмовірнісна межа - plim [probability limit]  
їмовірнісна міра - PM [probability measure]  
їмовірнісний автомат - PA [probabilistic automaton]  
їмовірність - P, pr, prob [probability]  
їмовірність переходу - trpr [transient probability]  
їмовірність успішного виходу - PS [probability of success]

## К

кардинальне число - card [cardinal]  
квадратичне перетворення - QT [quadratic transformation]  
коваріаційний аналіз - AOC [analysis of covariance]  
коваріація - cov [covariance]  
коефіцієнт кореляції - Cof C [coefficient of correlation]  
коефіцієнт - coeff [coefficient]  
коло - C [circumference]  
коректний - WF [well-formed]  
корекція - corr [correction]  
кореляція - corr [correlation]  
круговий - cir [circular]  
кут - a [angle]  
кількість - N, No, NR [number], Q [quantity], amt [amount]  
кількість рішень рівняння - NSE [number of solutions of equation]

## Л

логарифмічний опуклий - LC [log-convex]  
ліва частина - LHS [left-hand side]  
лінійна алгебра - LA [linear algebra]  
лінійна форма - LF [linear form]  
лінійне програмування - LP [linear programming] лінійний - lin [linear]

## М

майже напевно - AS [almost sure]  
майже скрізь - AE [almost everywhere]  
максимум - max [maximum]  
марковський - M [Markovian]  
марковський ланцюг - MC [Markov chain]  
математика - math [mathematics]  
математична система - MS [mathematical system]

математичне очікування - EV [expected value]  
математичне програмування - MP [mathematical programming]  
математичний - math [mathematical]  
матриця - mat [matrix]  
матриця розсіювання - SM [scatter matrix]  
медіана - med [median]  
межа (множини) - fr [frontier]  
межа - lim [limit]  
метод Монте-Карло - MC [Monte-Carlo (method)]  
множити - mpy [multiply]  
мультиплікативна система - MS [multiplicative system]

## Н

наближений - appr [approximate]  
найбільший спільний дільник - GCD [greatest common divisor]  
найменше спільне кратне - LCM [lowest common multiple]  
напівмарківський процес - SMP [semi-Markovian process]  
наїбільш імовірна оцінка - MPE [most probable estimate]  
невизначна величина - UQ [uncertain quantity]  
незалежні (випадкові величини) - GI [general independent]  
незначний - NS [not significant]  
необмежений - unl [unlimited]  
необхідна умова - NC [necessary condition]  
необхідна і достатня умова - NASC, NSC [necessary and sufficient condition]  
нижня довірча межа - LCB [lower confidence bound]  
нижня межа - LL [lower limit]  
нижній - L [lower]  
нижній індекс - sub [subscript]  
низька точність - LOAC [low accuracy]  
номер - N, No, NR [number]  
норма - N [norm]  
нормальний - N [normal]  
нормальний розподіл - ND [normal distribution]  
нормований - N [normalized]  
нуль - Z [zero]

## О

обертання - rot [rotation]  
область - Z [zone]

образ - im [image]  
обсяг - V [volume]  
обсяг виборки - SN [sample number]  
обсяг виборки - SS [sample size]  
обчислення висловлень - PC [propositional calculus]  
обчислення предикатів - PC [predicate calculus]  
об'єкт - ob [object]  
одиниця (одичний) - U [unit]  
однорідний марковський процес - HMP [homogeneous Markov process]  
окіл - nhood [neighbourhood]  
основа - [base]  
основна змінна - BV [basic variable]  
оцінка - est [estimate], eval [evaluation]

## П

паралельний перенос - tran [translation]  
перетворення Лапласа - LT [Laplace transform]  
перехідна функція розподілу - trdf [transition distribution function]  
периметр - P [perimeter]  
поверхня - S [surface], a [area]  
позитивно визначений - PD [positive definite]  
показник точності - AF [accuracy figure]  
поправка - corr [correction]  
поправочний коефіцієнт - CF [correction factor]  
порядок - ord [order]  
послідовний - seq [sequential]  
постіна (величина) - const [constant]  
похибка - E [error]  
права напівплощина - RHP [right half-plane]  
права сторона - RHS [right-hand side]  
правильний - WF [well-formed]  
при інших рівних умовах - OTE [other things equal]  
приблизний - appr [approximate]  
продовжений - cont [continuous]  
простий випадковий вибір - SRS [simple random sample]  
простір - sp [space]  
прямокутник - rect [rectangle]  
підсистема - SS [subsystem]

## Р

радикал - rad [radical]  
радіус - R [radius]  
результати спостережень - OD [observation data]  
розмах - R [range]  
розмірність - dim [dimension]  
розподіл Вейбула - WD [Weibull distribution]  
розподіл ймовірностей - PD [probability distribution]  
розподілені за довільним законом - GI [general independent]  
розрахунковий - est [estimated]  
розрахунок - anal [analysis]  
розширення - ext [extension]  
рівень - lev [level]  
рівний - eq [equal]  
рівномірна ймовірність - UP [uniform probability]  
рівняння - eq [equation]  
різниця - diff [difference]

## С

середнє відхилення - AD [average deviation], MD [mean deviation]  
середньо-квадратичне значення - MS [mean square], QM [quadratic mean]  
середньо-квадратична похибка - MSE [mean square error], SE [standard error]  
середньо-квадратичне відхилення - stddev [standard deviation], SD [standard deviation]  
середнє (середній) - ave/avg [average]  
середнє арифметичне - AA [arithmetic average], AM [arithmetic mean]  
середнє геометричне - GM [geometric mean]  
середній квадрат - MS [mean square]  
середній квадрат помилки - ASE [average squared error]  
середній об'єм виборки - ASN [average sample number]  
симплекс-метод - SM [simplex method]  
система рівнянь - SE [simultaneous equations]  
слід - sp [spur]  
спостереження - ob [observation]  
спільний найменший знаменник - LCD [lowest common denominator]  
стан - cond [condition]  
старший (про разряд) - MS [more significant]  
статистична обробка і аналіз - SPAN [statistical processing and analysis]  
статистично значущий - PS [probably]  
стаціонарна ймовірність - SSP [steady-state probability]  
стовпчик - col [column]

сторона - S [side]  
ступінь - deg [degree]  
сукупність - pop [population]  
сума - t [total]  
сума квадратів - S of S, SS [sum of squares]  
супремум - sup [supremum]

## **T**

теорема - thm [theorem]  
теорія інформації - IT [information theory]  
тоді, і тільки тоді, коли - iff [if and only if]  
точка - P, pt [point]  
тривалість - TL [time length]  
тригонометричний ряд - TS [trigonometric series]

## **У**

умова - cond [condition]  
умовна ймовірність - cpr [conditional probability]  
умовний - cond [conditional]  
успішний наслідок - suc [success]  
уявний - i, im [imaginary]

## **Ф**

функція - f [function]  
функція щільності - FF [frequency function]  
функція ймовірності - prf [probability function]  
функція розподілу (інтегральна) - CDF [cumulative distribution function]

## **X**

характер - char [character]  
характеристика - char [characteristic]  
характеристична функція - CF [characteristic function]

## **Ц**

циліндр - cyl [cylinder]



## Ч

чередування - alt [alternation]

число - N, No, NR [number]

## Ш

швидкість - R [rate]

шестикутник - hex [hexagon]

ширина/широта - w [width]

## Щ

що і треба було довести - QED [quod erat demonstrandum]

що і треба було знайти - QEI [quod erat inveniendum]

щільність розподілу - DD [distribution density], PDF [probability density function]

щільність ймовірності - PD [probability density], PDF [probability density function]

## РОЗДІЛ 6. УЧБОВИЙ УА СЛОВНИК З ТЕОРІЇ ЙМОВІРНОСТЕЙ <sup>x)</sup>

### А

абетка - alphabet ['ælfəbet]

абсолютна частота - absolute frequency ['æbsəlu:t 'fri:kwənsi]

абсолютне відхилення - absolute deviation ['æbsəlu:t 'di:vieit]

абсолютний момент - absolute moment ['æbsəlu:t 'məʊmənt]

абсолютний/безумовний розподіл ланцюга Маркова - absolute distribution of a Markov chain ['æbsəlu:t ,dɪstrɪ'bju:ʃn əv eɪ 'mɑ:rkəʊv tʃeɪn]

абсолютно неперервний розподіл - absolutely continuous distribution

['æbsəlu:tli kən'tɪnjuəs ,dɪstrɪ'bju:ʃn]

автоковаріаційна/коваріаційна функція - autocovariance function

[,ɔ:tə(ʊ)kə'veəriəns fʌŋkʃn]

автоковаріація - autocovariance [,ɔ:tə(ʊ)kə'veəriəns []]

автокореляційна/кореляційна функція - autocorrelation function

[,ɔ:tə(ʊ),kɔ:ri'leɪʃ(ə)n fʌŋkʃn]

автокореляція - autocorrelation

[,ɔ:tə(ʊ),kɔ:ri'leɪʃ(ə)n]

автомат - automaton [ɔ:'tɒmətən]

автомодельний - self-similar [self 'sɪmələ(r)]

автомодельний розподіл - self-similar distribution [self 'sɪmələ(r) ,dɪstrɪ'bju:ʃn]

автономний ймовірнісний автомат - autonomous probabilistic automaton

[ɔ:'tɒnəməs ,prɒbəbɪ'lɪstɪk ɔ:'tɒmətən]

авторегресія - autoregression [ˌɔ:tə'regrɛʃən]

адаптований/узгоджений випадковий процес - adapted random process

[ə'dæptɪd 'rændəm 'prəʊses]

адитивна модель - additive model ['ædɪtɪv mɒdl]

адитивна функція - additive function ['ædɪtɪv fʌŋkʃn]

адитивний

функціонал - additive functional ['ædɪtɪv 'fʌŋkʃənəl]

адитивний функціонал від марківського процесу - additive functional of a Markov process ['ædɪtɪv 'fʌŋkʃənəl əv ə 'mɑ:kɒv 'prəʊses]

аксіома - axiom ['æksiəm]

активна змінна - active variable ['æktɪv 'veəriəbəl]

активний експеримент - active experiment ['æktɪv ɪk'sperɪmənt]

алгебраїчне випадкове рівняння - algebraic random equation ['ældʒəbræɪk 'rændəm  
ɪ'kweɪzən]

алгоритм - algorithm ['ælgərɪðəm]

алфавіт - alphabet ['ælfəbet]

аналіз - analysis [ə'næləsis]

апостеріорна щільність - a posterior density [eɪ pɒs'tɪəriə 'densɪti]

апостеріорна ймовірність - a posterior probability [eɪ pɒs'tɪəriə ,prɒbə'bɪlɪti]

---

<sup>x)</sup> Словник складено за зворотним  
(дзеркальним) принципом щодо розділу 3

апостеріорне середнє - a posteriori mean

[eɪ pɒs'tɪəriəri mi:n]

апостеріорний – a posterior [eɪ pɒs'tɪəriə]

апостеріорний розподіл - a posteriori distribution [eɪ pɒs'tɪəriəri  
,dɪstrɪ'bju:ʃn], posterior distribution [pɒs'tɪəriər ,dɪstrɪ'bju:ʃn]

апроксимація - approximation [ə ,prɒksɪ'meɪʃən]

апріорна щільність - prior density ['praɪə(r) 'densɪti]

апріорна інформація - a priori information [1eɪ praɪ'ɔ:raɪ ,ɪnfə'meɪʃn],

prior information [ 'praɪə(r) ,ɪnfə'meɪʃn]

апріорна ймовірність - a priori probability [eɪ ,eɪpraɪ'ɔ:ri ,prɒbə'bɪlɪti]  
апріорний - prior ['praɪə(r)]

апріорний ризик - a priori risk [eɪ ,praɪ'ɔ:ri rɪsk]

апріорний розподіл - a priori distribution [eɪ ,praɪ'ɔ:ri ,dɪstrɪ'bju:ʃn],  
prior distribution ['praɪə(r) ,dɪstrɪ'bju:ʃn]

арифметика ймовірнісних розподілів - arithmetic of probability distributions  
[ə'riθmətɪk əv ,prɒbə'bɪlɪti ,dɪstrɪ'bju:ʃənz]

арифметична прогресія - arithmetic progression [ə'riθmətɪk prə'ɡresʃən]  
арифметична функція - arithmetic function [ə'riθmətɪk fʌŋkʃn]

арифметичне моделювання випадкових процесів - arithmetic simulation  
of random processes [ə'riθmətɪk ,sɪmjʊ'leɪʃən əv 'rændəm 'prəʊsesɪz]

арифметичне середнє - arithmetic mean  
[ə'riθmətɪk mi:n]

арифметичний - arithmetic [ə'riθmətɪk]

асиметричний - skew [skju:]

асиметрія - asymmetry [ ,eɪ'sɪmətri], skew [ skju:]

асиметрія розподілу - skewness of a distribution [skju:nes əv eɪ ,dɪstrɪ'bju:ʃn]  
асимптотична стійкість - asymptotic stability [ ,æsim'tɒtɪk stə'bɪlɪti]  
асимптотичний - asymptotic [ ,æsim'tɒtɪk]

асимптотично - asymptotically [ ,æsim'tɒtɪkəli]

атрибут (опис поля (field) в усіх екземплярах класу) - attribute ['ætrɪbjʊ:t]

## Б

багатовершинний/мультимодальний розподіл –  
multimodal distribution [ ,mʌlti'məʊdl ,dɪstrɪ'bju:ʃn]

багатоканальна/багатолінійна система обслуговування –  
multiserver/multichannel queueing system [ ,mʌlti'tʃenl 'kwuəɪŋ 'sɪstəm]

багатокаскадна система обслуговування –  
multicascade queueing system [ ,mʌltɪkes'keɪd 'kwuəɪŋ 'sɪstəm]

багатокомпонентне джерело (повідомлень) –

multicomponent source [ˌmʌltiˈkɒmpɒnənt sɔːs]

багатокомпонентний канал –

multiterminal channel [ˌmʌltiˈtɜːminəl tʃænl]

багатокутник - polygon [ˈpɒlɪɡɒn]

багатомірна унімодальність –

multivariate unimodality [ˌmʌltiˈveəriəit ˌjuːnimɒˈdeliti]

багатомірний – multivariate [ˌmʌltiˈveəriəit]

багатомірний дисперсійний аналіз –

multivariate analysis of variance [ˌmʌltiˈveəriəit əˈnæləsis əv ˈveəriəns]

багатопродуктовий потік - multicommodity flow [ˌmʌltikəˈmɒdəti fləʊ]

багатосторонній канал - multiway channel [ˌmʌltiˈwei tʃænl]

базис - basis [ˈbeɪsɪs]

безмежно подільний - infinitely divisible [ˈɪnfɪnətli dɪˈvɪzɪbl]

безмірна множина - nonmeasurable set [nɒnˈmezərəbl set]

безумовна ймовірність - absolute/unconditional probability

[ˈæbsəluːt ˌʌnkənˈdɪʃənəl ˌprɒbəˈbɪlɪti]

безумовний - unconditional [ˌʌnkənˈdɪʃənəl]

безумовний розподіл - unconditional distribution [ˌʌnkənˈdɪʃənəl ˌdɪstrɪˈbjʊːʃn]

бейєсовська вирішуюча функція - Bayes decision function [beɪs dɪˈsɪʒn fʌŋkʃn]

бейєсовська оцінка - Bayes estimator [beɪs estɪˈmeɪtər]

бейєсовське вирішуюче правило - Bayes decision rule [beɪs dɪˈsɪʒn ruːl]

бейєсовський/байєсовський - Bayes/Bayesian [beɪs/ˈbeɪsiən]

бейєсовський підхід - Bayes approach [beɪs əˈprəʊtʃ]

бернуллівська випадкова величина - Bernoulli random variable

[bəˈnʊli ˈrændəm ˈveəriəbl]

бета-розподіл - beta-distribution [ˈbiːtə ˌdɪstrɪˈbjʊːʃn]

бета-функція - beta function [ˈbiːtə fʌŋkʃn]

блок-схема - block-diagram [blɒk ˈdaɪəgrəm]

блукання - walk [wɔ:k]

Булева модель - Boolean model [bʊ'liən mɒdl]

білий шум - white noise [waɪt nɔɪz]

бінарна послідовність (рядок) - bit string [bɪt strɪŋ]

бінарне відношення - binary relation ['baɪnəri rɪ'leɪʃn]

бінарний пошук - binary search ['baɪnəri sɜ:tʃ]

біном - [baɪ'nɒm]

біноміальний - binomial [baɪ'nɒmɪəl]

бімодальний/ двовершинний розподіл - bimodal double-sided distribution

[baɪ'mɒdəl/,dʌbl'saɪdɪd ,dɪstrɪ'bju:ʃn]

## **В**

вага - weight [weɪt]

вагова матриця - weight matrix

[weɪt 'meɪtrɪks]

вагова функція - weight function

[weɪt fʌŋkʃn]

варіація - variation [ ,veəri'eɪʃn]

вектор - vector ['vektər]

величина - value ['vælju:]

верхня довірна межа - upper confidence bound/limit

['ʌpə(r) 'kɒnfɪdəns baʊnd/'lɪmɪt]

верхній - upper ['ʌpə(r)]

вершина – vertex pl vertices ['vɜ:teks]

взаємний - mutual ['mju:tʃuəl]

взаємна незалежність - mutual independence ['mju:tʃuəl ɪndɪ'pendəns]

взаємодія - interaction [ ,ɪntə'rækʃən]

вибірка (вибіркова процедура) – sampling

['sɑ:mplɪŋ]

вибірка/вибірковий - sample [sɑ:mpl]

вибіркова дисперсія - sample variance [sɑ:mpl 'veəriəns]

вибіркова кватиль - sample quartile [sɑ:mpl 'kwa:tɪl]

вибіркова одиниця - sample unit [sɑ:mpl 'ju:nɪt]

вибіркова перевірка - sampling inspection ['sɑ:mpɫɪŋ ɪn'spekʃən]

вибіркове обстеження - sample survey [sɑ:mpl 'sɜ:veɪ], survey sampling  
[ 'sɜ:veɪ 'sɑ:mpɫɪŋ]

вибіркові головні компоненти - sample principal components  
[sɑ:mpl 'prɪnsɪpəl kəm'pəʊnənts]

вивчення - analysis [ə'næləsis]

визначальна ознака - attribute ['ætrɪbjʊ:t]

визначник - determinant [dɪ'tɜ:mɪnənt]

вимірювальна група - measurable group ['meʒərəbɫ gru:p]

вимірювальна множина - measurable set ['meʒərəbɫ set]

вимірювальна функція - measurable function ['meʒərəbɫ fʌŋkʃn]

вимірювальне відображення - measurable mapping ['meʒərəbɫ'mæpɪŋ]

вимірювальне розбиття - measurable partition ['meʒərəbɫ pɑ:'tɪʃən]

вимірювальний - measurable ['meʒərəbɫ]

вимірювальний потік - measurable flow ['meʒərəbɫ fləʊ]

вимірювальний простір - measurable space ['meʒərəbɫ speɪs]

випадкова величина - random variable ['rændəm 'veəriəbɫ]

випадкова вибірка - random sample ['rændəm sɑ:mpl]

випадкова підстановка - random substitution  
[ 'rændəm ,sʌbstɪ'tju:ʃən]

випадкове відображення – random mapping ['rændəm 'mæpɪŋ]

випадкове поле - random field ['rændəm fi:ld]

випадковий - random ['rændəm], stochastic [stə'kæstɪk]

випадковий елемент - random element ['rændəm 'elɪmənt]

випадковий процес із дискретним часом - discrete time random process  
[dɪ'skri:t taɪm 'rændəm 'prəʊses]

випадкові величини - exchangeable random variables  
[ɪks'tʃeɪndʒəbɫ 'rændəm 'veəriəbɫz]

виправлення - correction [kə'rekʃən]  
випробування - testing ['testɪŋ], trial ['traɪəl]  
виродження - extinction [ɪk'stɪŋkʃən]

виродження розгалуженого процесу - extinction of a branching process  
[ɪk'stɪŋkʃən əv eɪ 'brɑ:ntʃɪŋ 'prəʊses]

вирішальне правило - decision rule [dɪ'sɪʒn ru:l]  
вирішальний - decision [dɪ'sɪʒn]

вихід - exit ['eksɪt]

вихідний сигнал - output signal ['aʊtpʊt 'sɪgnəl]

виявлення несправностей - diagnostics [ˌdaɪəg'nɒstɪks]  
власний розподіл - proper distribution ['prɒpə(r) ,dɪstrɪ'bju:ʃn]  
властивість - attribute ['ætrɪbjʊ:t]

вплив - influence ['ɪnfluəns]

впорядкованість – order ['ɔ:də(r)]

впорядкування - ordering ['ɔ:dərɪŋ]

втрата інформації - loss of information [lɒs əv ,ɪnfə'meɪʃn]

втрати - loss [lɒs]

вхід - input ['ɪnpʊt]

вхідний потік - input stream ['ɪnpʊt stri:m]

вхідний потік - arrival stream [ə'raɪvl stri:m], input flow ['ɪnpʊt fləʊ]

вхідний потік Пальма - Palm input [pɑ:m 'ɪnpʊt]

вхідний сигнал - input signal ['ɪnpʊt 'sɪgnəl]

вхідний потік з обмеженою післядією - recurrent input [rɪ'kʌrənt 'ɪnpʊt]

відгук - response [rɪ'spɒns]

відмова - failure ['feɪljə(r)]

відновлення - renewal [rɪ'nju: əl]

відновлювана система - repairable system [rɪ'reəɪəbl 'sɪstəm]

відносний - relative ['relətɪv]

відносно компактна множина - relatively compact set ['relətɪvli kəm'pækt set]

відношення - relation [rɪ'leɪʃn]



відображення - mapping ['mæpɪŋ]

відстань - distance ['dɪstəns]

відсутність післядії - lack of aftereffect [læk əv 'æftəri, fekt]

відсіювання - screening ['skri:nɪŋ]

відхилення - deviation ['di:vieɪʃn]

від'ємна кореляція - negative correlation ['negətɪv ,kɒrə'leɪʃən]

від'ємний - negative ['negətɪv]

від'ємний біноміальний розподіл - negative binomial distribution  
[ 'negətɪv baɪ'nəʊmɪəl ,dɪstrɪ'bju:ʃn]

від'ємний гіпергеометричний розподіл - negative hypergeometric distribution  
[ 'negətɪv ,haɪpədʒio'metɪk ,dɪstrɪ'bju:ʃn]

від'ємний поліноміальний розподіл - negative multinomial distribution  
[ 'negətɪv ,mʌltɪ'nəʊmɪəl ,dɪstrɪ'bju:ʃn]

від'ємно визначена функція - negative definite function [ 'negətɪv 'defɪnɪt flŋkʃn]

вікно - window ['wɪndəʊ]

вікно даних - taper ['teɪpə(r)]

## Г

гама-розподіл - gamma distribution [ 'gæmə ,dɪstrɪ'bju:ʃn]

гама-функція - gamma function [ 'gæmə flŋkʃn]

гармонізована кореляційна функція - harmonizable correlation function

[hɑ:'mɒnɪzəbl ,kɒrə'leɪʃən flŋkʃn]

гармонізований - harmonizable [ ,hɑ:'mɒnɪzəbl]

гармонізоване випадкове поле - harmonizable random field

[hɑ:'mɒnɪzəbl 'rændəm fi:ld]

гармонізований випадковий процес - harmonizable random process

[hɑ:'mɒnɪzəbl 'rændəm 'prəʊses]

гармонічна функція - harmonic function [hɑ:'mɒnɪk flŋkʃn]

гармонічна інтерполяція - harmonic interpolation [hɑ:'mɒnɪk ,ɪntz:pə'leɪʃn]  
гармонічне усереднення - harmonic averaging [hɑ:'mɒnɪk 'ævərɪdʒɪŋ]  
гаусівський випадковий елемент - Gaussian random element  
[ˈɡaʊsiən 'rændəm 'elɪmənt]

генеральна сукупність - general population [ˈdʒenrəl ,pɒpjʊ'leɪʃn]  
генератор - generator [ˈdʒenəreɪtə(r)]

генетика - genetics [dʒə'netɪks]

геометричний - geometric [ˌdʒi:ə'metrɪk]

геометричний граф - geometric graph [ˌdʒi:ə'metrɪk grɑ:f]

геометричний процес - geometric process [ˌdʒi:ə'metrɪk 'prəʊses]

геометричний розподіл - geometric distribution [ˌdʒi:ə'metrɪk ,dɪstrɪ'bju:ʃn]

гладкість - smoothness ['smu:ðnəs]

головна компонента - principal component  
[ˈprɪnsɪpəl kəm'pəʊnənt]

головний - principal [ˈprɪnsɪpəl]

головний ефект фактора - main effect of a factor  
[meɪn ɪ'fekt əv eɪ 'fæktə(r)]

голосування (аналог) - voting ['vəʊtɪŋ]

голосування - vorticity [vɔ'tɪsɪtɪ]

гральний кубік - dice [daɪs]

грамонічний - harmonic [hɑ:'mɒnɪk]

границя - bound [baʊnd], limit [ˈlɪmɪt]

гранична теорема - limit theorem [ˈlɪmɪt 'θɪərəm]

граничний - limit [ˈlɪmɪt]

граничний розподіл - limit distribution [ˈlɪmɪt ,dɪstrɪ'bju:ʃn]

граф - graph [grɑ:f]

граф простих відстаней - prime distance graph [praɪm 'dɪstəns grɑ:f]

граф зі зваженими вузлами - node-weighted graph [nɒd 'weɪtɪd grɑ:f]

графічне відображення даних - graphical representation of data  
[ˈgræfɪkl ,reprɪzen'teɪʃən əv 'deɪtə]

гіперболічна функція - hyperbolic function [ˌhaɪpɜ:'bɒlɪk fʌŋkʃn]

гіпергеометричний розподіл - hypergeometric distribution

[ˈhaɪpɜː ,dʒiːəˈmetrɪk ,dɪstrɪˈbjuːʃn]

гіпергеометричний ряд - hypergeometric series

[ˈhaɪpɜː ,dʒiːəˈmetrɪk ˈsɪəriːz]

гіперграф - hypergraph [ˈhaɪpɜː grɑːf]

гіпергрупа - hypergroup [ˈhaɪpɜː gruːp]

гіпоморфізм - isomorphism [ˈhaɪpɜːmɔːfɪzəm]

гіпотеза – hypothesis pl hypotheses [haɪˈpɒθəsis]

гістограма - histogram [ˈhɪstəgræm]

## Д

дані - data [ˈdeɪtə]

датчик/генератор випадкових чисел - generator of random numbers

[ˈdʒenəreɪtər əv ˈrændəm ˈnʌmbəz]

двобічний - two-sided [tuː ˈsaɪdɪd]

двобічна гіпотеза - two-sided hypothesis [tuː ˈsaɪdɪd haɪˈpɒθəsis]

двобічний довірчий інтервал - two-sided confidence interval

[tuː ˈsaɪdɪd ˈkɒnfɪdəns ˈɪntəvl]

двобічний критерій Стюдента - two-sided Student test

[tuː ˈsaɪdɪd stjuːdnt test]

двовибірковий - two-sample [tuː ˈsɑːmpl]

двовимірний нормальний розподіл - bivariate normal distribution

[baɪˈveəriət nɔːml ,dɪstrɪˈbjuːʃn]

двовимірний розподіл - bivariate distribution [baɪˈveəriət ,dɪstrɪˈbjuːʃn]

двозв'язний граф - biconnected graph [,baɪkəˈnektɪd grɑːf]

двонаправний граф - bidirected graph [,baɪdɪˈrektɪd grɑːf]

двосторонній довірчий інтервал - two-sided confidence interval

[tuː ˈsaɪdɪd ˈkɒnfɪdəns ˈɪntəvl]

двосторонній показниковий розподіл - double exponential distribution

[dʌbl ˌekspəˈnenʃəl ,dɪstrɪˈbjuːʃn]

двоступінчастий вибір - two-stage sampling

[tu: steɪdʒ 'sɑ:mpəlɪŋ]

двофакторна модель - two-way model ['tu:weɪ 'mɒdl]

двоїстий - dual ['dju:əl]

двоїстий марковський процес - dual Markov process ['dju:əl 'mɑ:kəv prəʊses]

дерево - tree [tri:]

дерево відмов - fault tree [fɔ:lt tri:]

детермінант - determinant [dɪ'tɜ:mɪnənt]

детермінований - deterministic [dɪ'tɜ:mɪ'nɪstɪk]

джерело (повідомлень) - source [sɔ:s]

джерело повідомлення - message source ['mesɪdʒ sɔ:s]

джерело повідомлень без пам'яті - memoryless message source

['meməriles 'mesɪdʒ sɔ:s]

динамічне програмування - dynamic programming [daɪ'næmɪk 'prəʊgræmɪŋ]

дискретна (перервна) випадкова величина - discrete random variable

[dɪ'skri:t 'rændəm 'veəriəbl]

дискретна міра - discrete measure [dɪ'skri:t 'meʒə(r)]

дискретна функція розподілу - discrete distribution function

[dɪ'skri:t ,dɪstrɪ'bju:ʃn flŋkʃn]

дискретний - discrete [dɪ'skri:t]

дискретне перетворення Фур'є - discrete Fourier transform

[dɪ'skri:t 'fuəri'eɪ ,træns'fɔ:m]

дискретний розподіл - discrete distribution [dɪ'skri:t ,dɪstrɪ'bju:ʃn]

дискримінант - discriminant [dɪs'krɪmɪnənt]

дискримінантна модель - discriminant model

[dɪs'krɪmɪnənt mɒdl]

дискримінантна функція - discriminant function

[dɪs'krɪmɪnənt flŋkʃn]

дискримінантний аналіз - discriminant analysis

[dɪs'krɪmɪnənt ə'næləsis]

дисперсійний аналіз - analysis of variance [ə'næləsis əv 'veəriəns]

дисперсія - variance ['veəriəns]

дисципліна "останнім прийшов-першим обслуговується" - last-in-first-out

[la:st in fə:st aʊt]

дисципліна "першим прийшов - first-in-first-out

[fə:st in fə:st aʊt]

дисципліна обслуговування - queueing discipline

['kju:əiŋ 'disəplɪn]

диференціал - differential [ˌdɪfə'renʃəl]

диференційний - differential [ˌdɪfə'renʃəl]

диференціювання - differentiation [ˌdɪfə'renʃi'eɪʃən]

добуток - product ['prɒdʌkt]

добуток вимірних просторів - product of measurable spaces

['prɒdʌkt əv 'meʒərəbəl 'speɪsɪz]

добуток ймовірнісних просторів - product of probability spaces

['prɒdʌkt əv ˌprɒbə'bɪləti speɪsɪz]

довідкова множина - reference set ['refrəns set]

довіра - confidence ['kɒnfɪdəns]

довірча межа - confidence bound ['kɒnfɪdəns baʊnd]

довірча ймовірність - confidence probability ['kɒnfɪdəns prɒbə'bɪləti]

довірчий - confidence ['kɒnfɪdəns]

довірчий інтервал - confidence interval ['kɒnfɪdəns 'ɪntəvl]

додатна кореляція - positive correlation ['pɒzətɪv ˌkɒrə'leɪʃən]

додатньо визначена функція - positive definite function ['pɒzətɪv 'defɪnət flŋkʃn]

додатній - positive ['pɒzətɪv]

додатній стан - positive state ['pɒzətɪv steɪt]

докритичний розгалужений процес - subcritical branching process

[ˌsʌb'krɪtɪkəl brɑ:ntʃɪŋ 'prəʊses]

домінуючий - dominating ['dɒmɪneɪtɪŋ]

доповнення до події - complement of an event

[ˈkɒmplɪmənt əv ən ɪˈvent]

допоміжна статистика - auxiliary statistic [ɔːgˈzɪliəri stəˈtɪstɪk]

допустима оцінка - admissible estimator [ədˈmɪsɪbəlˈestɪmeɪtə(r)]

досконалий - perfect [ˈpɜːfɪkt]

досконалий граф - perfect graph [ˈpɜːfɪkt grɑːf]

досконалий імовірнісний простір - perfect probability space

[ˈpɜːfɪkt ˌprɒbəˈbɪləti speɪs]

дослід - experiment [ɪkˈsperɪmənt]

дослідження - analysis [əˈnæləsis]

дослідження операцій - operation research [ˌɒpəreɪʃən rɪˈsɜːtʃ]

достатній - sufficient [səˈfɪʃnt]

достатня оцінка - sufficient estimator [səˈfɪʃnt ˈestɪmeɪtə(r)]

достатня статистика - sufficient statistic [səˈfɪʃnt stəˈtɪstɪk]

достатня топологія - sufficient topology [səˈfɪʃnt təˈpɒlədʒi]

достатність - sufficiency [səˈfɪʃənsi]

достовірне подія - certain event

[ˈsɜːtn ɪˈvent]

достовірність - certainty [ˈsɜːtənti]

досяжний стан - reachable state [ˈriːtʃəbl steɪt]

дріб - fraction [ˈfrækʃən]

діагноз - diagnosis [ˌdaɪəgˈnəʊsɪs]

діагностика - diagnostics [ˌdaɪəgˈnɒstɪks]

діаграма - diagram [ˈdaɪəgræm]

діаграма Венна - Venn diagram [ven ˈdaɪəgræm]

діаграма впливу - influence diagram [ˈɪnfluəns ˈdaɪəgræm]

ділянка - region [ˈriːdʒən]

## **E**

евристичний алгоритм - heuristic algorithm [hjuˈrɪstɪk ˈælgərɪðəm]

еквівалентний - equivalent [ɪ'kwɪvələnt]

експеримент - experiment [ɪk'spɛrɪmənt]

експонента - exponent [ɪk'spɒnənt], exponential [ˌɛkspə'neɪʃəl]

експоненційне сімейство - exponential family [ˌɛkspə'neɪʃəl 'fæməli]

експоненційний - exponential [ˌɛkspə'neɪʃəl]

екстраполяція - extrapolation [ɪk'stræpələɪʃn]

екстраполяція/прогнозування випадкового процесу - extrapolation of a random process [ɪk'stræpələɪʃn əv eɪ 'rændəm 'prəʊses]

екстремальна задача - extremal problem [ɪk'stri:ml 'prɒbləm]

екстремальна статистична задача - extremal statistical problem

[ɪk'stri:ml stətɪstɪkəl 'prɒbləm]

екстремальний - extremal [ɪk'stri:ml]

ексцес - excess [ɪk'ses]

елемент - element [ˈelɪmənt]

елементарна множина - elementary set [ˌelɪ'mentəri set]

елементарна міра - elementary measure [ˌelɪ'mentəri 'meɪʒə(r)]

елементарна подія - elementary event [ˌelɪ'mentəri ɪ'vent]

елементарна ймовірність - elementary probability [ˌelɪ'mentəri ,prɒbə'bɪlɪti]

елементарний - elementary [ˌelɪ'mentəri]

емпірична функція розподілу - empirical distribution function

[ɪm'pɪrɪkəl ,dɪstrɪ'bju:ʃn flŋkʃn]

емпіричний - empirical [ɪm'pɪrɪkəl]

емпіричний бейсовський підхід - empirical Bayes approach

[ɪm'pɪrɪkəl 'beɪs ə'prəʊtʃ]

ентропія - entropy [ˈentrəpi]

ентропія Шеннона - Shannon entropy

[ˈʃænən 'entrəpi]

ергодичний - ergodic [e'gɒdɪk]

ергодичність - ergodicity [eɪgə'dɪsɪti]

ефективна оцінка - efficient estimator [ɪ'fɪʃnt 'estɪmeɪtə(r)]

ефективний - efficient [ɪ'fɪʃnt]

ефективність - efficiency [ɪ'fɪʃənsi]

## Є

єдиність - uniqueness [ju:'ni:kənəs]

## З

з'єднання графів - join of graphs [dʒɔɪn əv grɑ:fs]

забруднена вибірка - contaminated sample

[kən'tæmɪneɪtɪd 'sɑ:mpl]

Заважаючий параметр - nuisance parameter ['nju:səns pə'ræmɪtər]

задача - problem ['prɒbləm]

задача з однією вибіркою - one-sample problem [wʌn sɑ:mpl 'prɒbləm]

задача про найкоротший шлях - shortest-path problem [ˈʃɔ:təst pɑ:θ 'prɒbləm]

задача про подвійний вибір - double selection problem ['dʌbl sɪ'lekʃn 'prɒbləm]

задача про найкращий вибір - best choice problem [best tʃɔɪs 'prɒbləm]

задача про ранжування - arrangement problem [ə'reɪndʒmənt 'prɒbləm]

закон - law [lɔ:]

закон розподілу - distribution law [ˌdɪstrɪ'bju:ʃn lɔ:]

закінчений - complete [kəm'pli:t]

залежний - dependent [dɪ'pendənt]

залежні випадкові величини - dependent random variables

[dɪ'pendənt 'rændəm 'veəriəb|z]

залежні події - dependent events [dɪ'pendənt i'vents]

залежність - dependence [dɪ'pendəns]

залишкова дисперсія - residual variance [rɪ'zɪdʒuəl 'veəriəns]

залишкова подія - residual event [rɪ'zɪdʒuəl ɪ'vent]

залишковий - residual [rɪ'zɪdʒuəl]

залишок - residual [rɪ'zɪdʒuəl]



заперечення - negation [nɪ'geɪʃn]

запис - record ['rekɔ:d]

запізнiла змінна - lagged variable  
[lægd 'veəriəbl]

затримка - lag [læg]

затримка /запізнювання - delay [di'leɪ]

збіжна послiдовнiсть - convergent sequence [kən'vɜ:dʒənt 'si:kwəns]

збіжний - convergent [kən'vɜ:dʒənt]

збіжний ряд - convergent series

[kən'vɜ:dʒənt 'siəri:z]

збіжнiсть - convergence [kən'vɜ:dʒəns]

зважене середнє - weighted mean ['weɪtɪd mi:n]

зважений - weighted ['weɪtɪd]

зважування - weighing/weighting [weiɪŋ/weɪtɪŋ]

звернення - inversion [ɪn'vɜ:ʒən]

зворотний - inverse [ɪn'vɜ:s]

зворотний вибiр - inverse sampling

[ɪn'vɜ:s 'sɑ:mplɪŋ]

зворотнiй - backward ['bækwəd]

звуження - restriction [rɪ'strɪkʃn]

зв'язний граф - connected graph [kə'nektɪd grɑ:f]

зв'язок - constraint [kən'streɪnt]

згладжування - smoothing ['smu:ðɪŋ]

згладжування часових рядiв - tapering of time series

['teɪpərɪŋ əv taɪm 'siəri:z]

згладжуючий розподiл - smoothing distribution ['smu:ðɪŋ ,dɪstrɪ'bju:ʃn]

згортка - convolution [ˌkɒnvə'lʊ:ʃən]

здатнiсть до розбиття - partitionability [pɑ:'tɪʃən ə'bɪləti]

змiнна - variable ['veəriəbl]

змінний - variable ['veəriəb]

змішаний - mixed [mɪkst]

знаковий орграф - signed digraph

[saɪnd 'daɪəgrɑ:f]

значення - value ['væljʊ:]

значущість - significance [sɪg'nɪfɪkəns]

зниклі дані - missing data ['mɪsɪŋ 'deɪtə]

зона - region ['ri:dʒən]

зрошувати - splice [splaɪs]

зрізана випадкова величина - truncated random variable

[trʌŋ'keɪtɪd 'rændəm 'veəriəb]

зрізане середнє - trimmed mean

[trɪmd mi:n]

зрізаний - truncated [trʌŋ'keɪtɪd]

зрізаний розподіл - truncated distribution [trʌŋ'keɪtɪd ,dɪstrɪ'bju:ʃn]

зрізання - truncation [trʌŋ'keɪʃn]

зсув - bias ['baɪəs], shift [ʃɪft]

зсув Маркова - Markov shift ['mɑ:kɒv ʃɪft]

зсув оцінки - bias of an estimator ['baɪəs əv ən 'estɪmeɪtə(r)]

## I

ідентифікований параметр - identifiable parameter

[aɪ'dentɪfaɪəb]l pə'ræmɪtə(r)]

ідентифікованість(параметрів) - identifiability [aɪ'dentɪfaɪ'əbɪlɪtɪ]

ізоморфізм - isomorphism [aɪsə'mɔ:fɪzəm]

імпульсний випадковий процес - pulse random process [pʌls 'rændəm 'prəʊses]

імітація випадкового явища - simulation of a random phenomenon

[,sɪmjʊ'leɪʃən əv eɪ 'rændəm fə'nɒmɪnən]

інваріант - invariant [ɪn'veəriənt]

інваріантний - invariant [ɪn'veəriənt]

інваріантність - invariance [ɪn'veəriəns]

інверсія - inversion [ɪn'veɜ:ʒən]

індекс - index pl indices ['ɪndeks pl 'ɪndɪsɪ:z]

індекс розподілу - index of a distribution ['ɪndeks əv eɪ dɪstrɪ'bju:ʃn]

індикатор - indicator ['ɪndɪkeɪtər]

індикатор події - indicator of an event ['ɪndɪkeɪtər əv ən ɪ'vent]

інтегрованість - integrability [,ɪntegrə'bɪlɪtɪ]

інтегрування - integration ['ɪntɪgreɪʃn]

інтенсивність - intensity [ɪn'tensɪtɪ], rate [reɪt]

інтенсивність виходу - exit rate ['eksɪt reɪt]

інтервал - interval ['ɪntəvl]

інтервальна оцінка - interval estimator ['ɪntəvl 'estɪmeɪtər]

інтервальне / довірче оцінювання - interval estimation

['ɪntəvl ,estɪ'meɪʃən]

інтерполяція - interpolation [ɪn'tɜ:pəleɪʃən]

інформаційний коефіцієнт кореляції - informational correlation coefficient

[ɪnfə'meɪʃənəl ,kɒrə'leɪʃən ,kəʊɪ'fɪʃənt]

інформація Шеннона - Shannon information

[ˈʃænən ,ɪnfə'meɪʃən]

ітерація - iteration [ɪ'teɪ'reɪʃən]

ієрархічна модель - hierarchical model

['haɪərə:kɪkəl mɒdl]

ієрархія - hierarchy ['haɪərə:kɪ]

## İ

імовірне / середнє відхилення - semi-interquartile range

[ˈsemi ,ɪntə'kwɑ:tɪl reɪndʒ]

імовірно/серединне відхилення - probable error ['prɒbəbl 'erə(r)]

імовірнісна твірна функція - probability generating function

[,prɒbə'bɪlɪti 'dʒenəreɪtɪŋ flŋkʃn]

імовірнісний - probabilistic [,prɒbəbɪ'lɪstɪk]

імовірність - probability [,prɒbə'bɪlɪti]

імовірність виродження (розгалуженого процесу) - extinction probability

[ɪk'stɪŋkʃən ,prɒbə'bɪlɪti]

## К

канал без пам'яті - memoryless channel ['memərɪles tʃænl]

канал без упередження - nonanticipating channel [,nɒnæn'tɪsɪpeɪtɪŋ tʃænl]

канонічний - canonical [kə'nɒnɪkəl]

квадрат - square [skweə(r)]

квадратична форма - quadratic form

[kwə'drætɪk fɔ:m]

квадратичний - quadratic [kwə'drætɪk]

квадратний - square [skweə(r)]

квазігладкий марковський процес - quasi-smooth Markov process

[ˈkweɪzɪ smu:ð 'mɑ:kɒv 'prəʊses]

квазімарковське наближення - quasi-Markovian approximation

[ˈkweɪzɪ mɑ:'kɒvɪən ə ,prɒksɪ'meɪʃən]

квазісиметричний розподіл - quasi-symmetric distribution

[ˈkweɪzɪ si'metrɪk ,dɪstrɪ'bju:ʃn]

квантовий - quantum ['kwɒntəm]

квантування - quantization [kwɒntɪ'zeɪʃn]

квартиль - quartile ['kwa:tɪl]

керований - controlled [kən'trəʊld]

керований випадковий процес - controlled random process

[kən'trəʊld 'rændəm 'prəʊses]

керований ланцюг Маркова - controlled Markov chain [kən'trəuld 'mɑ:kɒf tʃeɪn]  
керований марковський процес - controlled Markov process

[kən'trəuld 'mɑ:kɒv 'prəʊses]

керований марковський стрибкоподібний процес - controlled Markov jump process  
[kən'trəuld 'mɑ:kɒv dʒʌmp 'prəʊses]

керований стрибкоподібний процес - controlled jump process

[kən'trəuld dʒʌmp 'prəʊses]

керований випадковий процес із дискретним/неперервним часом –  
controlled discrete/continuous time random process

[kən'trəuld dɪ'skri:t ,kən'tɪnjuəs taɪm 'rændəm 'prəʊses]

класичне визначення ймовірності - classical definition of probability

['klæsɪkəl ,defɪ'nɪʃn əv ,prɒbə'bɪlɪti]

кластер - cluster ['klʌstər]

кластер-аналіз - cluster analysis ['klʌstər ə'næləsis]

кластер-процедура - cluster-procedure ['klʌstər prə'si:dʒə(r)]

кластерна модель - cluster model ['klʌstər mɒdl]

коваріація - covariance [kəʊ've(ə)riəns]

ковзаючи взважені середні - moving weighted averages

['mu:vɪŋ 'weɪtɪd 'ævərɪdʒɪz]

ковзне середнє -moving average ['mu:vɪŋ 'ævərɪdʒ]

коефіцієнт - coefficient [ ,kəʊɪ'fɪʃənt]

коефіцієнт внутрішньогрупової кореляції - intraclass correlation coefficient  
['ɪntrəʊ'kla:s ,kɒrə'leɪʃən ,kəʊɪ'fɪʃənt]

коефіцієнт конкордації/узгодженості - concordance coefficient

[kən'kɔ:dəns ,kəʊɪ'fɪʃənt]

колмогорівська аксіоматика теорії ймовірностей - Kolmogorov's axiomatics of the  
probability theory

[kɒlmɒ'gɒrɒvz ,æksɪə'mætɪk əv ðə ,prɒbə'bɪlɪti 'θiəri]

комбінація - combination [ ,kɒmbɪ'neɪʃn]

комплекс - complex ['kɒmpleks]

комплексна нормальна випадкова величина - complex normal variable  
 ['kɒmpleks 'nɔ:ml 'rændəm 'veəriəbl]

комплексний - complex ['kɒmpleks]

комплексний гауссівський процес - complex Gaussian process  
 ['kɒmpleks 'gausiən 'prəuses]

композиція - composition [ˌkɒmpə'ziʃən]

композиція розподілів - composition of distributions  
 [ˌkɒmpə'ziʃən əv ˌdɪstrɪ'bju:ʃənz]

компоненти дисперсії - variance components  
 ['veəriəns kəm'pəʊnənts]

компонентний аналіз - component analysis [kəm'pəʊnənt ə'næləsis]

комп'ютерне моделювання - computer simulation [kəm'pjʊ:tə(r) ˌsɪmjʊ'leɪʃən]

контроль - control [kən'trəʊl], inspection [ɪn'spekʃən]

контроль якості - quality control ['kwɒləti kən'trəʊl]

корельовані величини - correlated variables  
 ['kɒrələtid 'veəriəblz]

кореляція - correlation [ˌkɒrə'leɪʃən]

кореневе відображення - rooted map  
 ['ru:tɪd mæp]

кореневий - rooted ['ru:tɪd]

кореневий граф - rooted graph ['ru:tɪd grɑ:f]

корисність - utility [ju:'tɪlɪti]

корінь - root [ru:t]

косий - skew [skju:]

кратний - multiple ['mʌltɪpl]

крива - curve [kɜ:v]

крива впливу - influence curve ['ɪnfluəns kɜ:v]

криволінійна кореляція - curvilinear correlation  
 [ˌkɜ:və'liːniər ˌkɒrə'leɪʃən]

криволінійна регресія - curvilinear regression

[,kɜ:və'liːniər rɪ'greʃən]

криволінійний - curvilinear [,kɜ:və'liːniər]

критерій - criterion [kraɪ'tɪəriən]

критерій значущості - significance test [sɪg'nɪfɪkəns test]

критерій незалежності - test of independence [test əv ,ɪndɪ'pendəns]

критерій/тест - test [test]

критерій середнього виграшу - average reward criterion

['ævərɪdʒ rɪ'wɔ:d kraɪ'tɪəriən]

критичний - critical ['krɪtɪkl]

критичний рівень - critical level ['krɪtɪkl levl]

крок - step [step]

крок розподілу (максимальний) - span of a distribution [spæn əv eɪ ,dɪstrɪ'bju:ʃn]

кількісний показник - score [skɔ:(r)]

кількість роботи - workload ['wɜ:kləʊd]

кількість інформації - amount of information [ə'maʊnt əv ,ɪnfə'meɪʃn]

кільце - ring [rɪŋ]

кінцевий - finite ['faɪnaɪt]

## Л

ланцюг - chain [tʃeɪn]

ланцюг Маркова - Markov chain ['mɑ:kɒv tʃeɪn]

латентна (прихована) змінна - latent variable ['leɪtənt 'veəriəbəl]

лема - lemma ['lemə]

лема Неймана-Пірсона - Neyman-Pearson lemma

['neɪmən 'pɜ:sən 'lemə]

линеаризація - linearization [,liːniəri'zeɪʃən]

линійна форма - linear form ['liːniər fɔ:m]

логарифмічна функція правдоподібності - log-likelihood (function)

[lɒg 'laɪklihʊd flŋkʃn]

логарифмічно нормальний (логнормальний) розподіл - lognormal distribution [lɒg'nɔ:ml ,dɪstrɪ'bju:ʃn]

логістичне рівняння - logistic equation [lə'dʒɪstɪk ɪ'kweɪʃən]

логістичний розподіл - logistic distribution [lə'dʒɪstɪk ,dɪstrɪ'bju:ʃən]

локальна гранична теорема - local limit theorem ['ləʊkl 'lɪmɪt 'θɪərəm]

локальна ергодична теорема - local ergodic theorem ['ləʊkl ɜ:'gɒdɪk'θɪərəm]

локальна теорема відновлення - local renewal theorem

['ləʊkl rɪ'nju:əl 'θɪərəm]

локальний - local ['ləʊkl]

локальний час - local time ['ləʊkl taɪm]

лівий марковський процес - left Markov process [left 'mɑ:kɒv 'prəʊses]

лівий розподіл Пальма - left Palm distribution [left pɑ:m ,dɪstrɪ'bju:ʃn]

лінійна оболонка - linear hull ['lɪniər hʌl]

лінійне програмування - linear programming

['lɪniər 'prəʊgræmɪŋ]

лінійчатий марківський процес - Markov linear-wise process

['mɑ:kɒv 'lɪniər waɪz 'prəʊses]

лінія - curve [kɜ:v], line [laɪn]

лінія / пряма регресії - regression line

[rɪ'ɡreʃn laɪn]

лінія/крива регресії - regression curve

[rɪ'ɡreʃn kɜ:v]

## **M**

Марківська властивість - Markov property ['mɑ:kɒv 'prɒpəti]

Марківська стратегія - Markov strategy ['mɑ:kɒv 'strætədʒi]

Марківське випадкове поле - Markov random field ['mɑ:kɒv 'rændəm fi:ld]

майже напевна збіжність - almost certain convergence

['ɔ:lməʊst 'sɜ:tn kən'vɜ:dʒəns]

максимальна правдоподібність - maximum likelihood



[ 'mæksɪməm 'laɪklihəd]

максимальний - maximal [ 'mæksɪməl]

максимальний коефіцієнт кореляції - maximal correlation coefficient

[ 'mæksɪməl ,kɒrə'leɪʃən ,kəʊɪ'fɪʃənt]

максимальний інваріант - maximal invariant

[ 'mæksɪməl ɪn'veəriənt]

максимум - maximum [ 'mæksɪməm]

максимін - maximin [ 'mæksɪmɪn]

максимінна стратегія - maximin strategy [ 'mæksɪmɪn 'strætədʒi]

максимінний критерій - maximin test [ 'mæksɪmɪn test]

маргінальна функція правдоподібності - marginal likelyhood function

[ 'mɑ:dʒɪnəl 'laɪklihəd flŋkʃn]

маргінальна функція розподілу - marginal distribution function

[ 'mɑ:dʒɪnəl ,dɪstrɪ'bju:ʃn flŋkʃn]

маргінальний - marginal [ 'mɑ:dʒɪnəl]

маргінальний / приватний розподіл - marginal distribution

[ 'mɑ:dʒɪnəl ,dɪstrɪ'bju:ʃn]

маркований точковий процес - marked point process

[mɑ:kt pɔɪnt 'prəʊses]

марковський процес що обривається - killed Markov process

[kɪld 'mɑ:kɒv 'prəʊses]

марківська міра - Markov measure [ 'mɑ:kɒv 'meɪʒə(r)]

марківське джерело (повідомлень) - Markov source

[ 'mɑ:kɒv sɔ:s]

марківський момент - Markov time [ 'mɑ:kɒv taɪm]

марківський процес - Markov process [ 'mɑ:kɒv 'prəʊses]

марківський процес в широкому сенсі - wide-sense Markov process

[waɪd sens 'mɑ:kɒv 'prəʊses]

марківський процес прийняття рішень - Markov decision process

[ 'mɑ:kʌv dɪ 'sɪzn 'prəʊses]

маршрутна таблиця - routing table [ 'rəʊtɪŋ teɪbl]

масив - array [ ə 'reɪ]

масштаб - scale [skeɪl]

математична статистика - mathematical statistics [ ,mæθ 'mæɪtɪkəl stə 'tɪstɪks]

математичне очікування - expectation [ ,ekspek 'teɪʃn], expected value

[ ɪk 'spektɪd 'vælju:]

матриця - array [ ə 'reɪ], matrix pl matrices [ 'meɪtrɪks pl 'meɪtrɪsɪz]

межа - limit [ 'lɪmɪt]

межа-вихід - exit boundary [ 'eksɪt 'baʊndəri]

мережа - net [net], network [ 'netwɜ:k]

мережа джерел і каналів - source-channel network

[sɔ:s tʃænl 'netwɜ:k]

мережа мір - net of measures [net əv 'meʒəz]

мережа обслуговування - queueing network [kju:ɪŋ 'netwɜ:k]

мережа розподілів - net of distributions

[net əv ,dɪstrɪ 'bjʊ:ʃənz]

метод - method [ 'meθəd]

метод Лапласа - Laplace method [læp 'leɪs 'meθəd]

метод Монте-Карло - Monte Carlo method [ 'mɒntɪ 'kɑ:ləʊ 'meθəd]

метод всіх можливих регресій - all possible regressions method

[ɔ:l 'pɒsəbl rɪg'reʃənz 'meθəd]

метод відкидання - rejection method [rɪ 'dʒekʃən 'meθəd]

метод гілок та ймовірних меж - branch and probability bound method

[brɑ:ntʃ ənd ,prɒbə 'bɪlɪtɪ baʊnd 'meθəd]

метод додаткових змінних - supplementary variables method

[ ,sʌplɪ 'mentəri 'veəriəb|z 'meθəd]

метод дослідження - analysis [ ə 'næləsɪs]

метод зважених найменших квадратів - weighted least squares method

[ˈweɪtɪd liːst skweər ˈmeθəd]

метод зрізання - truncation method [trʌŋˈkeɪʃn ˈmeθəd]

метод композицій - method of compositions [ˈmeθəd əv ˌkɒmpəˈzɪʃənz]

метод максимальної правдоподібності - maximum likelihood method

[ˈmæksɪmət ˈlaɪklihʊd ˈmeθəd]

метод мінімальної відстані - minimum distance method

[ˈmɪnɪmət ˈdɪstəns ˈmeθəd]

метод найменших квадратів - least squares method

[liːst skweəz ˈmeθəd]

метод найменших квадратів із обмеженнями - constrained least squares method

[kənˈstreɪnd liːst skweəz ˈmeθəd]

метод накопичення - scoring method

[ˈskɔːrɪŋ ˈmeθəd]

метод оновлення - renovations method

[rɪnəʊˈveɪʃnz ˈmeθəd]

метод стиснення - shrinkage method

[ˈʃrɪŋkɪdʒ ˈmeθəd]

метод шаруватої вибірки - stratified sampling method

[ˈstrætɪfaɪd ˈsɑːmplɪŋ ˈmeθəd]

метод змінних різностей - variate-difference method

[ˈvarɪeɪt ˈdɪfərəns ˈmeθəd]

метод крутого сходження - steepest ascent method

[ˈstiːpest əˈsent ˈmeθəd]

метод єдиного ймовірного простору - common probability space method

[ˈkɒmən ˌprɒbəˈbɪlɪti speɪs ˈmeθəd]

метрика - metric [ˈmetrɪk]

метричний - metric [ˈmetrɪk]

множина/безліч - set [set]

множинний - multiple [ˈmʌltɪpl]

множник - factor ['fæktə(r)]

мода - mode [məʊd]

мода/вершина розподілу - mode of a distribution

[məʊd əv ei ,dɪstrɪ'bjʊ:ʃn]

модально незміщена оцінка - mode-unbiased estimator

[məʊd ən'baɪəst 'estɪmeɪtər]

модель - model [mɒdl]

модель вузлів - site model [saɪt mɒdl]

модельовання / імітація - simulation

[,sɪmjʊ'leɪʃən]

модуль – modulus pl moduli ['mɒduləs]

момент - moment ['məʊmənt]

момент досягнення/проходження - passage time ['pæsɪdʒ taɪm]

момент зупинки - Markov time ['mɑ:kɒv taɪm]

момент обриву - killing time ['kɪlɪŋ taɪm]

момент часу - time [taɪm]

момент/час першого досягнення/влучання/перетину - first passage time

[fɜ:st 'pæsɪdʒ taɪm]

момент першого досягнення/влучення - first arrival time

[fɜ:st ə'raɪvl taɪm]

монотонний - monotone ['mɒnətəʊn]

монотонний розподіл - monotone distribution ['mɒnətəʊn ,dɪstrɪ'bjʊ:ʃn]

мультиграф - multigraph [ˌmʌlti'grɑ:f]

мультиплікативний - multiplicative [ˌmʌltɪpli'keɪtɪv]

мінор - minor ['maɪnə(r)]

мінімакс - minimax ['mɪnɪmæks]

мінімаксний підхід - minimax approach

['mɪnɪmæks ə'prəʊtʃ]

мінімальний - minimal ['mɪnɪməl]

мінімум – minimum pl minima [ˈmɪnɪməm pl ˈmɪnɪmə]  
міра близькості - proximity measure [prɒkˈsɪmɪti ˈmeɪʒə(r)]  
міра цінності - score [skɔː(r)]  
мітка - label [leɪbl], score [skɔː(r)]  
мітка / марка - mark [mɑːk]  
міцний - robust [rəʊˈbʌst]  
міцність - robustness [rəʊˈbʌstnəs]

## Н

наближення - approximation [əˌprɒksɪˈmeɪʃən]  
навчальна вибірка - training sample [ˈtreɪnɪŋ ˈsɑːmpl]  
надефективна оцінка - superefficient estimator [ˈsuːpər ɪˈfɪʃnt ˈestɪmeɪtər]  
надкритичний розгалужений процес - supercritical branching process  
[ˈsuːpəkrɪtɪkl brɑːntʃɪŋ ˈprəʊses]  
надлишковість - redundancy [rɪˈdʌndənsi]  
надійність - reliability [rɪˈlaɪəbɪlɪti]  
найбільш потужний критерій - most powerful test [məʊst ˈpaʊəfl test]  
найбільш суворий критерій - most stringent test [məʊst ˈstrɪndʒənt test]  
найменш сприятливий розподіл - least favorable distribution  
[liːst ˈfeɪvərəbəl ˌdɪstrɪˈbjʊːʃn]  
напівбезперервний знизу процес - lower semicontinuous process  
[ˈləʊər ˌsemɪkənˈtɪnjuəs ˈprəʊses]  
напівдетермінований канал - semideterministic channel  
[ˈsemi dɪˌtɜːmɪˈnɪstɪk ˈtʃænl]  
напівмарковський процес - semi-Markov process  
[ˈsemi ˈmɑːkɒv ˈprəʊses]  
напівпотік - semiflow [ˈsemɪfləʊ]  
напівстійкий розподіл - semistable distribution

[ˈsemɪstɪəbl̩ ,dɪstrɪˈbjʊːʃn]

невизначеність - uncertainty [ʌnˈsɜːtənti]

невироджений розподіл - nondegenerate distribution

[ˌnɒndɪˈdʒenəreɪt ,dɪstrɪˈbjʊːʃn]

невласний - improper [ɪmˈprɒpər]

невласний розподіл - improper distribution [ɪmˈprɒpər ,dɪstrɪˈbjʊːʃn]

недосяжна межа - unattainable boundary [ˌʌnəˈteɪnəbəl ˈbaʊndəri]

незалежний - independent [ˌɪndɪˈpendənt]

незалежні випадкові величини - independent random variables

[ˌɪndɪˈpendənt ˈrændəm ˈveəriəbəlz]

незалежні випробування - independent trials

[ˌɪndɪˈpendənt ˈtraɪəlz]

незалежні події - independent events [ˌɪndɪˈpendənt ɪˈvents]

незалежність - independence [ˌɪndɪˈpendəns]

незводимий / нерозкладний ланцюг Маркова - irreducible Markov chain

[ˌɪrɪˈdʒʊːsəbəl ˈmɑːkɒv tʃeɪn]

незворотній - transient [ˈtrænzɪənt]

незворотній ланцюг Маркова - transient Markov chain

[ˈtrænzɪənt ˈmɑːkɒv tʃeɪn]

незворотній стан - transient state [ˈtrænzɪənt steɪt]

незвідність (графа) - irredundance [ɪrɪˈdʌndəns]

незміщена оцінка з мінімальною дисперсією - minimum variance unbiased estimator [ˈmɪnɪməm ˈveəriəns ʌnˈbaɪəst ˈestɪmeɪtər],

MVU estimator [em viː juː ˈestɪmeɪtər]

незміщений - unbiased [ʌnˈbaɪəst]

незміщеність - unbiasedness [ʌnˈbaɪəstnəs]

нейронна мережа - neural network [ˈnjuərəl ˈnetwɜːk]

некомутативна теорія ймовірностей - noncommutative probability theory [ˌnɒnkəmjuˈteɪtɪv ˌprɒbəˈbɪlɪti ˈθɪəri]

нелінійна фільтрація випадкового процесу - nonlinear filtering of a random process [nɒn'liːniər 'fɪltərɪŋ əv eɪ 'rændəm 'prəʊses]

нелінійне прогнозування випадкового процесу - nonlinear prediction of a random process [nɒn'liːniər prɪ'dɪkʃən əv eɪ 'rændəm 'prəʊses]

нелінійне програмування - nonlinear programming

[nɒn'liːniər 'prəʊgræmɪŋ]

нелінійний - nonlinear [nɒn'liːniər]

неможлива подія - impossible event [ɪm'pɒsəbl ɪ'vent]

необмежене випадкове блукання - unbounded random walk

[ʌn'baʊndɪd 'rændəm wɔ:k]

необмежений - unbounded [ʌn'baʊndɪd]

неоднорідний ланцюг Маркова - nonhomogeneous Markov chain

[,nɒnhəʊmə'gənəs 'mɑ:kɒv tʃeɪn]

неорієнтований граф - nonoriented/undirected graph

[,nɒnəʊ'riɛntɪd ʌndɪ'rektɪd grɑ:f]

непараметричний - nonparametric [,nɒnpərə'metrik]

неперервний - continuous [kən'tɪnjuəs]

неперервний потік - continuous flow [kən'tɪnjuəs fləʊ]

неперервний процес - continuous process [kən'tɪnjuəs 'prəʊses]

неперервний розподіл - continuous distribution

[kən'tɪnjuəs ,dɪstrɪ'bju:ʃn]

неперіодичний - aperiodic [ʌperi'əʊdɪk]

неперіодичний ланцюг Маркова - aperiodic Markov chain

[ʌperi'əʊdɪk 'mɑ:kɒv tʃeɪn]

неперіодичний стан ланцюга Маркова - aperiodic state of a Markov chain

[ʌperi'əʊdɪk steɪt əv eɪ 'mɑ:kɒv tʃeɪn]

неповністю доступна система обслуговування - partially available queueing system

['pɑ:ʃəli ə'veɪləbl 'kju:ɪŋ 'sɪstəm]

неприпустима оцінка - inadmissible estimator [ ,ɪnəd' mɪsəbl' estɪmeɪtər]

нерандомізований - nonrandomized [nɒn' rændəmeɪzd]

нерозкладний - indecomposable [ 'ɪndi:kəm' pəʊzəbl]

нерозкладний розгалужений процес - indecomposable branching process [ 'ɪndi:kəm' pəʊzəbl brɑ:ntʃ 'prəʊses]

нерозкладний розподіл - indecomposable distribution

[ 'ɪndi:kəm' pəʊzəbl ,dɪstrɪ' bjʊ:ʃn]

нерозкладний ланцюг Маркова - indecomposable Markov chain

[ 'ɪndi:kəm' pəʊzəbl 'mɑ:kɒv tʃeɪn]

нерівність - inequality [ ,ɪni' kwɒləti]

нерівність Колмогорова - Kolmogorov's inequality

[kɒlmɒ' gɒrɒvz ,ɪni' kwɒləti]

нерівність Маркова - Markov's inequality

[ 'mɑ:kɒvz ,ɪni' kwɒləti]

нескінченний - infinite [ 'ɪnfɪnət]

нестационарний вхідний потік - nonstationary input [ ,nɒn' steɪʃənəri 'ɪnpʊt]

нестационарність – nonstationarity [ ,nɒn' steɪʃənərɪti]

несумісні події - mutually exclusive events [ 'mju:tʃuəli ɪk' sklu:sɪv ɪ' vent]

несуттєвий стан - nonessential state [nɒn 'esənʃl steɪt]

неупереджена стратегія - nonanticipating strategy

[nɒn æn' tɪsɪpeɪtɪŋ 'strætədʒi]

неупереджений випадковий процес - nonanticipating random process

[nɒn æn' tɪsɪpeɪtɪŋ 'rændəm 'prəʊses]

неупереджувана функція - nonanticipating function

[nɒn æn' tɪsɪpeɪtɪŋ fʌŋkʃn]

неупереджуваний - nonanticipating [nɒn æn' tɪsɪpeɪtɪŋ]

нехтування - negligibility [neglɪdʒɪ' bɪlɪti]

нецентрований  $\chi^2$ -квадрат розподіл - noncentral chi square distribution

[nɒn 'sentrəl tʃɪ: skweə(r) ,dɪstrɪ' bjʊ:ʃn]



нечутливість до відмов - fault-tolerance

[fɔ:lt 'tɒlərəns]

нижня грань - lower bound ['ləʊər baʊnd]

нижня довірча межа - lower confidence bound/limit

['ləʊər 'kɒnfɪdəns baʊnd 'lɪmɪt]

нижня послідовність - lower sequence ['ləʊər 'si:kwəns]

нижня функція - lower function ['ləʊər fʌŋkʃn]

нижній - lower ['ləʊər]

нижній граничний функціонал - lower boundary functional

['ləʊər 'baʊndəri 'fʌŋkʃənəl]

номограма - nomogram ['nɒnəgræm]

нормальна апроксимація - normal approximation ['nɔ:ml ə ,prɒksɪ'meɪʃən]

нормальна випадкова величина - normal random variable

['nɔ:ml 'rændəm 'veəriəbəl]

нормальна перехідна функція - normal transition function

[nɔ:ml træn'zɪʃən fʌŋkʃn]

нормальний - normal [nɔ:ml]

нормальний марковскій процес - normal Markov process [nɔ:ml 'mɑ:kɒv 'prəʊses]

нормальний простір - normal space [nɔ:ml speɪs]

нормальний розподіл - normal distribution [nɔ:ml ,dɪstrɪ'bju:ʃn]

нормована випадкова величина - normed random variable

[nɔ:md 'rændəm 'veəriəbəl]

нормована міра - normed measure [nɔ:md 'meʒə(r)]

нормування послідовності випадкових величин - norming of a sequence of random variables ['nɔ:miŋ əv eɪ 'si:kwəns əv 'rændəm 'veəriəbəlz]

нормуючий множник - normalizing factor

['nɔ:məlaɪzɪŋ 'fæktə(r)]

носій міри - support of a measure [sə'pɔ:t əv eɪ 'meʒə(r)]

німодальний / одновершинний розподіл - unimodal distributiony

[ju:ni'məʊdəl ,dɪstrɪ'bju:ʃn]

## O

обернений - reversed [rɪ'vɜ:st]

обернений ланцюг Маркова - reversed Markov chain

[rɪ'vɜ:st 'mɑ:kəv tʃeɪn]

обернений марковський процес - reversed Markov process

[rɪ'vɜ:st 'mɑ:kəf 'prəʊses]

обернений процес - reversed process

[rɪ'vɜ:st 'prəʊses]

обернення - reversal [rɪ'vɜ:səl]

обернення часу - time reversal [taɪm rɪ'vɜ:səl]

обертальний - rotation [rəʊ'teɪʃən]

обертання - rotation [rəʊ'teɪʃən]

область - domain [də'meɪn]

обмеження - constraint [kən'streɪnt], restriction [rɪ'strɪkʃn]

обмеження типу дерева - tree-type constraint

[tri: taɪp kən'streɪnt]

обмеженість - boundedness ['baʊndɪdnəs]

обмеженість по ймовірності - boundedness in probability

['baʊndɪdnəs ɪn ,prɒbə'bɪlɪti]

оболонка - hull [hʌl]

оборотний процес - reversible process [rɪ'vɜ:səbəl'prəʊses]

обробка зображення - image processing

['ɪmɪdʒ prəʊ'sesiŋ]

обслуговування - service ['sɜ:vɪs]

обстеження - survey ['sɜ:veɪ]

обсяг - size [saɪz]

обсяг вибірки - sample size [sɑ:mpl saɪz]

об'єднання / сума подій - union of events ['ju:niən əv ɪ'vents]

огляд - survey ['sɜ:vɛɪ]

одиниця - unit ['ju:nɪt]

однаковий - identical [aɪ'dentɪkəl]

однаково розподілені - id [ɪd], identically distributed [aɪ'dentɪkəli dɪ'strɪbjʊ:tɪd]

одно-крокова ймовірність переходу - one-step transition probability  
[wʌn step træn'zɪʃən ,prɒbə'bɪlɪtɪ]

однобічний - one-sided [wʌn 'saɪdɪd]

однобічний критерій - one-sided test [wʌn 'saɪdɪd test]

одновимірний - one-dimensional [wʌn daɪ'menʃənəl]

одновимірний випадковий процес - one-dimensional random process  
[wʌn daɪ'menʃənəl 'rændəm 'prəʊses]

одноканальна система обслуговування - single-channel queueing system single-channel queueing system [sɪŋgl 'tʃenəl 'kju:ɪŋ 'sɪstəm]

однолінійна система обслуговування - single-server queueing system  
[sɪŋgl 's ɜ:və 'kju:ɪŋ 'sɪstəm]

однолінійна система обслуговування з чергою - single-server queueing waiting system  
[sɪŋgl 'sɜ:və 'kju:ɪŋ 'weɪtɪŋ 'sɪstəm]

однорідний - homogeneous [ˌhɒmə'dʒi:niəs]

однорідний за часом випадковий процес - temporally homogeneous random process ['tempərəli ˌhɒmə'dʒi:niəs 'rændəm 'prəʊses] окремий - partial ['pɑ:ʃəl]

округлення - rounding [raʊndɪŋ]

омега-квадрат розподіл - omega square distribution ['əʊmɪgə skweə(r) ,dɪstrɪ'bju:ʃn]

оновлююча подія - renovating event ['renəveɪtɪŋ ɪ'vent]

оперативна характеристика критерію - operating characteristic of a test  
['ɒpəreɪtɪŋ ,kærəktə'rɪstɪk əv eɪ test]

оператор - operator ['ɒpəreɪtər]

описувач - attribute ['ætrɪbjʊ:t]

опозиційний граф - opposition graph [ˌɒpəˈzɪʃn ɡrɑːf]

оптимальне правило зупинки - optimal stopping rule [ˈɒptɪməl ˈstɒpɪŋ ruːl]

оптимальне резервування - optimal redundancy [ˈɒptɪməl rɪˈdʌndənsi]

оптимальне стохастичне управління - optimal stochastic control

[ˈɒptɪməl stəˈkæstɪk kənˈtrəʊl]

оптимізація надійності - reliability optimization

[rɪˈlaɪəbɪlɪti ˌɒptɪmaɪˈzeɪʃən]

опукла оболонка - convex hull [ˈkɒnveks hʌl]

опукла функція - convex function [ˈkɒnveks fʌŋkʃn]

опуклий - convex [ˈkɒnveks]

опуклий граф - convex graph [ˈkɒnveks ɡrɑːf]

опціональний процес - well measurable process

[wel ˈmeʒərəbəlˈprəʊses]

орграф /орієнтований граф - digraph [ˈdaɪɡrɑːf]

ординарний - ordinary [ˈɔːdnəri]

ортогональний - orthogonal [ɔːˈθɒɡənəl]

ортогональність - orthogonality [ɔːˈθɒɡənəlɪti]

орієнтований граф - directed graph

[daɪˈrektɪd ɡrɑːf]

основний стан - ground state [ɡraʊnd steɪt]

основні поняття і принципи - alphabet

[ˈælfəbet]

осцилюючий випадковий процес - oscillatory random process

[ˈɔsɪlətəri ˈrændəm ˈprəʊses]

оцінка - bound [baʊnd], estimate (estimator) [ˈestɪmət ˈestɪmeɪtər], score [skɔː(r)]

оцінка максимальної правдоподібності - maximum likelihood estimator

[ˈmæksɪmət ˈlaɪklɪhʊd ˈestɪmeɪtər]

оцінка мінімальної відстані - minimum distance estimator

[ˈmɪnɪmət ˈdɪstəns ˈestɪmeɪtər]

оцінювання - estimation [ˌestiˈmeɪʃən]

оцінювання при наявності обмежень - constrained estimation

[kən'streɪnd ,estɪ'meɪʃən]

очікувана корисність - expected utility [ɪk'spektɪd ju:'tɪlɪti]

очікуваний - expected [ɪk'spektɪd]

## П

параметр - parameter [pə'ræmɪtər]

параметр зсуву - location parameter [ləʊ'keɪʃn pə'ræmɪtər]

параметр нецентрованості - noncentrality parameter

[,nɒnsen'trelɪti pə'ræmɪtər]

параметрична модель - parametric model [pə'rə'metrik mɒdl]

перевірка - inspection [ɪn'spekʃən], testing [ 'testɪŋ]

перевірка довговічності - durability testing [,dju:ərə'bilɪti 'testɪŋ]

перевірка нормальності - testing for normality [ 'testɪŋ fə(r) nɔ:'mæləti]

перевірка статистичної гіпотези - testing of statistical hypothesis

[ 'testɪŋ əv stə'tɪstɪkəl haɪ'pɒθəsɪz]

передача - transfer [træns'fɜ:(r)]

перемішування - mixing [ 'mɪksɪŋ]

перенесення - transfer [træns'fɜ:(r)]

переорієнтація - reorientation

[ri: ,ɔ:riən'teɪʃən]

перескок - overshoot [ ,əʊvə'ʃu:t]

перестановка - permutation [ ,pɜ:mju'teɪʃən]

перетворення - transform [træns'fɔ:m], transformation [ ,trænsfə'meɪʃən]

перетворення Гауса - Gauss transform [gaʊs træns'fɔ:m]

перетворення Лапласа - Laplace transform [læp'leɪs træns'fɔ:m]

перетворення Фур'є - Fourier transform [ 'fjuəriɪ træns'fɔ:m]

перетин подій - intersection of events [ ,ɪntə'sekʃən əv ɪ'vents]

перехід - transition [træn'zɪʃən]

перехідний - transient [ 'trænzɪənt]

перехідні явища - transient phenomena

[ 'trænzɪənt fə' nɒmɪnə]

перший - first [fɜ:st]

періодичний - cyclic [ 'saɪklɪk], periodic [ ,pɪəri' ɒdɪk]

періодичний стан - periodic state [ ,pɪəri' ɒdɪk steɪt]

періодичний/циклічний ланцюг Маркова - periodic Markov chain

[ ,pɪəri' ɒdɪk 'mɑ:kɒv tʃeɪn]

періодичність - periodicity [ ,pɪəriə' dɪsɪtɪ]

петля - loop [lu:p]

план - design [dɪ' zaɪn]

план контролю - inspection plan [ɪn' speksʃən plæn]

планарна мережа - planar network

[ 'pleɪnər 'netwɜ:k]

планарний граф - planar graph [ 'pleɪnər grɑ:f]

планування - design [dɪ' zaɪn]

плоско концентроване сімейство ймовірних мір - flatly concentrated family of probability measures

[ 'flætli 'kɒnsəntreɪtɪd 'fæməli əv ,prɒbə' bɪlɪtɪ 'meɪʒəz]

площина - plane [pleɪn]

пов'язаний - dual [ 'dju:əl]

поверхня - surface [ 'sɜ:fɪs]

поверхня регресії - regression surface

[rɪ' greʃn 'sɜ:fɪs]

повний - complete [kəm' pli:t], total [ 'təʊtl]

повнота - completeness [kəm' pli:tnəs]

повністю доступна система обслуговування - fully accessible queueing system

[ 'fʊli ək' sesəbəl 'kju:ɪŋ 'sɪstəm]

поворот - rotation [rəʊ' teɪʃən]

поворотний - recurrent [rɪ' kɹɪərənt]

поворотний марківський процес - persistent Markov process

[pə'sɪstənt 'mɑ:kɒv 'prəʊses]

повідомлення - message ['mesɪdʒ]

подання - representation [ˌreprɪzen'teɪʃən]

подвійний - double [dʌbl]

подібна ділянка - similar region ['sɪmələ(r) 'ri:dʒən]

подібний - similar ['sɪmələ(r)]

подібний критерій - similar test

['sɪmələ(r) test]

подія - event [ɪ'vent]

показник - exponent [ɪk'spəʊnənt]

показник надійності - reliability index

[rɪlaɪə'bɪlɪti 'ɪndeks]

показникова функція – exponential function

[ˌeksprə'neɪʃəl fʌŋkʃn]

показниковий - exponential [ˌeksprə'neɪʃəl]

показниковий/експоненційний розподіл - exponential distribution

[ˌeksprə'neɪʃəl ,dɪstrɪ'bju:ʃn]

поле - field [fi:ld]

полярна кореляційна функція - polar correlation function

['pəʊləɹ ,kɒrə'leɪʃən 'fʌŋkʃn]

полярна множина - polar set ['pəʊləɹ set]

полярний - polar ['pəʊləɹ]

полігон - polygon ['pɒlɪɡɒn]

поліном - polynomial [pɒli'nəʊm]

поліноміальний - multinomial [mʌltɪ'nəʊmɪəl], polynomial [pɒli'nəʊmɪəl]

поліноміальний розподіл - multinomial distribution [mʌltɪ'nəʊmɪəl ,dɪstrɪ'bju:ʃn]

політопний граф - polytopic graph [ˌpɒli'tɒpɪk grɑ:f]

пониження розмірності - reduction of dimensionality [rɪ'dʌkʃn əv dɪmɛnʃə'næli'tɪ]  
 попарна незалежність - pairwise independence [ˈpeəwaɪs ˌɪndɪ'pendəns]  
 попереча кореляційна функція - transversal correlation function  
 [træns'vɜ:səl ˌkɒrə'leɪʃən fʌŋkʃn]  
 поперечний - transversal [træns'vɜ:səl]  
 поповнення - completion [kəm'pli:ʃən]  
 поповнення міри - completion of a measure  
 [kəm'pli:ʃən əv eɪ 'meɪʒə(r)]  
 поповнення ймовірнісного простору - completion of a probability space  
 [kəm'pli:ʃən əv eɪ ˌprɒbə'bɪlɪti speɪs]  
 поправка - correction [kə'rekʃən]  
 популяція - population [ˌpɒpjʊ'leɪʃn]  
 порядок (числа) - exponent [ɪk'spəʊnənt]  
 порядок - order ['ɔ:də(r)]  
 поріг - threshold ['θreʃəʊld]  
 посилений - strong [strɒŋ]  
 послідовність серій - triangular array [traɪ'æŋɡjʊləɪə ə'reɪ]  
 послідовний критерій відношення ймовірностей / правдоподібності - sequential  
 probability ratio test [sɪ'kwɛnʃəl ˌprɒbə'bɪlɪti 'reɪʃiəʊ test]  
 послідовність - sequence ['si:kwəns], set [set]  
 постулат - axiom ['æksɪəm]  
 потенціал - potential [pə'tenʃl]  
 потужність - power ['paʊə(r)]  
 потік - flow [fləʊ]  
 потік Бернуллі - Bernoulli flow [bɜ:'nʊli fləʊ]  
 потік без наслідка - flow without aftereffect [fləʊ wɪ'ðaʊt 'æftəri fekt]  
 потік із наслідком - flow with aftereffect [fləʊ wɪð 'æftəri fekt]  
 похибка - error ['erə(r)]  
 похибка другого роду - second kind error ['sekənd kaɪnd 'erə(r)]



похибка округлення - rounding error [ˈraʊndɪŋ ˈerə(r)]  
похибка першого роду - first kind error [fɜːst kaɪnd ˈerə(r)]

похибка прогнозування/прогнозу - prediction error [prɪˈdɪkʃən ˈerə(r)]  
похибка спостереження - observation error [ˌɒbzəˈveɪʃn ˈerə(r)]  
похідна - derivative [dɪˈrɪvətɪv]

початковий розподіл - initial distribution

[ɪˈnɪʃl ˌdɪstrɪˈbjʊːʃn]

пошук - search [sɜːtʃ]

пошук в глибину - depth-first search

[depθ fɜːst sɜːtʃ]

пошукове число - search number [sɜːtʃ ˈnʌmbə(r)]

поєднання - combination [ˌkɒmbɪˈneɪʃn]

правдоподібність - likelihood [ˈlaɪklihʊd]

правий марковський процес - right Markov process

[raɪt ˈmɑːkɒv ˈprəʊses]

правило - rule [ruːl]

правило зупинки - stopping rule [ˈstɒpɪŋ ruːl]

представницька вибірка - representative sample

[ˌreprɪˈzentətɪv ˈsɑːmpl]

представницький - representative [ˌreprɪˈzentətɪv]

привласнити атрибути - attribute [ˈætrɪbjʊːt]

привідний/розгалужений ланцюг Маркова - reducible Markov chain

[rɪˈdjuːsəbl ˈmɑːkɒv tʃeɪn]

приймати як аксіому - to take as an axiom

[tə teɪk əz ən ˈæksɪəm]

принцип - principle [ˈprɪnsəpl]

принцип відображення - reflection principle [rɪˈfleksʃən ˈprɪnsəpl]

принцип достатності - sufficiency principle [səˈfɪʃənsi ˈprɪnsəpl]

принцип невизначеності - uncertainty principle

[ʌnˈsɜːtənti ˈprɪnsəpl]

принцип поділу - separation principle [ˌsepə'reɪʃn 'prɪnsəpl]  
принцип усереднення - averaging principle [ˈævərɪdʒɪŋ 'prɪnsəpl]  
приписувати властивість - attribute [ˈætrɪbjʊ:t]

проблема - problem [ˈprɒbləm]

проблема дискретизації - discretization problem [dɪskrɪtaɪ'zeɪʃn 'prɒbləm]  
провідна функція - leading function [ˈliːdɪŋ 'fʌŋkʃn]

прогноз - extrapolation [ɪk'stræpələɪʃn],  
forecast [ˈfɔːkɑːst]

прогнозування - prediction [prɪ'dɪkʃən]

програмне забезпечення - software [ˈsɒftweə(r)]  
програмування - programming [ˈprəʊgræmɪŋ]  
продовжений - extended [ɪk'stendɪd]  
продовження - extension [ɪk'stenʃn]

продовження марковського процесу - extension of a Markov process  
[ɪk'stenʃn əv eɪ 'mɑːkɒv 'prəʊses]

проекція - projection [prə'dʒekʃən]  
пропускна здатність - throughput [ˈθruːpʊt]  
проріджування - thinning [ˈθɪnɪŋ]

просте число - prime number [praɪm 'nʌmbə(r)]  
просторова медіана - spatial median [ˈspeɪʃəl 'miːdiən]  
простір - space [speɪs]

простір сумішей - space of mixtures [speɪs əv 'mɪkstʃəz]

простір елементарних подій - space of elementary events  
[speɪs əv ,elɪ'mentəri ɪ'vents]

процедура - procedure [prə'siːdʒə(r)]

процес (чистого) розмноження - birth process [bɜːθ 'prəʊses]  
процес - process [ˈprəʊses]

процес Пуанкаре - Poincaré process

[ˌpɔɪnkɑː'reɪ 'prəʊses]

процес, що обривається - cut-off process

[kʌt əv 'prəʊses]

процес народження та загибелі - birth-and-death process

[bɜ:θ ənd deθ 'prəʊses]

пряме рівняння Колмогорова - Kolmogorov forward equation

[kɒlmɒ'gɒrɒv 'fɔ:wəd r'kweɪʒən]

прямокутне дерево - rectilinear tree [ˌrektɪ'liɪər tri:]

псевдовипадкові числа - pseudorandom numbers

[sju:dəʊ'rændəm 'nʌmbəz]

псевдомомент - pseudomoment [sju:dəʊ 'məʊmənt]

пуассонівський потік - Poisson flow ['pɔɪzn fləʊ]

пуассонівський процес - Poisson process ['pɔɪzn 'prəʊses]

підграф - subgraph [sʌb'grɑ:f]

підкидання монети - coin tossing [kɔɪn 'tɒsɪŋ]

підмережа - subnet [sʌb net]

підпроцес - subprocess [sʌb 'prəʊses]

підстановка - permutation [ˌpɜ:mju:'teɪʃən], substitution [ˌsʌbstɪ'tju:ʃən]

підтверджуючий аналіз даних - confirmatory data analysis

[kən'fɜ:mətəri 'deɪtə ə'næləsis]

післядія - aftereffect ['æftəri fekt]

## **P**

ранг - rank [ræŋk]

рандомізований - randomized ['rændəmaɪzd]

ранжування - ranking ['ræŋkɪŋ]

рандомізація - randomization [ˌrændəmi'zeɪʃn]

рахунковий - countable ['kaʊntəbəl], denumerable [dɪ'nju:mərəbəl]

рахунковий ланцюг Маркова - countable/denumerable Markov chain

['kaʊntəbəl dɪ'nju:mərəbəl 'mɑ:kɒv tʃeɪn]

рахунковий ймовірнісний автомат - countable probabilistic automaton

['kaʊntəbəl prɒbəbɪ'lɪstɪk ə:'tɒmətən]

реалізація (вибіркової функції) - realization (of a random function)

[ˌrɪləɪˈzeɪʃən əv eɪ ˈrændəm fʌŋkʃn]

реберний - edge [edʒ]

ребро - edge [edʒ]

регенеруючий процес - regenerative process

[rɪˈdʒenəreɪtɪv ˈprəʊses]

регресор - regressor [rɪˈɡresə]

регресійний прогноз - regression prediction

[rɪˈɡresɪn prɪˈdɪkʃən]

регресія - regression [rɪˈɡresɪn]

регульований - controlled [kənˈtrəʊld]

регульований розгалужений процес - controlled branching process

[kənˈtrəʊld ˈbrɑːntʃɪŋ ˈprəʊses]

регулярна множина - regular set [ˈregjələ(r) set]

регулярна міра - regular measure [ˈregjələ(r) ˈmezə(r)]

регулярна умовна ймовірність - regular conditional probability

[ˈregjələ(r) kənˈdɪʃənəl ˌprɒbəˈbɪlɪtɪ]

регулярне випадкове поле - regular random field

[ˈregjələ(r) ˈrændəm fiːld]

регулярний - regular [ˈregjələ(r)]

регулярний ланцюг Маркова - regular Markov chain

[ˈregjələ(r) ˈmɑːkɒv tʃeɪn]

регулярний розгалужений процес - regular branching process

[ˈregjələ(r) ˈbrɑːntʃɪŋ ˈprəʊses]

регулярність - regularity [regjuˈlærɪtɪ]

редукований розгалужений процес - reduced branching process

[rɪˈdʒuːst ˈbrɑːntʃɪŋ ˈprəʊses]

резервування - redundancy [rɪˈdʌndənsɪ]

рекорд - record [ˈrekɔːd]

рекурентна оцінка - recursive estimator [rɪ'kʊ:sɪv ,estɪ'meɪtə(r)]  
рекурентне оцінювання - recursive estimation [rɪ'kʊ:sɪv ,estɪ'meɪʃən]  
рекурентний - recurrent [rɪ'kʊrənt]

рекурентний метод найменших квадратів - recursive least squares method  
[rɪ'kʊ:sɪv li:st skweəz 'meθəd]

рекурентний потік - recurrent input  
[rɪ'kʊrənt 'ɪnpʊt]

релейний - relay [rɪ'leɪ]

ремонтпридатність - repairability  
[rɪ'reə(r) ə'bɪlətɪ]

решітка - grid [grɪd], lattice [ 'lætɪs]

решітка; (упорядкований) масив; періодична структура; матриця - array [ə'reɪ]  
решіткова модель - lattice model [ 'lætɪs 'mɒdl]

решітковий розподіл - lattice distribution [ 'lætɪs ,dɪstrɪ'bju:ʃn]  
решітчастий граф - grid graph [grɪd gra:f]

ризик - risk [rɪsk]

робастність - robustness [rəʊ'bʌstnəs]

розбиття - partition [pɑ:'tɪʃən]

розбіжна послідовність - divergent sequence  
[ ,daɪ'vʒ:dʒənt 'si:kwəns]

розбіжний ряд - divergent series [ ,daɪ'vʒ:dʒənt 'sɪəri:z]

розбіжність - divergent [ ,daɪ'vʒ:dʒənt]

розв'язний - resolvable [rɪ'zɒlvəbl]

розгалужений процес - branching process  
[ 'brɑ:ntʃɪŋ 'prəʊses]

розгалуження - branching [ 'brɑ:ntʃɪŋ]

роздільна здатність - resolution [ ,rezə'lu:ʃən]

роздільне резервування - separate redundancy  
[ 'seprət rɪ'dʌndənsɪ]

роздільний - separable [ 'sepərəbl]

роздільність - separability [sepərə'bilɪtɪ]  
розкладання - decomposition [di:kɒmpə'zɪʃn],  
expansion [ɪk'spænfən]  
розмах - midrange [mɪd'reɪndʒ]  
розмір - size [saɪz]  
розмір критерію - size of test [saɪz əv test]  
розмірність - dimension [ˌdaɪ'menʃən]  
розмітка - labeling ['leɪbəlɪŋ]  
розмітка графа - labeling of a graph  
['leɪbəlɪŋ əv eɪ grɑ:f]  
розміщення - allocation ['æləkeɪʃn],  
arrangement [ə'reɪndʒmənt]  
розподіл - distribution [ˌdɪstrɪ'bju:ʃn]  
розподіл Колмогорова - Kolmogorov distribution  
[kɒlmɒ'gɒrɒv ˌdɪstrɪ'bju:ʃn]  
розподіл Коші - Cauchy distribution  
[kə'ʃi ˌdɪstrɪ'bju:ʃn]  
розподіл Лагранжа - Lagrange distribution  
[lə'grɑ:n(d)ʒ ˌdɪstrɪ'bju:ʃn]  
розподіл Лапласа - Laplace distribution  
[læp'leɪs ˌdɪstrɪ'bju:ʃn]  
розподіл Максвелла - Maxwell distribution  
['mækswəl ˌdɪstrɪ'bju:ʃn]  
розподіл Пальма - Palm distribution  
[pɑ:m ˌdɪstrɪ'bju:ʃn]  
розподіл Парето - Pareto distribution  
[pə'retəʊ ˌdɪstrɪ'bju:ʃn]  
розподіл Паскаля - Pascal distribution  
[pæs'kæɪ ˌdɪstrɪ'bju:ʃn]  
розподіл Планка - Planck distribution

[plæŋk ,dɪstrɪ'bjʊ:ʃn]

розподіл Пойа - Polya distribution

['pɔjɑ: ,dɪstrɪ'bjʊ:ʃn]

розподіл Пуассона - Poisson distribution

['pɔɪzn ,dɪstrɪ'bjʊ:ʃn]

розподіл Пірсона - Pearson distribution

[pɜ:sn ,dɪstrɪ'bjʊ:ʃn]

розподіл Смирнова - Smirnov distribution

[smɜ:'nɒv ,dɪstrɪ'bjʊ:ʃn]

розподіл Стьюдента - Student distribution

['stju:dnt ,dɪstrɪ'bjʊ:ʃn]

розподіл Сімпсона - Simpson distribution

[sɪmpsn ,dɪstrɪ'bjʊ:ʃn]

розподіл Фішера - Fisher F-distribution

['fɪʃə ,dɪstrɪ'bjʊ:ʃn]

розподіл Шермана - Sherman distribution

[ʃɜ:mn ,dɪstrɪ'bjʊ:ʃn]

розподіл логарифмічного ряду - logarithmic series distribution

[,lɒgərɪð'mɪk 'sɪəri:z ,dɪstrɪ'bjʊ:ʃn]

розподіл Бернуллі - Bernoulli distribution

[bɜ:'nʊli ,dɪstrɪ'bjʊ:ʃn]

розподіл гіпергеометричного ряду - hypergeometric series distribution [,haɪpədʒiə'metrik'sɪəri:z ,dɪstrɪ'bjʊ:ʃn]

розпізнавання образів - pattern recognition

['pætɪn ,rekəg'nɪʃn]

розрахунок (зазвичай перевірочний) - analysis [ə'næləsis]

розріджена/тонка множина - thin set [θɪn set]

розріджений граф - sparse graph [spɑ:s grɑ:f]

розріз - cut [kʌt]

розрізнений - difference ['dɪfrəns]

розсіювання - dispersion [dɪ'spɜːʃən], scattering ['skætərɪŋ]  
розсіювання вибірки - dispersion of a sample [dɪ'spɜːʃən əv eɪ 'sɑːmpl]  
розсіювання розподілу - dispersion of a distribution [dɪ'spɜːʃən əv eɪ ,dɪstrɪ'bjuːʃn]  
розширений - extended [ɪk'stendɪd]  
розширення - extension [ɪk'stenʃn]  
розщеплена вибірка - stratified sample  
['strætɪfaɪd 'sɑːmpl]  
ротаційний - rotation [rəʊ'teɪʃən]  
руйнуючі випробування - destructive testing  
[dɪ'strʌktɪv 'testɪŋ]  
рухома межа - moving boundary ['muːvɪŋ 'baʊndəri]  
ряд - series ['sɪəriːz]  
ряд Фур'є - Fourier series ['fjuəriɪ 'sɪəriːz]  
рядок - string [strɪŋ]  
рівень - level ['levl]  
рівень значущості - significance level  
[sɪɡ'nɪfɪkəns 'levl]  
рівень критерію - level of a test ['levl əv eɪ test]  
рівноважна модель - steady-state model  
[ˈstedɪ steɪt mɒdl]  
рівномірний - uniform ['juːnɪfɔːm]  
рівномірно - uniformly [juːnɪ'fɔːmli]  
рівняння - equation [ɪ'kweɪʒən]  
рівняння Лагранжа - Lagrange equation  
[lə'grɑːn(d)ʒ ɪ'kweɪʒən]  
рівняння марківського відновлення - Markov renewal equation  
['mɑːkɒv rɪ'njuːəl ɪ'kweɪʒən]  
різниця - difference ['dɪfrəns]  
різноманіття - manifold ['mænɪfəʊld]



рішення - decision [di'siʒn], solution [sə'lu:ʃn]

## C

самодоповнюваний граф - self-complementary graph

[self ,kɒmplɪ'mentəri grɑ:f]

саморозкладний розподіл - self-decomposable distribution

[self dekəm'pəʊzəbl ,dɪstrɪ'bju:ʃn]

сгруповані дані - grouped data

[gru:pt 'deɪtə]

середина - midrange [mid'reɪndʒ]

середньоквадратичне відхилення - standard deviation

['stændəd di:vi'eɪʃn], standard error ['stændəd 'erə(r)]

середня корисність - mean utility [mi:n ju:'tɪlɪti]

середнє - average ['ævərɪdʒ]

середнє значення - average ['ævərɪdʒ], expectation [ ,ekspek'teɪʃn], expected value

[ɪk'spektɪd 'vælju:], mean [ mi:n]

середнє по простору - space average [speɪs 'ævərɪdʒ]

середнє по часу - time average [taɪm 'ævərɪdʒ]

середній - average ['ævərɪdʒ], expected [ɪk'spektɪd], mean [ mi:n]

середній ризик - average risk ['ævərɪdʒ rɪsk]

серіальний - serial ['sɪəriəl]

серіальний коефіцієнт кореляції - serial correlation coefficient

['sɪəriəl ,kɒrə'leɪʃən ,kəʊɪ'fɪʃənt]

сигнал - signal ['sɪgnəl]

сигнальний граф - signal flow graph

['sɪgnəl fləʊ grɑ:f]

сигнатура - signature ['sɪgnətʃə(r)]

сильний - strong [strɒŋ]

сильно - strictly ['striktli], strongly ['strɒŋli]

сильно зв'язний граф - strongly connected graph

[ˈstrɒŋli kəˈnektɪd grɑ:f]

сильно одновіршинний/унімодальний розподіл - strictly unimodal distribution

[ˈstriktli juːniˈmɔdɪl ˌdɪstrɪˈbjʊːʃn]

сильно регулярний граф - strongly regular graph

[ˈstrɒŋli ˈregjʊlə(r) grɑ:f]

симетричний - symmetric [ˈsɪmɛtrɪk]

симплекс - simplex [ˈsɪmpleks]

симплексний метод - simplex method

[ˈsɪmpleks ˈmeθəd]

сингулярний - singular [ˈsɪŋgjʊlə]

синхронні точкові процеси - synchronous point processes

[ˈsɪŋkrənəs pɔɪnt ˈprəʊsesɪz]

система - system [ˈsɪstəm]

система обслуговування - queueing system [ˈkju:ɪŋ ˈsɪstəm]

система обслуговування з відмовами - loss queueing system

[lɒs ˈkju:ɪŋ ˈsɪstəm]

система що перемикається - switching system

[ˈswɪtʃɪŋ ˈsɪstəm]

система відліку - frame of reference [freɪm əv ˈrefrəns]

система обслуговування з відмовами - balk queueing system

[bɔ:k ˈkju:ɪŋ ˈsɪstəm]

скаляр - scalar [ˈskeɪlə]

скалярний параметр - scalar parameter

[ˈskeɪlə pəˈræmɪtə]

скейлінг - scaling [ˈskeɪlɪŋ]

складний ланцюг Маркова - high-order Markov chain

[haɪ ˈɔ:də(r) ˈmɑ:kɒv tʃeɪn]

складний розподіл Пуассона - compound Poisson distribution

[ˈkɒmpaʊnd ˈrəʊzŋ ,dɪstrɪˈbjʊːʃn]

склеювати - splice [splaɪs]

скринінг - screening [ˈskriːnɪŋ]

слабкий - weak [wiːk]

слабо - weakly [ˈwiːkli]

слабо вимірюване відображення - weakly measurable mapping

[ˈwiːkli ˈmeʒərəbəl ˈmæpɪŋ]

слабо відносне сімейство розподілів - relatively weak compact family of distributions [ˈrelətɪvli wiːk kəmˈpækt ˈfæməli əv ,dɪstrɪˈbjʊːʃənz]

слухна оцінка - consistent estimator [kənˈsɪstənt ˈestɪmeɪtər]

слухний критерій - consistent test [kənˈsɪstənt test]

спадковий - hereditary [həˈredɪtəri]

спектр - spectrum pl spectra [ˈspektrəm pl ˈspektrə]

сплайн - spline [splaɪn]

сполучені стани - communicating states

[kə,mjuːnɪˈkeɪtɪŋ steɪts]

спостереження - observation [ˌɒbzəˈveɪʃn]

спостережуваний - observable [əbˈzɜːvəbl]

справжній ефект рівня - true effect of a level

[truː ɪˈfekt əv eɪ ˈlevl]

сприятлива подія - favorable event

[ˈfeɪvərəbəl ɪˈvent]

спрямована множина - directed set [daɪˈrektɪd set]

спрямований - directed [daɪˈrektɪd]

співвідношення - relation [rɪˈleɪʃn]

співвідношення невизначеностей - uncertainty relation

[ʌnˈsɜːtənti rɪˈleɪʃn]

спільна функція розподілу - joint distribution function

[dʒɔɪnt ,dɪstrɪˈbjʊːʃn flŋkʃn]

спільна щільність ймовірності - joint probability density

[dʒɔɪnt ,prɒbə'bilɪti 'densɪti]

спільний - joint [dʒɔɪnt]

спільний розподіл - joint distribution [dʒɔɪnt ,dɪstrɪ'bjʊ:ʃn]

спільний розподіл ймовірності - joint probability distribution

[dʒɔɪnt ,prɒbə'bilɪti ,dɪstrɪ'bjʊ:ʃn]

стабільний - stable ['steɪbl]

стабільність - stability [stə'bilɪti]

стан - state [steɪt]

стандартна похибка - standard error ['stændəd 'erə(r)]

стандартне відхилення - standard deviation ['stændəd 'di:vɪʃn],

standard error ['stændəd 'erə(r)]

стандартний - standard ['stændəd]

стандартний марківський процес - standard Markov process

['stændəd 'mɑ:kɒv 'prəʊses]

стандартний нормальний розподіл - standard normal distribution

['stændəd 'nɔ:ml ,dɪstrɪ'bjʊ:ʃn]

статистика (функція спостережень) - statistic [stə'tɪstɪk]

статистика - statistics [stə'tɪstɪks]

статистика Колмогорова - Kolmogorov statistic

[kɒlmɒ'gɒrɒv stə'tɪstɪk]

статистика  $\chi^2$ -квадрат - chi square statistic [tʃi: skweə(r) stə'tɪstɪk]

статистична стійкість частот - statistical stability of frequencies

[stə'tɪstɪkəl stə'bilɪti əv 'fri:kwənsɪz]

статистична сума (для розподілу Гіббса) - normalizing factor

[nɔ:mə'laɪzɪŋ 'fæktə(r)]

статистичний - statistical [stə'tɪstɪkəl]

статистичний контроль якості - statistical quality control

[stə'tɪstɪkəl 'kwɒləti kən'trəʊl]

статистичний приймальний контроль - acceptance inspection

[æk'septəns in'spekʃən], statistical acceptance inspection

[stə'tɪstɪkəl æk'septəns in'spekʃən]

статистичні висновки - inference ['ɪnfərəns]

стаціонарний - stationary ['steɪʃənəri]

стаціонарний в широкому сенсі процес - wide-sense stationary process

[waɪd sens'steɪʃənəri 'prəʊses]

стаціонарний розподіл - steady-state distribution [ ,dɪstrɪ'bju:ʃn]

стаціонарність - stationarity [stationarity]

стохастически - stochastically [stə'kæstɪkəli]

стохастическое диференційне рівняння - stochastic differential equation

[stə'kæstɪk ,dɪfə'renʃjəl ɪ'kweɪzən]

стохастична обмеженість - stochastic boundedness

[stə'kæstɪk 'baʊndɪdnəs]

стохастичний - stochastic [stə'kæstɪk]

стохастичний базис - stochastic basis [stə'kæstɪk 'beɪsɪs]

стохастично-еквівалентні випадкові процеси - stochastically equivalent random

processes [stə'kæstɪkəli ɪ'kwɪvələnt 'rændəm 'prəʊsesɪz]

стохастично-неперервна перехідна функція - stochastically continuous transition

function [stə'kæstɪkəli kən'tɪnjuəs træn'zɪʃən fʌŋkʃn]

стратегія - strategy ['strætədʒi]

строгий - strict [strikt]

строгий квазіпарний граф - strict quasi-parity graph [strikt quasi-parity gra:f]

строго - strictly ['striktli]

строго опукла функція - strictly convex function ['striktli 'kɒnveks fʌŋkʃn]

строго стійкий розподіл - strictly stable distribution ['striktli steɪbl ,dɪstrɪ'bju:ʃn]

структура - structure ['strʌktʃə(r)]

стрункий граф - slim graph [slɪm gra:f]

стуаїнь - exponent [ɪk'spəʊnənt]

ступінчаста функція - step function [step fʌŋkʃn]

ступінчастий випадковий процес - step random process [step 'rændəm 'prəʊses]

ступінчастий марківський процес - step Markov process [step 'mɑ:kɒv 'prəʊses]

ступінь - power ['paʊə(r)], step [step]

ступінь свободи - degree of freedom [di'gri: əv 'fri:dəm]

стійкий - stable ['steɪbl]

стійкий розподіл - stable distribution

['steɪbl ,dɪstrɪ'bju:ʃn]

стійкість - stability [stə'bɪlɪti]

стійкість за ймовірністю - stability in probability [stə'bɪlɪti ɪn ,prɒbə'bɪlɪti]

стійкість системи обслуговування - stability of a queueing system

[stə'bɪlɪti əv eɪ 'kju:ɪŋ 'sɪstəm]

суб'єктивна ймовірність - subjective probability [səb'dʒektɪv ,prɒbə'bɪlɪti]

субмарківська півгрупа - sub-Markov semigroup

[sʌb 'mɑ:kɒv semi'gru:p]

сукупність - population [ ,pɒpjʊ'leɪʃn], set [set] сума - sum [sʌm]

сума / об'єднання подій - sum of events [sʌm əv ɪ'vents]

сума відносних помилок - sum of relative errors

[sʌm əv 'relətɪv 'erəz]

суміш - mixture ['mɪkstʃə(r)]

суміш нормальних розподілів - normal mixture

[nɔ:ml ,dɪstrɪ'bju:ʃnz 'mɪkstʃə]

суміш розподілів - mixture of distributions

['mɪkstʃə(r) əv ,dɪstrɪ'bju:ʃənz]

суміш станів - mixture of states ['mɪkstʃə(r) əv steɪts]

суттєвий - essential [ɪ'senʃl]

схема - design [di'zain], scheme [ski:m]

схема змішування - hashing scheme

['hæʃɪŋ ski:m]

схема множення - multiplication scheme

[,mʌltɪplɪ'keɪʃn ski:m]

схема серій - triangular array scheme

[traɪ'æŋɡjʊləɹ ə'reɪ ski:m]

сідлова точка - saddle point [sædʌl pɔɪnt]

сімейство (розподілів) з параметром зсуву – location shift family

[ləʊ'keɪʃn ʃɪft 'fæməli]

сімейство - family ['fæməli]

## T

таблиця (прямокутна) (елементів) - array [ə'reɪ]

таблиця - table ['teɪbl]

таблиця спряжності (ознак) - contingency table [kən'tɪndʒənsi 'teɪbl]

твірна функція - generating function ['dʒenəreɪtɪŋ flŋkʃn]

твірна функція випадкової величини - generating function of a random variable ['dʒenəreɪtɪŋ flŋkʃn əv eɪ 'rændəm 'veəriəbəl]

твірна функція моментів - moment generating function

['məʊmənt 'dʒenəreɪtɪŋ flŋkʃn]

твірний оператор - generator ['dʒenəreɪtər]

теорема Бернуллі - Bernoulli theorem

[bɜ:'nɒli 'θiərəm]

теорема Котельникова - Kotelnikov theorem

[kɒ'telɪkɒv 'θiərəm]

теорема Ляпунова - Lyapunov theorem

[lɪjə'pɒv 'θiərəm]

теорема Шеннона - Shannon theorem

[ˈʃenən 'θiərəm]

теорема складання (імовірностей) - addition theorem

[ə'dɪʃn 'θiərəm]

теорема стійкості - stability theorem

[stə'bɪlɪti 'θiərəm]

теорія масового обслуговування - queueing theory

[ˈkju:ɪŋ ˈθiəri]

теорія надійності - reliability theory

[rɪlaɪəˈbɪlɪti ˈθiəri]

теорія систем обслуговування - queueing theory

[ˈkju:ɪŋ ˈθiəri]

тета-граф - theta graph [ˈθetə ɡrɑ:f]

тип - type [taɪp]

толерантна межа - tolerance bound [ˈtɒlərəns baʊnd],

tolerance limit [ˈtɒlərəns ˈlɪmɪt]

толерантний інтервал - tolerance interval

[ˈtɒlərəns ˈɪntəvl]

толерантність - tolerance [ˈtɒlərəns]

топологічний - topological [tɒpɒˈlɒdʒɪkəl]

топологія - topology [tɒpˈɒlədʒi]

тотальний - total [ˈtəʊtl]

тотожний - identical [aɪˈdentɪkəl]

тотожність - identity [aɪˈdentəti]

точка - point [pɔɪnt]

точковий - point [pɔɪnt]

точний - exact [ɪɡˈzækt]

траєкторія - trajectory [trəˈdʒektəri]

транзитивний - transitive [ˈtrænsətɪv]

транзитивний ланцюг Маркова - transitive Markov chain

[ˈtrænsətɪv ˈmɑ:kɒv tʃeɪn] транзитивність - transitivity [trænsəˈtɪvɪti]

трансверсальний - transversal [trænsˈvɜ:səl]

траєкторія - path [pɑ:θ]

тренд - trend [trend]



тривалість/ час очікування - waiting time [ˈweɪtɪŋ taɪm]

тригонометричний ряд - trigonometric series

[ˌtrɪɡəˈnɒmetrɪk ˈsɪəriːz]

трикутне число - triangular number

[traɪˈæŋɡjʊləɹ ˈnʌmbə(r)]

трикутний розподіл - Simpson distribution

[ˈsɪmpsn ˌdɪstrɪˈbjʊːʃn], triangular distribution [traɪˈæŋɡjʊləɹ ˌdɪstrɪˈbjʊːʃn]

трикутник - triangle [ˈtraɪæŋɡl]

триноміальний розподіл - trinomial distribution [traɪˈnəʊmɪəl ˌdɪstrɪˈbjʊːʃn]

## У

увігнута функція - concave function [ˈkɒŋkeɪv fʌŋkʃn]

узагальнена дисперсія - generalized variance [ˈdʒenərəlaɪzd ˈveəriəns]

узагальнений / складний розподіл Пуассона - compound Poisson distribution

[ˈkɒmpaʊnd pɔɪzn ˌdɪstrɪˈbjʊːʃn]

узгоджений - consistent [kənˈsɪstənt]

узгодження - consensus [kənˈsensəs]

узгоджені розподіли - consistent distributions

[kənˈsɪstənt ˌdɪstrɪˈbjʊːʃnz]

умова - condition [kənˈdɪʃn]

умова регулярності - regularity condition [regjʊˈlærɪti kənˈdɪʃn]

умова роздільності - separability condition [sepərəˈbɪlɪti kənˈdɪʃn]

умова ергодичності - ergodicity condition [ɜːgəʊˈdɪsɪti kənˈdɪʃn]

умовна дисперсія - conditional variance [kənˈdɪʃənəl ˈveəriəns]

умовна корисність - conditional utility [kənˈdɪʃənəl juːˈtɪlɪti]

умовна функція правдоподібності - conditional likelihood function

[kənˈdɪʃənəl ˈlaɪklihood fʌŋkʃn]

умовна функція розподілу - conditional distribution function

[kənˈdɪʃənəl ˌdɪstrɪˈbjʊːʃn fʌŋkʃn]

умовна щільність - conditional density

[kənˈdɪʃənəl ˈdensɪti]

умовна ймовірність - conditional probability

[kən'diʃənəl ,prɒbə'bɪlɪti]

умовне математичне очікування - conditional expectation

[kən'diʃənəl ,ekspek'teɪʃn]

умовний - conditional [kən'diʃənəl]

умовний розподіл - conditional distribution

[kən'diʃənəl ,dɪstrɪ'bju:ʃn]

універсальний - universal [ˌju:nɪ'vɜ:səl]

унімодальність - unimodality [ˌju:nimɒ'delɪti]

унітарний - unitary ['ju:nɪtəri]

управління - control [kən'trəʊl]

урнова схема/ модель - urn model [ɜ:n 'mɒdl]

усереднення стохастичного диференційного рівняння - homogenization of a stochastic differential equation

[ˌhɒmədʒeni'zeɪʃn əv eɪ stə'kæstɪk ,dɪfə'renʃəl ɪ'kweɪzən]

ухилення - deviation [di:vi'eɪʃn]

## Ф

фактор - factor ['fæktə(r)]

факторний - factorial [fæk'tɔ:riəl]

факторіал - factorial [fæk'tɔ:riəl]

факторіальний - factorial [fæk'tɔ:riəl]

феномен – phenomenon pl phenomena

[fə'nɒmɪnən pl fə'nɒmɪnə]

форма - form [fɔ:m]

формула – formula pl formulae

['fɔ:mjʊlə pl 'fɔ:mjʊli:]

формула Бейєса - Bayes formula ['beɪes 'fɔ:mjʊlə]

формула Колмогорова - Kolmogorov formula

[kɒlmɒ'gɒrɒv 'fɔ:mjʊlə]

формула Пальма - Palm formula [pɑ:m 'fɔ:mjʊlə]

формула Шеннона - Shannon formula ['ʃæənən 'fɔ:mjʊlə]

формула повної ймовірності - total probability formula

['təʊtl ,prɒbə'bɪlɪti 'fɔ:mjʊlə]

функціонал дії - action functional ['æksjən 'fʌŋkʃənəl]

функціонал - functional ['fʌŋkʃənəl]

функціонал мінімальної відстані - minimum distance functional

['mɪnɪməm 'dɪstəns 'fʌŋkʃənəl]

функція - function [fʌŋkʃn]

функція впливу - influence function ['ɪnfluəns fʌŋkʃn]

функція втрат - loss [lɒs], loss function [lɒs fʌŋkʃn]

функція корисності - utility function [ju:'tɪlɪti fʌŋkʃn]

функція міток - score function [skɔ:(r) fʌŋkʃn]

функція надійності - reliability function [rɪlaɪ'əblɪlɪti fʌŋkʃn]

функція правдоподібності - likelihood function

['laɪklɪhʊd fʌŋkʃn]

функція часткової автокореляції - partial autocorrelation function

['pɑ:ʃəl ɒ,təʊkɒrre'leɪʃn fʌŋkʃn]

функція що повільно змінюється - slowly varying function

['sləʊli 'veəriŋ fʌŋkʃn]

функція інтенсивності відмов - failure rate function

['feɪljə(r) reɪt fʌŋkʃn]

функція, що допускає незміщену оцінку - estimable function

['estɪməbl' fʌŋkʃn]

функція часткової автоковаріації - partial autocovariance function

['pɑ:ʃəl ɒ,təʊkɒveəri'eɪʃn fʌŋkʃn]

функція інтенсивності відмови - hazard function / hazard rate function

['hæzəd fʌŋkʃn / 'hæzəd reɪt fʌŋkʃn]

фіктивний стан - fictitious state [fɪk'tɪʃəs steɪt]

фільтрація - filtering ['fɪltərɪŋ]

фільтрація випадкового процесу - filtering of a random process

['fɪltərɪŋ əv eɪ 'rændəm 'prəʊses]

## X

характеристика - attribute ['ætrɪbjʊ:t], characteristic

[,kærəktə'rɪstɪk], response [rɪ'spɒns]

характеристична функція - characteristic function

[,kærəktə'rɪstɪk 'fʌŋkʃn]

характеристичний - characteristic [,kærəktə'rɪstɪk]

хвіст розподілу - tail of a distribution [teɪl əv eɪ ,dɪstrɪ'bju:ʃn]

хі-квадрат - chi square [tʃi: skweə(r)]

хі-квадрат критерій - chi square test [tʃi: skweə(r) test]

хі-квадрат розподіл - chi square distribution [tʃi: skweə(r) ,dɪstrɪ'bju:ʃn]

хі-розподіл - chi distribution [tʃi: ,dɪstrɪ'bju:ʃn]

## Ц

цензурована/зрізана вибірка - trimmed sample [trɪmd 'sɑ:mpl]

цикл - cycle ['saɪkl]

циклічний – cyclic(al) ['saɪklɪk(əl)]

циклічний/періодичний ланцюг Маркова – cyclic(al) Markov chain

['saɪklɪk(əl) 'mɑ:kɒv tʃeɪn]

ціле (число) - integer ['ɪntɪdʒə]

цілком вимірний процес - well measurable process

[wel 'meʒərəbɪ'prəʊses]

цілком позитивне відображення - completely positive mapping

[kəm'pli:tli 'pɒzətɪv 'mæpɪŋ]

цільова функція - objective function [əb'dʒektɪv fʌŋkʃn]  
ціна (ігри) - value ['vælju:]

## Ч

час - time [taɪm]

час / тривалість обслуговування - service time ['sɜ:vɪs taɪm]

час перебування - sojourn time ['sɔ:dʒən taɪm]

часовий ряд - time series [taɪm 'sɪəri:z]

часткова сума - partial sum ['pɑ:ʃəl sʌm]

частковий - partial ['pɑ:ʃəl]

частковий бейсовський підхід - partial Bayes approach ['pɑ:ʃəl 'beɪs ə'prəʊtʃ]

частково впорядкована множина - poset [pəʊst]

частково упорядкована множина - partially ordered set

['pɑ:ʃəli 'ɔ:dəd set]

частота - frequency ['fri:kwənsi]

частота випадкової події - frequency of a random event

['fri:kwənsi əv eɪ 'rændəm ɪ'vent]

частота інтерпретації ймовірності - frequency interpretation of probability

['fri:kwənsi ɪn,tʒ:prɪ'teɪʃn əv ,prɒbə'bɪlɪti]

черга - queue [kju:]

чисельний - numerical [nju:'merɪkl]

число - number ['nʌmbə(r)]

число незалежності - independence number [ˌɪndɪ'pendəns 'nʌmbə(r)]

число розсіювання - scattering number ['skætərɪŋ 'nʌmbə(r)]

чиста бейсовська стратегія - pure Bayes strategy [pjʊə(r) 'beɪs'strætədʒi]

чиста стратегія - pure strategy [pjʊə(r) 'strætədʒi]

чистий - pure [pjʊə(r)]

чистий стан - pure state [pjʊə(r) steɪt]

чисто розривний процес - purely discontinuous process

[ˈpjʊəli ˌdɪskənˈtɪnjuəs ˈprəʊses]

чотирикутник - quadrangle [ˈkwɒdræŋɡl]

чутливість - sensitivity [ˌsensɪˈtɪvɪti]

чутливість до великих помилок - gross error sensitivity

[grəʊs ˈerə(r) ˌsensɪˈtɪvɪti]

## Ш

шар - stratum pl strata [ˈstrɑ:təm pl ˈstrɑ:tə]

швидкість - rate [reɪt]

швидкість передачі інформації - rate of information transmission

[reɪt əv ˌɪnfəˈmeɪʃn trænzˈmɪʃən]

швидкість створення повідомлень - rate-distortion function [reɪt dɪˈstɔ:t ˈflŋkʃn]

шкала - scale [skeɪl]

шкала інтервалів - interval scale [ˈɪntəvl skeɪl]

шкалування - scaling [ˈskeɪlɪŋ]

шлях - path [pɑ:θ]

шлях на решітці - lattice path [ˈlætlɪs pɑ:θ]

штрафна функція - penalty function [ˈpenəlti flŋkʃn]

шум - noise [nɔɪz]

## Щ

щільний - tight [taɪt]

щільність (сімейства заходів) - tightness [ˈtaɪtnɪs]

щільність - density [ˈdensɪti]

щільність ймовірності виходу - exit density [ˈeksɪt ˈdensɪti],

exit rate [ˈeksɪt reɪt]

## Я

явище – phenomenon pl phenomena [fə'nomɪnən pl fə'nomɪnə]

які можна переставити - exchangeable random variables

[ɪks'ʃeɪndʒəbl 'rændəm 'veəriəb|z]

якісний - qualitative ['kwɒlɪtətɪv]

## ЛІТЕРАТУРА ДО ДОДАТКУ В

1. Англо-український математичний словник. Уклад. Р.О.Воронка та ін. Київ, НВП «Дидактика», 1993 – 224 с.
2. Дорожжина В.П. Английский язык для студентов - математиков./Учебник, Москва, ООО «Издательство Астрель», 2001- 496с.
3. Коваленко Е.Г. Англо-русский математический словарь: в 2 т. Москва, «Эрика», 1994 – 918 с.

## Ресурси Інтернета

1. [http://mathematics\\_statistics\\_en\\_ru.academica](http://mathematics_statistics_en_ru.academica)
2. [www.awl-elt.com](http://www.awl-elt.com)
3. [www.math-atlas.org](http://www.math-atlas.org)
4. <http://nsportal.com.ua/book/213>