

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ  
ТА ІНФОРМАТИЗАЦІЇ**

**О.В. Полоневич, В.Р.Косенко, К.П.Сторчак, О.М.Ткаленко**



**ТЕОРІЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ**

Навчальний посібник

для студентів, що навчаються за спеціальністю

126 - "Інформаційні системи та технології"

**Київ - 2018**

УДК 004.72

ББЛ 32.973.202

Рецензенти: директор Навчально-наукового інституту телекомунікацій та інформатизації доктор технічних наук, професор С.В.Козелков

декан факультету Інформаційних технологій  
доктор технічних наук А.П.Бондарчук

Затверджено Вченої радою факультету Інформаційних технологій Навчально-наукового інституту телекомунікацій та інформатизації Державного університету телекомунікацій в якості навчального посібника

Навчальний посібник призначений для самостійної роботи студентів вищих навчальних закладів під час поглибленого вивчення дисципліни «Теорія інформаційних процесів та систем» та забезпечує формування знань щодо основних принципів і методів побудови інформаційних систем, необхідних при створенні, дослідженні та експлуатації систем різної природи. Допомогає сформувати розуміння студентами процесів, які відбуваються в інформаційних системах. Забезпечує підготовку студентів до діяльності, пов'язаної з використанням інформаційних технологій та сприяє формуванню професійних компетенцій, що визначають здатність студента до використання теоретичних знань та практичних навичок при розробці, аналізі та застосуванні інформаційних систем.

## ЗМІСТ

<b>1 1. БАЗОВІ ПОНЯТТЯ ТЕОРІЇ СИСТЕМ.....</b>	<b>4</b>
1.1 Визначення поняття системи. Закони теорії систем.....	4
1.2 Базові поняття теорії систем .....	9
1.3 Властивості систем.....	16
1.4 Властивості систем.....	32
1.5 Класифікація сутностей систем.....	39
<b>2 ОСНОВИ ТЕОРІЇ ІНФОРМАЦІЇ .....</b>	<b>43</b>
2.1 Визначення поняття «інформація». Її основні властивості.....	43
2.2 Основні інформаційні процеси.....	47
2.3 Знаходження кількості інформації.....	51
2.4 Кодування інформації.....	53
2.4.1 Двійкова система числення. Арифметичні операції в двійковій системі числення.....	53
2.4.2 Вісімкова і шістнадцяткова системи числення.....	56
2.5 Основи завадостійкого кодування.....	61
2.5.1 Код з перевіркою на парність.....	66
2.5.2 Інтеративний код (несистематичний (нелінійний) код).....	67
2.5.3 Характеристики лінійних кодів .....	68
2.5.4 Оптимальні коди.....	72
2.5.5 Принцип циклічного кодування .....	77
<b>3 ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ. ОСНОВИ ТЕОРІЇ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ.....</b>	<b>79</b>
3.1 Визначення інформаційна система .....	79
3.2 Класифікація інформаційних систем.....	81
3.3 Принцип роботи інформаційної системи.....	83
3.4 Загальна схема передачі інформації по лінії зв'язку.....	86
3.5 Моделі сигналів.....	91
3.6 Характеристика каналу передачі даних.....	98
<b>СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....</b>	<b>101</b>

# 1. БАЗОВІ ПОНЯТТЯ ТЕОРІЇ СИСТЕМ

## 1.1. Визначення поняття системи. Закони теорії систем.

Історія формування системного підходу в дослідженні всіх об'єктів реального світу веде свій початок з давніх часів. Давньогрецький філософ Демокріт (460-360 рр. до н. е.) поклав початок матеріалістичному атомізму (поділ цілого на частини-атоми), визначивши фундаментальні категорії природознавства - ціле, елементи і зв'язок між ними. З цього моменту став формуватися системний погляд на всі предмети, що оточують людину в природі.

З виникненням науки і філософії, які покликані пізнати і пояснювати всі явища і процеси в природі і суспільстві, поняття «система» постійно змінювалося і наповнювалося все новим змістом. Всі еволюційні процеси, що відбуваються в науці, не змогли докорінно змінити сутність терміна «система». У прямому перекладі з грецького слово «система» означає «склад», т. б. складене, поєднане з частин.

У навчальному посібнику В. Н. Спіцнадель «Основи системного аналізу» дається докладний опис етапів формування і розвитку системного підходу до дослідження всього і вся як системи. У даній лекції зупинимося лише на фундаментальних положеннях і поняттях теорії систем, які дозволяють дати узагальнене уявлення про її сутність.

Формування теорії систем відбувалося в процесі узагальнення знань предметних галузей наук і синтезу загальних закономірностей освіти, функціонування і поведінки систем в природі, суспільстві і техніці. Великий науковий внесок в розвиток теорії систем внесли такі вчені, як Н. Вінер, Л. Берталанфі, І. В. Блауберг, А. А. Богданов, М. Месаревич, А. І. Уемов, Ю. А. Урманцев, В. Н. Садовський, Ю. І. Черняк, У. Ешбі та багато інших.

Наприклад, М. Месаревич, А. І. Уемов, Ю. А. Урманцев сформулювали загальні закономірності структурно-функціонального аналізу і синтезу як

провідних методів системного дослідження об'єкта-системи. В рамках загальної теорії систем (ЗТС) «система» розглядається як поєднання безлічі елементів зі своїми властивостями, безлічі відносин і безліч зв'язків між ними.

Засобом формального (математичного) опису системи стала теорія множин.

Причому часто зв'язок і відносини розглядалися як синоніми, але це не зовсім коректно. Мобільний зв'язок - це функціональна характеристика елемента, а відношення - це структурна характеристика.

А. А. Богданов розробив теорію загальної організаційної науки - тектологію, в якій обґрунтував умови організованого і неорганізованого порядку в системі за рахунок можливих варіантів реакції самої системи на дії чинників зовнішнього середовища. Будь-який вплив з зовнішнього середовища на систему може викликати три типи «реакції» як в самій системі, так і в її елементах, зв'язках і відносинах: активну організованість, дезорганізованість, гармонізацію.

Н. Вінер створив теорію кібернетики, в якій обґрунтував закони інформаційної взаємодії елементів в процесі управління системою. Практичною реалізацією інформаційних ідей управління стало розвиток комп'ютерної техніки та сучасних методів інформаційного моделювання систем.

Всі ці факти дозволили збагатити і доповнити теорію систем, розглядаючи різні аспекти питань організації, існування, поведінки, функціонування і упорядкованого з'єднання елементів в ціле.

Теорія систем вивчає закономірності організації, структурування, функціонування, поведінки і існування будь-якого об'єкта в якості системи. Методологічною основою побудови теорії систем стали такі універсальні наукові принципи як:

1) *цілісність* - це закон стійко-динамічного стану системи при збереженні зовнішньої форми і змісту в умовах взаємодії з навколишнім середовищем;

2) *дискретність* - це закон розподілу цілого на елементарні частинки (елементи системи);

3) *гармонія* - це закон формування зв'язків при обміні енергією, інформацією і речовиною між елементами системи і між цілою системою і навколишнім середовищем;

4) *ієрархія* - це закон побудови відносин між елементами цілого (структура управління системою);

5) *адекватність* - це закон співвідношення симетрії і десиметрії в природі як ступінь відповідності опису реальної системи формальними методами.

Наведена система принципів не є вичерпною, але вона визначає науково-методологічну основу створення теорії систем. Як впливає зі змісту наведених вище принципів, фундаментальною основою побудови теорії є закони природних утворень, тобто природних систем. Фундаментальними законами діалектики є: закон руху, закон розвитку і закон обміну енергією, інформацією і речовиною. Головним науковим результатом розвитку теорії систем стало формулювання основних законів.

*Перший закон теорії систем* - це закон функціонального розвитку (еволюції) або закон цілісності. Він сформульований на основі принципу цілісності і розглядається, як здатність системи зазнавати зміни всередині своєї оболонки або навколишнього середовища, зберігаючи саму себе.

Перший закон теорії систем розкриває сутність системи як єдиного, цілого і може відповідати на питання *що* таке система. В рамках цього закону описується ряд закономірностей структурної організації властивостей, зв'язків і відносин між елементами, обмеженими єдиною формою існування. Життєдіяльність такої системи забезпечена внутрішньою організацією системи управління загальними ресурсами. Сталий або нестійкий стан системи залежить від швидкості обміну між елементами системи потоками енергії, інформації і речовини. У процесі такого обміну часто елемент може

втратити свої властивості або придбати нові, з умовою всіх змін в рамках єдиної форми існування.

З точки зору лінійного світогляду, закон цілісності пояснює матеріально-фізичну сутність еволюційного розвитку систем. В даному випадку розвиток системи обумовлено лише ступенем впливу зовнішніх факторів управління цим розвитком (кібернетичний принцип). Система розглядається в якості «чорного ящика», тобто вхід - вихід, початковий і кінцевий стани. Дослідженням внутрішніх процесів реорганізації елементів в цілісній організації нехтують, внаслідок їх достатньої складності. Такі процеси, як правило, досліджуються в рамках предметних аспектів.

З точки зору нелінійного світогляду, закон цілісності розкриває енергоінформаційну сутність внутрішнього саморозвитку системи, за рахунок зміни станів хаосу і порядку в самій системі (синергетичний принцип). В цьому випадку - дослідження системи акцентує увагу на процесах, що відбуваються в елементах самої системи, які залежать від випадкового поєднання внутрішніх і зовнішніх чинників.

На думку авторів, обидва принципи є лише доповненням один одного і використані разом дозволяють найбільш повно отримати нову якість знань про внутрішній потенціал ресурсів для розвитку систем.

*Другий закон теорії систем* - це закон функціональної ієрархії систем. Він сформульований на основі принципу ієрархії елементів в системі і пояснює цілеутворення (мету) функціонування даної системи в навколишньому середовищі, її функціональне призначення.

Другий закон теорії систем відповідає на питання, як потрібно керувати цією системою для її корисного використання, не доводячи до руйнування. В рамках цього закону пояснюються закономірності виникнення внутрішньої «реакції» з боку, як самих елементів системи, так і системи в цілому на зовнішні впливи. Така реакція може викликати позитивний, негативний і нейтралізуючий ефекти в структурному утворенні.

В рамках кібернетичного підходу другий закон теорії систем пояснює закономірності побудови рівнів зовнішнього управління системою, тобто з точки зору навколишнього середовища. В рамках синергетичного підходу - закономірності виникнення саморозвитку, самоврядування системою за рахунок гармонізації обміну різними ресурсами між самою системою і її оточенням.

Обидва закони теорії систем дозволяють сформулювати найбільш об'єктивні і повні знання про загальні закономірності існування та розвитку систем різної природи на основі принципу гармонізації взаємодії, взаємозв'язків і взаємовідносин між частиною і цілим. Теорія систем дає абстрактне уявлення про системи і методи їх дослідження та створення. Рівень такої абстракції може бути різний. Це і вербальний опис системи, графічний, функціональний, математичний.

У теорії систем широко використовуються методи моделювання на основі лінійного та нелінійного програмування, в основі якого лежать методи таких теорій, як:

- теорія множин, що описує формально властивості системи і її елементів на основі математичних аксіом;
- теорія осередків, що вивчає систему в якості підсистем (осередків) з певними граничними умовами, причому між цими осередками відбувається процес перенесення властивостей (наприклад, «ланцюгова» реакція);
- теорія мереж, що вивчає функціональну структуру зв'язків і відносин між елементами в системі;
- теорії графів, що вивчає реляційні (матричні) структури, що подаються в топологічному просторі;
- теорія інформації, що вивчає способи інформаційного опису системи-об'єкта на основі кількісних характеристик;
- теорія кібернетики, що вивчає системи управління в якості процесу передачі інформації між елементами системи і між системою і навколишнім середовищем, з урахуванням принципу зворотного зв'язку;



- теорія автоматів, в якій система розглядається з точки зору «чорного ящика», тобто вхідних і вихідних параметрів;

- теорія ігор, яка досліджує систему-об'єкт з точки зору «раціональної» поведінки за умови отримання максимального виграшу при мінімальних втратах;

- теорія оптимальних рішень, яка дозволяє математично описати умови вибору найкращого рішення їх альтернативних можливостей;

- теорія черг, яка використовує методи оптимізації обслуговування елементів в системі потоками даних при масових запитах.

У сучасних системних дослідженнях економічних систем все більше уваги приділяється таким теоріям, як теорія бифуркації, теорія особливостей, теорія катастроф, які використовують нелінійні математичні методи, що описують динамічну стійкість систем.

## 1.2 Базові поняття теорії систем

Як впливає з вищевикладеного, принцип ієрархії є основою побудови об'єктивного світу, в якому всі існуючі системи підпорядковані один одному, тобто вступають в певні відносини. Тому прийнято в теорії систем виділяти два основних поняття: *система і середовище*.

Поняття «*середовище*» слід розуміти як сферу, що обмежує структурне утворення системи. Складна взаємодія системи і середовища як її оточення визначається як понять відповідно «система» і «надсистема». Це співвідношення як:

- 1) систему, що утворить особливу єдність із середовищем;
- 2) будь-яку досліджувану систему, що представляє собою елемент системи більш високого порядку;
- 3) елементи будь-якої досліджуваної системи, які, в свою чергу, зазвичай виступають як системи більш низького порядку.

В одному з словників-довідників з математики, кібернетики та економіки дається таке визначення поняттю «середовище».

Середовищі є сукупність всіх об'єктів, зміна властивостей яких впливає на систему, а також тих об'єктів, чії властивості змінюються в результаті поведінки системи.

Поняття «система» стало термінологічної основою побудови теорії систем. Тракткування поняття «система» має різні варіанти. Наведемо приклади деяких з них.

1) Система - це об'єктивна єдність закономірно пов'язаних один з одним предметів, явищ, а також знань про природу і суспільство

2) Система - це комплекс елементів, що знаходяться у взаємозв'язку (У. Барталанфі).

3) Система - це множина елементів з відносинами між ними і між їх атрибутами (А. Холл, Р. Фейджин).

4) Система є свій відбиток у свідомості суб'єкта (дослідника, спостерігача) властивостей об'єктів і їх відносин у вирішенні задачі дослідження, пізнання (Ю.І. Черняк).

5) Система - це сукупність пов'язаних і взаємозалежних один з одним елементів, що становлять деяке цілісне утворення, що має нові властивості, відсутні у її елементів (О.Т. Лебедев, С.А. Язвенко).

Зміст наведених понять для опису лише одного терміна показує, що кожен з авторів має своє ставлення до даного терміну.

Для того щоб виробити найбільш об'єктивне ставлення до даного терміну, необхідно виділити найбільш загальні властивості, які характеризують поняття «система». До таких властивостей можна віднести:

1) Наявність елементів, які можуть бути описані атрибутами (властивостями самих елементів).

2) Наявність різного виду зв'язків між елементами, які визначають ступінь їх організації в цілому (функціональні властивості).

3) Наявність відносин між елементами, які визначають рівні ієрархії в побудову цілого освіти (властивість співвідношення).

4) Наявність мети існування системи, яка визначає доцільність її існування в навколишньому середовищі (властивість самоврядування або управління).

5) Наявність мови опису стану і функціонального поведінки системи (властивість ізоморфізму, різноманіття засобів опису).

Всі перераховані властивості системи в тій чи іншій мірі кореспондуються з методологічними принципами теорії систем і можуть розглядатися як закономірності дослідження, проектування і створення будь-яких систем.

На підставі цих властивостей можна сформулювати ще одне визначення.

*Система* - це цілісне структурне утворення, що виділяється дослідником з навколишнього середовища на основі єдності функціонування безлічі взаємопов'язаних об'єктів в якості елементів, що володіють певними властивостями, зв'язками і відносинами.

Поняття «*елемент*» системи застосовувати в системних дослідженнях для визначення способу відділення частини від цілого. В даному сенсі елемент виступає як своєрідна межа можливого поділу системи на «елементарні» складові, які дозволяють найкращим способом розібратися і зрозуміти закономірності функціонування кожної частини системи в цілісному освіті. Виділення елементів системи дозволяє краще розібратися в будові самої системи і визначити її структурно-функціональні зв'язки і відносини. Визначення кількості таких елементів в процесі дослідження системи має суб'єктивно-творчий характер. Кожен дослідник, формулюючи цілі і завдання дослідження, визначає і глибину розбиття цілої системи на частини. Елементами системи можуть бути як підсистеми, так і її компоненти, в залежності від тих властивостей, якими володіє виділений елемент системи.

Поняття «*підсистема*» має на увазі виділення щодо незалежної частини системи, яка сама має властивості об'єкта-системи. До таких властивостей

можна віднести наявність структурної цілісності, підцелей функціонування і комунікативності з іншими підсистемами (елементами). Сама підсистема повинна складатися з неоднорідних елементів, тобто що володіють різними властивостями.

Поняття *«компонента»* стосовно до елементів системи вживається в тому випадку, коли сукупність властивостей елементів однорідна.

Поняття *«зв'язок»* і *«ставлення»* мають досить складне пояснення. У спеціальній літературі прийнято поняття *«зв'язок»* ототожнювати з динамічним станом елементів, яке визначається цілями функціонування і методами управління в процесі встановлення зв'язку.

Поняття *«ставлення»* характеризується статикою будови самого елемента, тобто його структурою. В теорії логіки прийнято *«ставлення»* розглядати як співвідношення, супідрядність одного властивості елемента іншому. Таке співвідношення теж ґрунтується на різних видах зв'язків, наприклад, в мікроелементах. Поняття *«ставлення»* можна розглядати як *«зв'язки будови»* елемента.

Поняття *«зв'язок»* визначається як прояв властивостей комунікації самого елемента з його оточенням. Зв'язок здійснюється на основі закону обміну енергією, інформацією і речовиною в процесі динамічного розвитку самого елемента. Поняття *«зв'язок»* описує ступінь обмеження вільного розвитку самого елемента. Всі елементи будь-якої системи завжди вступають у взаємодію один з одним, втрачаючи при цьому деякі зі своїх властивостей. Наявність властивостей зв'язків у елемента (комунікації) забезпечує його життєдіяльність. Отже, поняття *«зв'язок»* визначає функціонально-процесуальну характеристику системи, а поняття *«ставлення»* - функціонально-структурну характеристику.

За класифікацією І.В. Блауберг, В.М. Садовського і Є.Г. Юдіна, зв'язки можуть бути наступні:

- генетичні породження, коли один об'єкт є основою для народження іншого об'єкта;

- перетворення, коли елементи однієї системи в процесі взаємодії з елементами іншої системи набувають нових властивостей в одній системі або обох системах;

- взаємодії, які поділяються на зв'язки взаємодії об'єктів або зв'язки взаємодії окремих властивостей об'єктів;

- функціонування, які забезпечують реальну життєдіяльність об'єкта;

- розвиток, які виникають в процесі переходу з одного якісного стану об'єкта в інше.

Представлена класифікація показує, що рамки визначення зв'язків часто розмиті і можуть перетинатися.

В рамках системних досліджень поняття «зв'язок» має найбільше значення, так як в процесі взаємодії елементів в системі встановлюються алгоритми їх спільного функціонування.

Наприклад, рекурсивний зв'язок встановлює причинно-наслідковий зв'язок між різними параметрами в економічній системі. Синергетичний зв'язок в теорії систем визначає результат спільних дій взаємопов'язаних елементів як загальний ефект, який перевищує суму ефектів, одержуваних від кожного незалежного елемента. Циклічний зв'язок розглядається як складний зворотній зв'язок між елементами в системі, яка визначає її повний життєвий цикл, наприклад, в процесі виробництва будь-якого виробу.

Зворотній зв'язок є основою саморегуляції, розвитку систем, пристосування їх до мінливих умов існування. Наприклад, в управлінні соціально-економічними системами використовується функція коригування, яка заснована на принципі зворотного зв'язку, тобто можливості прийнятого рішення в залежності від умов, що склалися.

За своїм характером зв'язку можуть бути позитивними, негативними і гармонізованими.

Під *позитивним* зв'язком розуміється результат взаємодії елементів, в процесі якого не порушується внутрішня структура самих елементів і цей результат дає імпульс до подальшого розвитку елементів і всієї системи.

Під *негативним* зв'язком розуміється результат взаємодії елементів, в процесі якого відбувається руйнування, як самого елемента, так і всієї системи.

Під *гармонізованим* зв'язком розуміється стійкий динамічний стан розвитку елементів в результаті їх взаємодії.

Отже, в системах різної природи завжди існують різні види зв'язків, за рахунок яких забезпечується збереження цілісного утворення.

Прийнято кількість зв'язків між елементами в системі представляти як можливе поєднання за формулою:

$$S = g(g - 1),$$

де  $g$ - кількість елементів. Виходячи з теорії алгоритмів, можна констатувати, що зв'язки між елементами в системі можуть мати лінійний (односпрямований), нелінійний (у багатьох напрямках) і циклічний характер або їх поєднання.

Як було визначено вище, поняття «ставлення» як внутрішнього зв'язку між елементами системи логічно пов'язане з поняттям «структура».

Поняття «структура» означає будова, розташування, порядок. Структура відзеркалює взаємозв'язки і взаємини між елементами системи, які встановлюють порядок її будови. Структуру системи прийнято описувати видом зв'язків і відносин (ієрархія зв'язків) між її елементами. Структура описує внутрішню будову (стан) системи. Структури можуть бути як статичні, так і динамічні. Одна і та ж система може бути описана різними видами структур, в залежності від аспектів і стадій дослідження або проектування в просторі і часі.

Структури систем можуть описувати стан системи, її поведінку, умови її рівноваги, стійкості і розвитку.

Під станом системи прийнято розуміти її опис в певний момент часу як «статичну фотографію». Стан - це миттєва фотографія або ж зріз системи.

$S_1, S_2, \dots, S_i$ . В такому стані всі елементи мають статичні вхідні і вихідні параметри. Наприклад,

$$S = F(g, e, u),$$

де  $F$  - функція, а  $g, e, u$  - параметри елементів.

Під поведінкою системи прийнято розуміти опис зміни її параметрів у часі. Наприклад,

$$S(t) = F \{g(t - 1), e(t), u(t - 3)\},$$

де  $t$  - час.

*Поведінка системи* - це здатність системи переходити з одного стану в інший.

Під *рівновагою* системи розуміється опис стану системи, яка позбавлена зовнішніх впливів і знаходиться в стані рівноваги.

*Рівновага* - це здатність системи за відсутності зовнішніх впливів, що обурюють зберігати свою поведінку як завгодно довго.



*Стійкість* - здатність системи повертатися в стан рівноваги після того, коли вона була з цього стану виведена під впливом зовнішніх впливів. Як правило, стан стійкості забезпечується за рахунок поєднання властивостей самих елементів системи.

*Під розвитком* системи розуміється такий стан системи, який забезпечує розвиток властивостей зв'язку відносин в рамках організаційної структури в тривалому часовому періоді, з урахуванням впливу факторів зовнішнього середовища.

### 1.3 Властивості систем

В силу того, що системний аналіз спрямований на вирішення будь-яких проблем поняття системи має бути дуже загальним, які можуть застосовуватися до будь-яких ситуацій. Вихід бачиться в тому, щоб позначити, перерахувати, описати такі риси, властивості, особливості систем, які:

- по-перше, притаманні усім системам без винятку, незалежно від їх штучного або природного походження, матеріального або ідеального втілення;
- по-друге, з безлічі властивостей були б відібрані і включені в список за ознакою їх необхідності для побудови і використання технології системного аналізу. Отриманий список властивостей можна назвати дескриптивним (описовим) визначенням системи.

Необхідні нам властивості системи природно розпадаються на три групи, по чотири властивості в кожній.

#### *1. Статичні властивості.*

Статичними властивостями назвемо особливості конкретного стану системи. Це як би те, що можна розгледіти на миттєвої фотографії системи, те, чим володіє система в будь-який, але фіксований момент часу.

#### *Цілісність*

Дана особливість полягає в тому, що будь-яка система виступає як щось єдине, ціле, відокремлене, що відрізняється від всього іншого. Назвемо цю властивість «цілісність системи». Воно дозволяє весь світ розділити на дві частини: систему і навколишнє середовище.

#### *Відкритість*

Виділяема, отличимая від всього іншого, система не ізольована від навколишнього середовища. Навпаки, вони пов'язані і обмінюються між собою будь-якими видами ресурсів (речовиною, енергією, інформацією і т.д.).

Відзначимо, що зв'язки системи із середовищем мають спрямований характер:



- за одними середовище впливає на систему (їх називають входами системи),
- за іншими система впливає на середовище, щось робить в середовищі, щось видає в середовище (такі зв'язки називають виходами системи).

Перелік входів і виходів системи називають моделлю чорного ящика. У цій моделі відсутня інформація про внутрішні особливості системи. Незважаючи на (уявну) простоту і бідність змісту моделі чорного ящика, ця модель часто цілком достатня для роботи з системою.

У багатьох випадках управління технікою (автомобілем, радіоапаратурою, комп'ютером, приладом) або людьми (наприклад, в менеджменті) інформація тільки про входи і виходи керованої системи дозволяє успішно досягати мети. Однак для цього модель повинна відповідати певним вимогам. Ви можете відчувати труднощі, якщо не знаєте, що у деяких моделей телевізорів кнопку включення треба не натискати, а витягати, або що в деяких готелях вимикач в темному приміщенні суміщений з засувкою, і взагалі зустрівшись з приладом, не всі входи якого вам відомі. Ясно, що для успішного управління системою модель чорного ящика повинна містити всю інформацію, необхідну для досягнення мети.

#### *Відкритість систем і цілісність світу*

Дуже важливим для системного аналізу наслідком відкритості систем є очевидність загального взаємозв'язку і взаємозалежності в природі. Цей закон діалектики, встановлений в інтелектуальних і експериментальних муках кількох поколінь, виявляється цілком простим результатом відкритості систем. Між будь-якими двома системами обов'язково існує, і її можна відшукати, довгий або короткий ланцюжок систем, що зв'яже їх: вихід кожної системи є входом іншої. При цьому прямий і зворотній ланцюг, як правило, різний, звідки виникає поняття несиметричною причино наслідкового зв'язку.

### *Внутрішня неоднорідність систем*

Внутрішня неоднорідність систем: розрізнення частин. Якщо заглянути всередину "чорного ящика", то з'ясується, що система не однорідна, не монолітна: можна виявити, що різні якості в різних місцях відрізняються. Опис внутрішньої неоднорідності системи зводиться до відокремлення щодо однорідних ділянок, проведення кордонів між ними. Так з'являється поняття про частини системи. При більш детальному розгляді виявляється, що виділені великі частини теж не однорідні, що вимагає виділяти ще дрібніші частини. В результаті виходить ієрархічний список частин системи, який ми будемо називати моделлю складу системи.

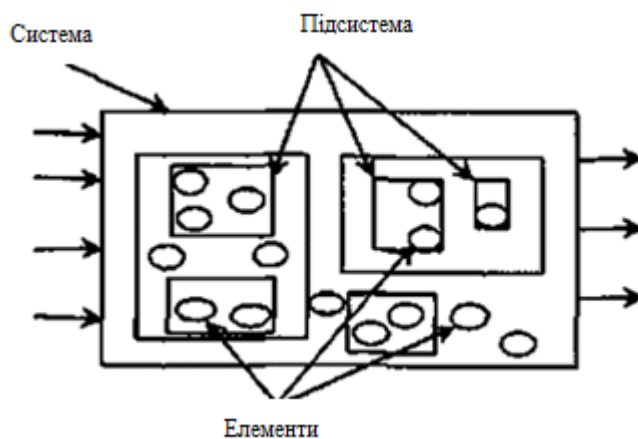


Рис. 1.1. Модель складу системи

Інформація про склад системи може використовуватися для роботи з системою. Цілі взаємодії з системами можуть бути різними, в зв'язку з чим можуть відрізнятися і моделі складу однієї і тієї ж системи. Корисну, придатну для роботи модель створити непросто.

#### Труднощі побудови моделі складу

На перший погляд частини системи розрізнити неважко, вони "кидаються в очі". Деякі системи диференціюються на частини мимовільно в процесі природного росту і розвитку (організми, соціуми, планетні системи, молекули, родовища корисних копалин і т.д.). Штучні системи свідомо

збираються з раніше окремих частин (механізми, будівлі, тексти, мелодії та ін.). Є і змішані типи систем (заповідники, сільськогосподарські системи).

З іншого боку, запитаєте, з яких частин складається університет у ректора, студента, бухгалтера, господарника, - і кожен видасть свою, відмінну від інших модель складу. Так само по-різному визначають склад літака льотчик, стюардеса, пасажир. Можна сказати, що тіло складається з правої і лівої половинок, а можна - з верхньої та нижньої.

Труднощі побудови моделі складу, які кожному доводиться долати, можна уявити трьома положеннями.

### 1. Ціле можна ділити на частини по-різному

Ціле можна ділити на частини по-різному (як розрізати булку хліба на скибки різного розміру і форми).

Зверніть увагу на акуратну формулювання даної властивості: розрізнення частин, а не роздільність на частини. Ми з ще одного боку вийшли на проблему цілісності систем: можна розрізняти потрібні вам для вашої мети частини системи і використовувати доступну вам інформацію про них, але не слід розділяти їх.

### 2. Кількість частин в моделі складу

Кількість частин в моделі складу залежить і від того, на якому рівні зупинити дроблення системи. Частини на кінцевих гілках виходів ієрархічного дерева називаються елементами. У різних обставинах припинення декомпозиції проводиться на різних рівнях. Наприклад, при описі майбутніх робіт доводиться давати досвідченому працівникові і новачкові інструкції різного ступеня подробиці. Таким чином, модель складу залежить від того, що вважати елементарним, а оскільки це слово оцінне, то це не абсолютне, а відносне поняття. Однак трапляються випадки, коли елемент носить природний, абсолютний характер (клітина - найпростіший елемент живого організму; індивід - останній елемент суспільства, фонемі - найдрібніші частини усного мовлення) або визначається нашими можливостями

(наприклад, можна припускати, що електрон теж з чогось складається, але поки фізики не змогли виявити його частини з дробовим зарядом).

### 3. Зовнішня межа системи

Будь-яка система є частиною якоїсь більшої системи (а нерідко частиною відразу декількох систем). А цю метасистему теж можна ділити на підсистеми по-різному. Це означає, що зовнішня межа системи має відносний, умовний характер. Навіть "очевидна" межа системи (шкіра людини, огорожа підприємства і т.п.) за певних умов виявляється недостатньою для визначення кордону в цих умовах. Наприклад, під час трапези я беру виделкою з тарілки котлету, відкушують її, пережовувати, ковтаю, переварюю. Де та межа, перетнувши яку котлета стає моєю частиною? Інший приклад з кордоном підприємства. Працівник впав на сходах і зламав ногу. Після лікування при оплаті бюлетеня виникає питання: яка це була травма - побутова або виробнича (вони оплачуються по-різному)? Немає сумніву, якщо це були сходи підприємства. Але якщо це були сходи будинку, де живе працівник, то все залежить від того, як він йшов додому. Якщо прямо з роботи і ще не дійшов до дверей квартири, травма вважається виробничою. Але якщо він по дорозі зайшов в магазин чи кінотеатр - травма побутова. Як бачимо, закон визначає межі підприємства умовно.

Умовність кордонів системи знову повертає нас до проблеми цілісності, тепер уже цілісності всього світу. Визначення межі системи проводиться з урахуванням цілей суб'єкта, який буде використовувати моделі системи.

#### *Структурованість.*

Четверта статична властивість полягає в тому, що частини системи не незалежні, не ізольовані один від одного; вони пов'язані між собою, взаємодіють один з одним. При цьому властивості системи в цілому істотно залежать від того, як саме взаємодіють її частини. Тому так часто важлива інформація про зв'язки частин. Перелік істотних зв'язків між елементами системи називається моделлю структури системи. Наділеність будь-якої

системи певною структурою і будемо називати четвертим статичним властивістю систем - структурованістю.

Поняття структурованості далі поглиблює наше уявлення про цілісність системи: зв'язку як би скріплюють частини, утримують їх як ціле. Цілісність, зазначена раніше як зовнішнє властивість, отримує підкріплювальне пояснення зсередини системи - через структуру.

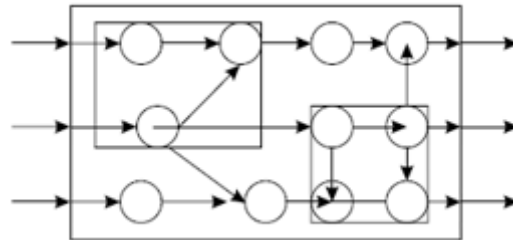


Рис.1.2. Цілісність елементів

## 2. Динамічні властивості системи

Якщо розглянути стан системи в інший, відмінний від першого, момент часу, то ми знову виявимо всі чотири статичних властивості. Але якщо накласти ці дві "фотографії" один на одного, то виявиться, що вони відрізняються в деталях: за час між двома моментами спостереження відбулися якісь зміни в системі і її оточенні. Такі зміни можуть бути важливими при роботі з системою і, отже, повинні бути відображені в описах системи і враховані в роботі з нею. Особливості змін з часом усередині системи і поза нею і іменуються динамічними властивостями систем. Якщо статичні властивості - це те, що можна побачити на фотографії системи, то динамічні-те, що виявиться при перегляді кінофільму про систему. Про будь-які зміни ми маємо можливість говорити в термінах змін в статичних моделях системи. У зв'язку з цим розрізняються чотири динамічних властивості.

### *Функціональність*

Функціональність - п'ята властивість системи. Процеси  $Y(t)$ , що відбуваються на виходах системи ( $Y(t) = \{y_1(t), y_2(t), \dots, y_n(t)\}$ ), розглядаються як її функції.



Рис.1.3. Виходи системи

Функції системи - це її поведінка в зовнішньому середовищі; зміни, вироблені системою в навколишньому середовищі; результати її діяльності; продукція, вироблена системою. З множинності виходів слідує множинність функцій, кожна з яких може бути кимось і для чогось використана. Тому одна і та ж система може служити для різних цілей.

Суб'єкт, який використовує систему в своїх цілях, буде, природно, оцінювати її функції і впорядковувати їх по відношенню до своїх потреб. Так з'являється поняття головною, другорядною, нейтральною, небажаною, зайвою і т.п. функції. Знову звернемо увагу, що всі ці терміни оціночні, суб'єктивні, відносні. Так, головною функцією лампи вважається давати світло; але при виборі світильника з десятків інших продаваних в магазині на перший план виходять його декоративні якості, узгодженість з інтер'єром приміщення, його вартість та ін.

Отже, виділимо два моменти даного властивості систем: об'єктивну багатофункціональність і суб'єктивну впорядкованість функцій.

### *Стимульованість*

Стимульованість - шоста властивість системи. На входах системи теж відбуваються певні процеси  $X(t) = \{x_1(t), x_2(t), \dots, x_m(t)\}$ , що впливають на систему, перетворюючись (після ряду перетворень в системі) в  $Y(t)$ . Назвемо впливу  $X(t)$  стимулами, а саму схильність будь-якої системи впливів ззовні і зміна її поведінки під цими впливами - стимульоване.

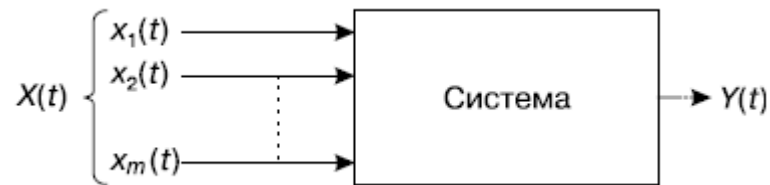


Рис. 1.4 – Входи системи

### *Мінливість системи з часом.*

Мінливість системи з часом - сьома властивість системи. У будь-якій системі відбуваються зміни, які треба враховувати: передбачати і закладати в проект майбутньої системи; сприяти або протидіяти їм, прискорюючи або сповільнюючи їх при роботі з існуючою системою. Змінюватися в системі може що завгодно, але в термінах наших моделей можна дати наочну класифікацію змін:

- змінюватися можуть значення внутрішніх змінних (параметрів)  $Z(t)$ ,
- склад і структура системи і будь-які їх комбінації.

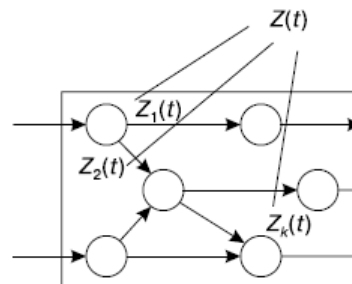


Рис. 1.5. Зміна значень внутрішніх змінних

Характер цих змін теж може бути різним. Тому можуть розглядатися подальші класифікації змін.

Найбільш очевидна класифікація - за швидкістю змін: швидкі, повільні (в порівнянні з чимось, взятим за стандарт); можливе введення більшого числа градацій швидкостей (надшвидкі, дуже швидкі і т.д.).

Цікавою є класифікація тенденцій змін в системі, що стосуються її складу і структури. Почнемо цю класифікацію з введення спеціальних понять,

розглядаючи зміни на короткому інтервалі часу, щоб зміни можна було вважати що йдуть «в одну сторону», тобто монотонними.

Можна говорити про такі зміни, які не зачіпають структури системи: одні елементи замінюються іншими, еквівалентними; параметри (внутрішні змінні  $Z(t)$ ) можуть змінюватися без зміни структури («працюють» годинник, міський транспорт, школа, лазня і т.д.). Такий тип динаміки системи називають її функціонуванням.

Далі, зміни можуть носити переважно кількісний характер: відбувається нарощування складу системи, і хоча при цьому автоматично змінюється і її структура, це до пори до часу не позначається на властивостях системи (розширення сміттєзвалища або кладовища - приклади). Такі зміни називають зростанням системи.

Потім виділяють якісні зміни системи, при яких відбувається зміна її істотних властивостей. Якщо такі зміни йдуть в позитивному напрямку, вони називаються розвитком. З тими ж ресурсами розвинена система домагається більш високих результатів, можуть з'явитися нові позитивні якості (функції). Це пов'язано з підвищенням рівня системності, організованості системи.

#### *Існування в мінливому середовищі.*

Змінюється не тільки дана система, але і всі інші. Для даної системи це виглядає як безперервна зміна навколишнього середовища. Неминучість існування в постійно змінюваному оточенні має безліч наслідків для самої системи, починаючи з необхідності її пристосування до зовнішніх змін, щоб не загинути, до різних інших реакцій системи. При розгляді конкретної системи з конкретною метою увага зосереджується на деяких конкретних особливостях її реакції. Як приклад розглянемо питання про те, як повинна співвідноситися швидкість змін усередині системи зі швидкістю змін у навколишньому середовищі - бути повільніше, збігатися або йти швидше? Це визначається в залежності від природи системи або її призначеного.

Наприклад, системи, призначені для перенесення інформації в часі (книги, пам'ятники, твори мистецтва, відео- і аудіозаписи, триангуляційні



мітки і т.п.), тим краще виконують свою функцію, чим повільніше вони змінюються при змінах в навколишньому середовищі. Інший приклад цього - збереження свого стану автоматами і живими організмами (гомеостат, стабілізація, стаціонарність). Інша реакція живих організмів йде практично одночасно зі змінами середовища, наприклад адаптація зіниці при змінах освітлення. Існують системи, функції яких можуть виконуватися тільки якщо зміни в системі випереджають зміни в середовищі. Типовий приклад - управління: перебір і порівняння різних варіантів керуючого впливу повинні відбуватися в прискореному темпі, щоб вбрання вплив йшло в реальному масштабі часу.

Відзначимо ще одну важливу особливість існування системи в мінливому середовищі. Самі зміни постійно змінюються; це виражається в прискоренні змін в середовищі. Наприклад, швидкості пересування в просторі, передачі та обробки інформації, виробництва і споживання продукції за час нашого покоління зросли більше, ніж за всю передісторію. Це вимагає швидких і значних змін в тому, що і як ми робимо. Погано пристосовуються до змін люди, організації, фірми, уряду швидко сходять зі сцени, вибувають з гри. Єдиний шанс зберегтися в турбулентному середовищі - забезпечити динамічну рівновагу, на зразок того, як це робить корабель або літак, який потрапив в шторм. І чим сильніше зовнішні зміни, тим активніше повинні проводитися внутрішні (порівняйте активність водія на гарній і поганий дорогах, в хорошу і погану погоду). І хоча важливими засобами залишаються прогнозування та навчання, більш ефективними вважаються вироблення імунітету до непередбачуваних з нашого боку змін і посилення контролю над іншими.

### *3. Синтетичні властивості системи*

Цей термін означає узагальнюючі, збірні, інтегральні властивості, що враховують сказане раніше, але роблять упор на взаємодії системи з середовищем, на цілісність в найзагальнішому розумінні.

### *Емерджентність*

Емерджентність - мабуть, це властивість більш всіх інших говорить про природу систем. Почнемо його виклад з прикладів.

#### приклад механічний

З двома взаємодіючими каміннями можна зробити ефекти, неможливі при їх окремому використанні: видавати стуки, висікати іскри, колоти горіхи і т.д.

#### приклад хімічний

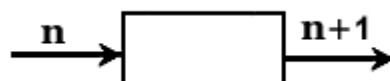
При з'єднанні водню з киснем, що володіють кожен поруч особливих властивостей, за формулою  $H_2O$  виникає нова чудова речовина - вода. Властивості води, багато з яких вивчені не до кінця (роль води в живій і неживій природі, тала вода, вода омагніченна з їх відмінностями від звичайної води, пам'ять води і т.п.), не є похідними від властивостей водню і кисню.

#### приклад біологічний

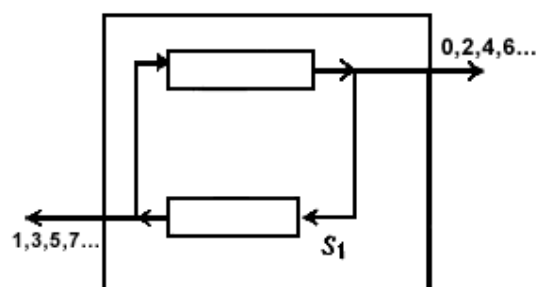
Чоловіча та жіноча особини двостатеві популяції мають кожна своїми індивідуальними особливостями. Але тільки при їх з'єднанні виникає можливість продовження роду, освіти соціуму і т.д.

#### Приклад логіко-математичний

Нехай у нас є дві чорні скриньки з одним входом і одним виходом. Кожен з них може працювати тільки з цілими числами і виконувати тільки одну простеньку операцію: до числа на вході додавати одиницю:



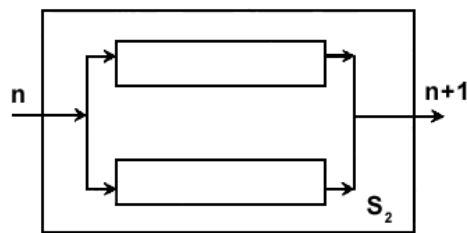
З'єднаємо їх тепер в систему по кільцевій схемі:



У нас Вийшла система  $S$ , без входів и з двома виходи. На кожному такті роботи схема буде видавати более число, причому чудово, что на одному виході будуть з'являтися тільки парні, а на іншому - тільки непарні числа.

Тепер зробимо Висновки. Об'єднання частин в систему породжує у системи якісно нові властивості, що не зводяться до властивостей частин, Які не виводяться з властивостей частин, властиві тільки самій системі та існують тільки поки система складає одне ціле. Система є щось більше, ніж проста сукупність елементів. Якості системи, притаманні лише їй, називаються емерджентними (від англ. "Виникати").

Звідки ж беруться емерджентні властивості, якщо їх немає ні в однієї з частин? Що в системі несе відповідальність за їх появу? Відповідь знайдемо в логіко-математичному прикладі. З'єднаємо ті ж дві чорні скриньки по-іншому, в паралель:



Отримана система  $S_2$  має один вхід і один вихід. Якщо на вхід подати число  $n$ , на виході буде  $n + 1$ . Виходить,  $S_2$  арифметично тотожна кожному елементу і її арифметична властивість не є емерджентною (на відміну від  $S_1$ )! Але ми вже знаємо, що у системи обов'язково є емерджентні властивості. З'ясовується, що таким у  $S_2$  виявляється здатність виконувати операцію  $n + 1$ , навіть якщо один з елементів вийде з ладу, тобто підвищена надійність. У теорії надійності цей спосіб відомий як резервування - підвищення надійності за рахунок введення в схему надмірності.

Легко бачити, що  $S_1$  і  $S_2$ , що складаються з однакового числа однакових елементів, відрізняються тільки схемою їх з'єднання, тобто структурою. Структура системи і визначає її емерджентні властивості.

### Підсумки:

1. У системи є емерджентні властивості, які не можуть бути пояснені, виражені через властивості окремо взятих її частин. Тому, зокрема, не всі біологічні закономірності зводяться до фізичних і хімічних; соціальні - до біологічних і економічних; властивості комп'ютера, не можна пояснити тільки через електричні і механічні закони.

2. Джерелом, носієм емерджентних властивостей є структура системи: при різних структурах у систем, утворених з одних і тих же елементів, виникають різні властивості.

3. У системи є і неемерджентні властивості, однакові з властивостями її частин. Наприклад, для технічних систем це обсяг, маса; арифметика для S2 і т.д. І у системи в цілому можуть бути неемерджентні властивості (наприклад, забарвлення автомобіля). Важливим і цікавим випадком, коли частини системи мають властивості системи в цілому, є так зване фрактальна побудова системи. При цьому принципи структурування частин ті ж, що і у системи в цілому. Фрактали спостерігаються в природі (ієрархічне управління в живих організмах, тотожність організації на різних рівнях в природно зростаючих системах - біологічних, геологічних, демографічних і т.п.), математики розробляють абстрактну теорію фракталів.

4. Емерджентність демонструє ще одну грань цілісності. Система виступає як єдине ціле тому, що вона є носієм емерджентних властивостей: чи не буде вона цілою, і властивість зникне, проявляється це властивість, значить, система ціла. Приклад: жодна з частин літака літати не може, а літак літає.

5. Емерджентність є іншою, більш розвиненою формою вираження закону діалектики про перехід кількості в якість. Виявляється, для переходу в нову якість не обов'язково "накопичення" кількості ("остання крапля переповнила чашу", "остання соломинка переламала хребет верблюдові"). Для появи нової якості досить об'єднати в ціле хоча б два елементи.

б. Зауважимо, що динамічний аспект емерджентність позначений окремим терміном - синергетичність, і дослідженням синергетики присвячено багато літератури.

*Неподільність на частини.*

Неподільність на частини - десята властивість системи. Хоча це властивість є простим наслідком емерджентність, його практична важливість настільки велика, а його недооцінка зустрічається так часто, що доцільно підкреслити його окремо. Якщо нам потрібна сама система, а не щось інше, то її не можна розділяти на частини.

При вилученні з системи деякої частини відбувається дві важливі події. По-перше, при цьому змінюється склад системи, а значить, і її структура. Це буде вже інша система, із відмінними властивостями. Оскільки властивостей у колишньої системи багато, то якась властивість, пов'язане саме з цією частиною, взагалі зникне (воно може виявитися і емерджентним, і не таким, наприклад: порівняйте втрату фаланги пальця для піаніста і геолога, гітариста і теслі). Якийсь властивість зміниться, але частково збережеться. А якісь властивості системи взагалі несуттєво пов'язані з вилучається частиною.

Підкреслимо ще раз, що істотно чи ні позначиться вилучення частини з системи - питання оцінки наслідків. Тому, наприклад, від пацієнта і питається згода на операцію, і не кожен погоджується на неї.

Друге важливе наслідок вилучення частини з системи полягає в тому, що частина в системі і поза нею - це не одне і те ж. Змінюються її властивості в силу того, що властивості об'єкта виявляються у взаємодіях з оточуючими його об'єктами, а при вилученні з системи оточення елемента стає зовсім іншим. Відірвана рука вже нічого не схопить, вирваний очей - нічого не побачить.

Було б, однак, неправильним абсолютизувати неподільність систем. Наприклад, це означало б заборону на хірургічні операції, на організаційні перетворення підприємств. Треба тільки чітко віддавати собі звіт в тому, що після поділу ми маємо справу з іншими системами. Особливо це важливо при

аналітичному вивченні системи, коли її частини розглядаються по черзі. Потрібна спеціальна турбота про збереження зв'язків даної частини з іншими частинами системи.

### *Інгерентність*

Будемо говорити, що система тим більше інгерентна (від англ. Inherent – є невід'ємною частиною чогось), чим краще вона узгоджена, пристосована до навколишнього середовища, сумісна з нею. Ступінь інгерентно буває різною і може змінюватися (навчання, забування, еволюція, реформи, розвиток, деградація і т.п.).

Факт відкритості всіх систем ще не означає, що всі вони в однаковому ступені добре узгоджені з навколишнім середовищем. Розглянемо функцію "плавати у воді" і порівняємо за якістю виконання цієї функції такі системи, як риба, дельфін і аквалангіст. Вони упорядковуються очевидним чином: рибі взагалі не потрібно вихід з водного середовища; дельфін повинен дихати повітрям; можливості аквалангіста обмежені ємністю балона повітря, не кажучи вже про фізичних і фізіологічних обмеженнях.

Доцільність підкреслення інгерентності як одного з фундаментальних властивостей систем викликана тим фактом, що від неї залежить ступінь і якість здійснення системою обраної функції. У природних системах інгерентність підвищується шляхом природного відбору. У штучних системах вона повинна бути особливою турботою конструктора.

У ряді випадків інгерентність забезпечується за допомогою проміжних, посередницьких систем. Наведемо кілька прикладів.

- ієрогліфічне письмо стародавніх єгиптян вдалося розшифрувати лише за допомогою Розеттського каменю, на одній стороні якого був напис ієрогліфами (неінгерентна сучасній культурі), а на іншій тої же напис давньогрецькою мовою, відомою сучасним фахівцям.

- Інший приклад - адаптери, перехідники для підключення європейських електроприладів до американських розеток.

- Ще один приклад - робота перекладача між двома різномовними особистостями.

Проблема інгерентності важлива у всіх випадках системної діяльності. Яскравими прикладами служать менеджмент і лідерство (сумісність керівника з підлеглими), маркетинг і інноваційна діяльність (інгерентно пропонованому продукту до цільовим споживачам), педагогічна майстерність (узгодження викладача з аудиторією), служба стандартизації (турбота про сумісність продуктів, вироблених на різних підприємствах), підготовка шпигунів-нелегалів (забезпечення їх нерозрізненості від громадян розведуючої країни) і т.д.

На закінчення підкреслимо, що інгерентність - не абсолютна властивість системи, а прив'язана до певної конкретної функції. Зокрема, якщо взяти наш приклад з рибою, дельфіном і аквалангістом в воді і розглянути ту ж ситуацію по відношенню до функції "здійснити електрозварювання під водою", то ці три системи впорядкують по інгерентно зовсім в іншому порядку.

### *Доцільність*

У створюваних людиною системах підпорядкованість всього (і складу, і структури) поставленої мети настільки очевидна, що повинна бути визнана фундаментальною властивістю будь-якої штучної системи. Назвемо це властивість доцільністю.

Мета, заради якої створюється система, визначає, яке Емерджентні властивість будуть забезпечувати реалізацію мети, а це, в свою чергу, диктує вибір складу і структури системи. Одне з визначень системи так і говорить: система є засіб досягнення мети. Мається на увазі, що якщо висунувана мета не може бути досягнута за рахунок уже наявних можливостей, то суб'єкт komponує з навколишніх його об'єктів нову систему, спеціально створювану, щоб допомогти досягти цю мету.

Варто зауважити, що рідко мета однозначно визначає склад і структуру створюваної системи: важливо, щоб реалізувалася потрібна функція, а цього часто можна досягти різними способами. У той же час звертає на себе увагу

подібність будови різних представників всередині одного типу систем (живих організмів, транспортних засобів, планетних систем, родовищ копалин і т.д.).

З нескінченного числа властивостей систем виділено дванадцять притаманних усім системам. Вони виділені за ознакою їх необхідності і достатності для обґрунтування, побудови і доступного викладу технології прикладного системного аналізу.

Але дуже важливо пам'ятати, що кожна система відрізняється від всіх інших. Це проявляється, перш за все, в тому, що кожне з дванадцяти загальносистемних властивостей в даній системі втілюється в індивідуальній формі, специфічній для цієї системи. Крім того, крім зазначених загальносистемних закономірностей, кожна система має і інші, притаманними тільки їй властивостями.

#### **1.4 Моделі систем.**

Будь-яка реальна система нескінченно складна. Тому будь-який її опис носить наближений, а отже, модельний характер. Вид моделі залежить від цілей, для яких вона створюється. Існують різні варіанти модельного опису систем. Розглянемо основні з них.

##### *1. Модель "Чорного ящика"*

Модель є відображення властивостей якогось об'єкту при його дослідженні. Модель «чорного ящика» - це система, в якій зовнішньому спостерігачу доступні лише вхідні та вихідні величини, а структура та зовнішні процеси на відомі.

Будь-яка річ, будь-який предмет, будь-яке явище, будь який об'єкт, що пізнається – завжди першочергово виступає як «чорний ящик». Назва моделі «чорний ящик» образно підкреслює повну відсутність відомостей про внутрішній склад «ящика»: в цій моделі задаються, фіксуються, перераховуються тільки вхідні та вихідні зв'язки системи з навколишнім середовищем (звичайно не описуються навіть «стіни ящика», тобто межі між



системою та середовищем, вони лише передбачаються, признаються як ті, що існують).

Опис системи у вигляді «чорного ящика» спирається на наступні інтуїтивно зрозумілі положення.

1. Система відособлена і цілісна. Це означає, що при описі системи дослідник повинен чітко вказати просторові межі системи, відзначити, що він включає до складу системи, а що відносить до зовнішнього середовища.

2. Середовище впливає на систему. Це означає, що існує безліч  $U$  вхідних впливів на систему, інакше званих причинами.

3. Система впливає на середовище. Це означає, що існує безліч  $Y$  виходів (наслідків), які можна спостерігати.

4. Виходи (слідства) залежать від входів (причин). Це означає, що дослідник може виявити і якимось чином описати відображення безлічі  $U$  на безліч  $Y$ .

Таким чином, опис системи у вигляді «чорного ящика» включає вказівку кордонів системи, опис множин входів і виходів, а також залежність виходів від входів. Дослідник може спостерігати тільки входи і виходи системи і не має інформації про внутрішні процеси, що відбуваються в системі.



Рис.1.6. Модель системи «чорний ящик»

Головною причиною множинності входів і виходів у моделі «Чорного ящика» є те, що будь-яка реальна система, як і будь який об'єкт, взаємодіє з об'єктами навколишнього середовища необмеженим числом способів. Будуючи модель системи, ми з цієї нескінченної безлічі зв'язків відбираємо кінцеве їх число для включення в список входів і виходів. Критерієм відбору

при цьому є цільове призначення моделі, істотність того чи іншого зв'язку по відношенню до цієї мети. Мета – це суб'єктивний образ (абстрактна модель) неіснуючого, але бажаного стану середовища, яке б вирішило проблему, яка виникла.

Те, що істотно, важливо, включається в модель, те, що несуттєво, неважливо, - не включається. Саме тут можливі помилки. Той факт, що ми не враховуємо в моделі, що виключаємо з розгляду інші зв'язки, не позбавляє їх реальності, вони все одно діють незалежно від нас. І нерідко виявляється, що здавалося несуттєвим або невідомим для нас насправді є важливим і має бути враховано.

Особливе значення цей момент має при завданні мети системи, тобто при визначенні її виходів. Це відноситься і до опису існуючої системи за результатами її обстеження, і до проекту поки що не існуючої системи. Реальна система неминуче вступає у взаємодію з усіма об'єктами навколишнього середовища; тому необхідно якомога раніше, краще ще на стадії побудови (проектування) моделі, врахувати все найбільш важливе. В результаті головну мету доводиться супроводжувати завданням додаткових цілей.

## 2. Модель складу системи

Модель складу системи дає опис елементів і підсистем, які входять до неї але не розглядає зв'язків між ними. Наприклад, модель складу системи "Школа":

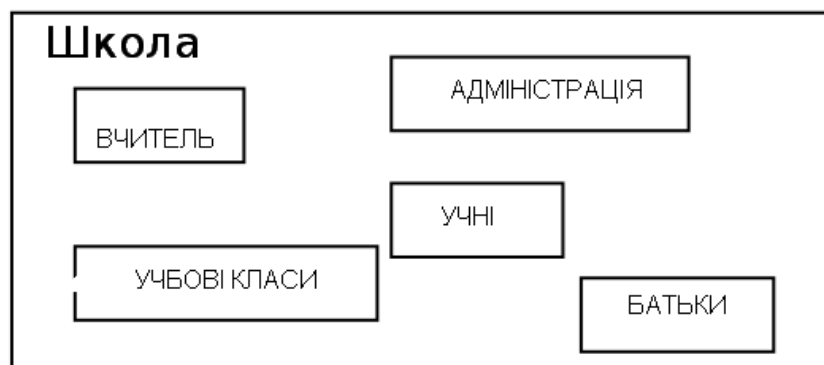


Рис. 1.7. Модель складу системи

Зрозуміло, такий моделі недостатньо для того, щоб зрозуміти, як функціонує школа. І все-таки вона дає більш детальне уявлення, ніж модель "чорного ящика".

### 3. Структурна модель системи

Структурну модель системи ще називають структурною схемою. На структурній схемі відбивається склад системи і її внутрішні зв'язки. Для відображення структурної схеми системи використовуються, наприклад, графи.

Припустимо, нам треба описати деяку місцевість і дороги між групами забудов. Вербально (словесно) опис буде виглядати так: «Район складається з п'яти забудов: А, Б, В, Г, Д. Автомобільні дороги прокладені між А і Б, Б і В, Б і Г, В і Г, Г і Д.» За такого опису важко уявити собі цю місцевість. Зі збільшенням кількості забудов представляти буде все складніше і складніше. Набагато зручніше представити це неорієнтованим графом (мережею).

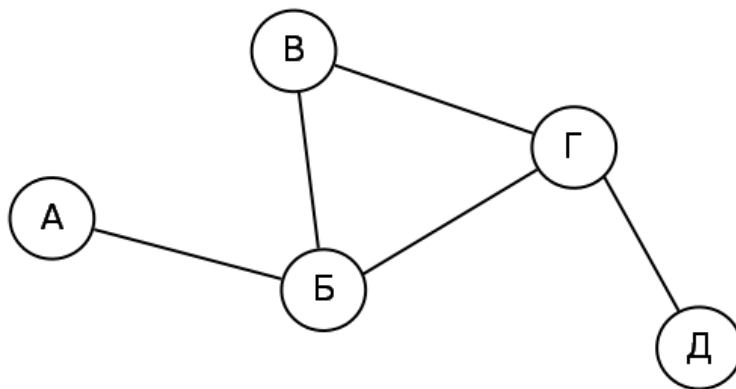


Рис.1.8. Неорієнтований граф (мережа)

Це не карта місцевості. Тут не витримані напрямки по сторонах світу, не дотримано масштаб. На цій схемі відображено лише факт існування п'яти селищ і дорожньої зв'язку між ними. Саме така система називається графом.

Граф відображає елементний склад системи і структуру зв'язків між її елементами.

Складовими частинами графа є вершини та лінії, що їх з'єднують. Тут вершини відображені кружками - це позначення елементів системи, а лінії - це позначення зв'язків (відносин) між елементами. Дивлячись на цей граф, легко зрозуміти структуру дорожньої системи в даній місцевості.

Побудований граф дозволяє, наприклад, відповісти на питання, через які забудови треба проїхати, щоб дістатися з А в Д. Є два можливих шляхи:

1. А – Б – Г – Д;
2. А – Б – В – Г – Д.

Очевидно, перший шлях більш вигідний, тому що він коротше. Однак якщо з якоїсь причини дорога між Б і Г виявиться непроїзною, то єдиним буде другий шлях.

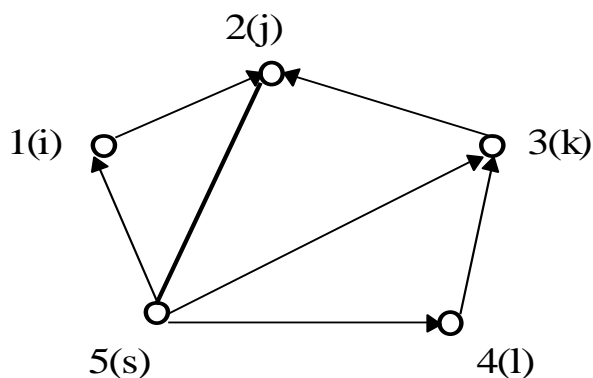
Різновид графа, приклад якого зображений на малюнку, називається мережею. Для мережі характерна можливість безлічі різних шляхів переміщення по ребрах між деякими парами вершин.

Для мереж також характерна наявність замкнутих шляхів, які називаються циклами. Вище можна спостерігати цикл Б - В - Г - Б.

**В и з н а ч е н н я.** *Графом називається деяка сукупність точок та стрілок, які їх зв'язують.*

*Точки* графа називаються вершинами, а *стрілки* – дугами. Граф математично позначається як  $G(N, V)$ , де  $N$  - кінцева множина вершин потужністю  $n$ , а  $V$  - кінцева множина дуг потужністю  $m$ .

Вершини можна позначити рядковими літерами ( $i, j, k, l, s$ ) або цифрами (1, 2, 3, 4, 5), а дуги відповідно парами:  $\{(i, j), (j, k), (k, l)...\}$  або  $\{(1, 2), (2, 3), (3, 4)...\}$ , де перший індекс визначає початок, а другий – кінець дуги.

Рис. 1.9. Граф  $G(5,7)$ 

Граф, в якому задається напрямок дуг, називається орієнтованим, в протилежному випадку – неорієнтованим. Неорієнтовані дуги називаються ребрами.

Між двома вершинами, які з'єднані дугою (ребром), існує відношення суміжності (для орієнтованого графу вершини  $i$  та  $j$  суміжні, якщо дуга починається в  $i$  та направлена до  $j$ ).

Між вершиною та дугами (ребрами), які з нею з'єднані, існує відношення інцидентності.

Одним із найбільш розповсюджених дискретних представлень графу є матриця суміжностей. Ця матриця  $A=[a_{ij}]$ , розміром  $(n \times n)$  елементів, які можуть приймати значення:

$a_{ij}=1$ , якщо у графі  $G$  існує дуга (ребро) між вершинами  $i$  та  $j$ ;

$a_{ij}=0$ , в протилежному випадку.

Матриця суміжностей графа, який приведено на рис.1.9, має вигляд

$$A = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{vmatrix}$$

Якщо перенумерувати у довільній послідовності дуги (ребра) графа  $G$  та поставити ці номери у відповідності номерам рядків деякої матриці

$B=[b_{ij}]$ , а номери стовпців залишити попередніми відповідно до номерів вершин графа, то в такій матриці можна відобразити відношення інцидентності елементів графа  $G$ . Елементи матриці  $B_{ij}$  можуть набувати значень  $\{0,1\}$ .

Перенумеруємо дуги для даного графу:  $(i,j) - 1$ ;  $(j,k) - 2$ ;  $(k,l) - 3$ ;  $(l,s) - 4$ ;  $(s,i) - 5$ ;  $(s,j) - 6$ ;  $(s,k) - 7$ .

Тоді матриця інцидентності буде мати вигляд

$$B = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

Зважений граф (мережа) може бути у дискретному вигляді представлений матрицею вагів  $W=[w_{ij}]$ , де  $w_{ij}$ -вага дуги (ребра), якщо вона існує у графі  $G$ . Ваги не існуючих дуг (ребер) припускають рівними  $\infty$  або 0 в залежності від умов задачі, в якій вони розглядаються.

Якщо граф є розрідженим (має малу кількість дуг (ребер)), можливе більш компактне представлення графу  $G$  – списком дуг (ребер). Цей список може бути реалізований двома одномірними масивами розмірністю  $m$ , у першому з яких записані початкові вершини дуг (ребер), а в другому – кінцеві, або двомірним масивом, розмірністю  $(2, m)$ . Наприклад,

$$R_1 = (1, 3, 4, 5, 5, 2, 5),$$

$$R_2 = (2, 2, 3, 4, 1, 5, 3),$$

$$R = \begin{vmatrix} 1 & 3 & 4 & 5 & 5 & 2 & 5 \\ 2 & 2 & 3 & 4 & 1 & 5 & 3 \end{vmatrix}.$$

При організації представлення графа у вигляді дискретного масива з плаваючими межами, тобто у випадку, коли необхідно передбачити можливість додавання або вилучення вершин графа, доцільно використовувати структуру суміжностей. Остання являє собою список

суміжних вершин для кожної вершини графа. Структура суміжностей для графа, який зображено на рис.1.9, має вигляд

$$\begin{array}{ll} 1 : 2 & 4 : 3 \\ 2 : 5 & 5 : 1, 2, 3, 4 \\ 3 : 2 & \end{array}$$

### 1.5 Класифікація сутностей систем.

Можна виділити різні види систем в залежності від ознак класифікації.

Відомо, що класифікацією називається розподіл деякої сукупності об'єктів на класи за найбільш істотними ознаками. Ознака або їх сукупність, за якими об'єкти об'єднуються в класи, є підставою класифікації.

#### 1. За походженням:

- природні - системи, об'єктивно існуючі в живій та неживій природі і суспільстві, що виникли, без участі людини. Наприклад, молекула, клітина, організм, популяція, суспільство, Всесвіт;

- штучні - системи, створені людиною. Наприклад, автомобіль, підприємство, партія;

- змішані (соціотехнологічні, організаційно-технічні).

#### 2. По об'єктивності існування:

- реальні (матеріальні, які складаються з реальних об'єктів). Реальні системи діляться на природні (природні) і штучні (антропогенні).

- абстрактні (символічні) - системи, які, по суті, є моделями реальних об'єктів. Це мови, системи числення, математичні моделі.

#### 3. За характером зв'язків параметрів системи з навколишнім середовищем:

- закриті - який-небудь обмін енергією, речовиною і інформацією з навколишнім середовищем відсутній. Будь-який елемент закритої системи має зв'язки тільки з елементами самої системи;

- відкриті - обмінюються енергією, речовиною і інформацією з навколишнім середовищем. У відкритих системах можуть відбуватися явища самоорганізації, ускладнення або спонтанного виникнення порядку. Всі реальні системи є відкритими;

- комбіновані - містять відкриті і закриті підсистеми.

#### *4. За ступенем складності:*

- прості - системи, що не мають розгалужених структур, що складаються з невеликої кількості взаємозв'язків і невеликої кількості елементів;

- складні - характеризуються великим числом елементів і внутрішніх зв'язків, їх неоднорідністю і різноякісністю, структурним різноманіттям, виконують складну функцію або ряд функцій.

Зауважимо, що існує й інший підхід до оцінки складності. Наприклад, ознакою простої системи вважають порівняно невеликий обсяг інформації, необхідний для її успішного управління. Системи, в яких не вистачає інформації для ефективного управління, вважають складними.

Виділяють різні види складності. Структурна складність - це складність системи, що вирізняється розгалуженою структурою і великою різноманітністю внутрішніх зв'язків. Функціональна (обчислювальна) складність визначається кількістю арифметико-логічних операцій, необхідних для реалізації функції системи перетворення вхідних значень у вихідні, або обсяг ресурсів (час рахунку або використовувана пам'ять), що використовуються в системі при вирішенні деякого класу завдань. Крім того, виділяють такий тип складності, як динамічна складність - вона виникає тоді, коли змінюються зв'язки між елементами системи.

#### *5. За характером функцій:*

- спеціалізовані - для таких систем характерна єдиність призначення;

- багатофункціональні (універсальні) - дозволяють реалізувати на одній і тій же структурі декілька функцій.



*6. За характером розвитку:*

- стабільні - системи, у яких структура і функції практично не змінюються протягом всього періоду існування;
- що розвиваються - системи, структура та функції яких з плином часу зазнають суттєвих змін.

*7. За ступенем організованості:*

- добре організовані. Представити досліджуваний об'єкт або процес у вигляді добре організованої системи означає визначити елементи системи, їх взаємозв'язок, правила об'єднання в більш великі компоненти;
- погано організовані (дифузні). При поданні об'єкта у вигляді погано організованої, або дифузної, системи не ставиться завдання визначити всі компоненти, їх властивості і зв'язки між ними і цілями системи.

*8. За складністю поведінки:*

- автоматичні - однозначно реагують на обмежений набір зовнішніх впливів;
- вирішальні - мають постійні критерії розрізнення реакції на широкі класи зовнішніх впливів;
- ті, що самоорганізуються - мають гнучкі критерії розрізнення і гнучкі реакції на зовнішні впливи, ті, що пристосовуються до різних типів впливу;
- ті, що передбачають - можуть передбачати подальший хід розвитку зовнішнього середовища;
- ті, що перетворюються - уявні системи на вищому рівні складності, не пов'язані послідовністю існуючих носіїв. Вони можуть змінювати речові носії, зберігаючи свою індивідуальність. Науці приклади таких систем поки не відомі.

*9. За обумовленістю дій:*

- детерміновані - системи, для яких їх стан однозначно визначається початковими значеннями і може бути передбачене для будь-якого наступного моменту часу;

- стохастичні системи, зміни в яких носять випадковий характер. При випадкових впливах даних про стан системи недостатньо для передбачення в наступний момент часу.

*10. За структурою управління:*

- централізовані - системи, в яких один з елементів відіграє головну, домінуючу роль;

- децентралізовані - системи, в яких всі складові їх компоненти приблизно однаково значущі.

*11. По розмірності:*

- одновимірні - системи, що мають один вхід і один вихід;

- багатовимірні - системи, у якій входів або виходів більше одного.

Необхідно розуміти умовність одномірності системи - в реальності будь-який об'єкт має незліченну кількість входів і виходів.

*12. По однорідності і різноманітності структурних елементів системи* бувають гомогенними, або однорідними, і гетерогенними, або різнорідними, а також змішаного типу:

- в гомогенних системах структурні елементи системи однорідні, тобто володіють однаковими властивостями. У зв'язку з цим в гомогенних системах елементи взаємозамінні;

- гетерогенні системи складаються з різнорідних елементів, що не володіють властивістю взаємозамінності.

*13. По здатності ставити собі за мету:*

- каузальні - системи, яким мета внутрішньо не притаманна. Якщо така система і має цільову функцію (наприклад, автопілот), то ця функція задана ззовні користувачем;

- цілеспрямовані - мета формується в межах системи.

## 2 ОСНОВИ ТЕОРІЇ ІНФОРМАЦІЇ

### 2.1 Визначення поняття «інформація». Її основні властивості.

Слово «інформація» походить від латинського слова *informatio*, що в перекладі означає зведення, роз'яснення, ознайомлення. В середині 20 століття термін «інформація» став загальнонауковим поняттям, що включає обмін відомостями між людьми, людиною і автоматом (ЕОМ), автоматом і автоматом, обмін сигналами в тваринному і рослинному світі, передачу ознак від клітини до клітини, від організму до організму.

**Інформація** - сукупність відомостей про об'єкти, явища, процеси, їх властивості і відносини. [1]

**Повідомлення** - сукупність символів кінцевого алфавіту, що є формою вираження інформації. [1]

**Сигнал** - матеріальний носій інформації, що володіє змінними параметрами (звук, світло, радіо сигнали, напруга, кутове або лінійне переміщення і т.д.). [1]

**Дані (англ. Data)** - це інформація зібрана і трансформована для деяких цілей, зазвичай аналізу.

Інформацію можна розділити на види за різними критеріями [4]:

1. За способом сприйняття:

- Візуальна - сприйнята органами зору.
- Звукова - сприйнята органами слуху.
- Тактильна - сприйнята тактильними рецепторами.
- Нюхова - сприйнята нюховими рецепторами.
- Смакова - сприйнята смаковими рецепторами.

2. За формою подання:

- Текстова - що передається у вигляді символів, призначених позначати лексеми мови.

- Числова - у вигляді цифр і знаків, що позначають математичні дії.
- Графічна - у вигляді зображень, предметів, графіків.
- Звукова - усна або у вигляді запису і передачі лексем мови аудіальним

шляхом.

- Відеоінформація - передана у вигляді відеозапису.

3. За призначенням:

- Масова - містить тривіальні відомості і оперує набором понять, зрозумілим більшій частині соціуму.

- Спеціальна - містить специфічний набір понять, при використанні відбувається передача відомостей, які можуть бути не зрозумілі основній масі соціуму, але необхідні і зрозумілі в рамках вузької соціальної групи, де використовується дана інформація.

- Секретна - передана вузькому колу осіб і за закритими (захищеним) каналам.

- Особиста (приватна) - набір відомостей про яку-небудь особистості, що визначає соціальний стан і типи соціальних взаємодій всередині популяції.

### **Основні властивості інформації:**

1. Релевантність – здатність інформації відповідати потребам (запитам) споживача.

2. Повнота – властивість інформації вичерпно (для даного споживача) характеризувати об'єкт та/або процес, що відображається.

3. Своєчасність – здатність інформації відповідати потребам споживача в потрібний момент часу.

4. Достовірність – властивість інформації не мати прихованих помилок.

5. Доступність – властивість інформації, що характеризує можливість її отримання даними споживачем.

6. Захищеність – властивість, що характеризує неможливість несанкціонованого використання або зміни.

7. Ергономічність – властивість, що характеризує зручність форми або обсягу інформації з точки зору даного споживача.

8. Адекватність – властивість інформації однозначно відповідати об'єкту або явищу, що відображається. Адекватність для споживача є внутрішньою властивістю інформації, що проявляється через релевантність і достовірність.

9. Живучість – здатність інформації зберігати свою якість з плином часу.

10. Унікальною називають інформацію, що зберігається в єдиному екземплярі.

Живучість і унікальність є властивостями інформації, які пов'язані з процесом її зберігання.

### **Закони існування інформації.**

#### 1. Загальний закон збереження інформації.

Інформація в загальному вигляді, будучи властивістю всіх матеріальних об'єктів, існує вічно, ніколи не виникала і ніколи не зникає. Ми бачимо стіл - інформацію про нього ми отримуємо як тільки його побачили, але якщо ми його не бачимо це не означає, що інформації про нього немає - просто вона нам не доступна.

#### 2. Загальний закон переходу інформації.

Усе інформаційне поле обумовлено взаємодіями структурної та оперативної інформації та їх взаємними переходами (перетвореннями) одна в одну.

Структурна (або звязна), притаманна об'єктам неживої природи природного і штучного походження, наприклад стіл - ми, бачачи або сприймаючи його, отримуємо інформацію про нього - матеріал, форма, колір і т.п.; ця інформація невід'ємна від об'єкта (стола), вона притаманна саме цьому столу.

Оперативна (або робоча), це інформація що циркулює між об'єктами матеріального світу і використовується в процесах управління в живій природі, в людському суспільстві, це в першу чергу команди (явні і приховані) і інші форми управління. Вся неструктурна інформація є оперативною.

Всі інші закони є приватними по відношенню до двох вищеназваних і відносяться до функціонування оперативної інформації.

### 3. Закон незбереження інформації.

При будь-яких змінах системи-носія інформації, що призводять до порушення структури повідомлення (або відображення), інформація зникає в ній частково або повністю у відповідності з розмірами порушень. При цьому вона не перетворюється ні в речовину, ні в енергію, ні в іншу інформацію, а просто зникає.

Людина бачив дерево влітку. За осені дерево скинуло листя - змінилося. Той же людина бачить це ж дерево але інформація вже інша.

### 4. Закон узгоджених каналів інформаційної взаємодії.

Дві системи (об'єкта) можуть здійснювати інформаційну взаємодію тільки через узгоджені канали зв'язку. Люди, розмовляючи, видають звуки в одному звуковому діапазоні. В іншому випадку вони не почують один одного. Радіостанції працюють на одній частоті - інакше вони не почують одна одну.

### 5. Закон подвоєння інформації.

В процесі одиничного акту передачі інформації від одного об'єкта до іншого за погодженим каналом зв'язку, вона (інформація) подвоюється - другий об'єкт в цьому випадку інформацію отримує, а перший її не втрачає. Наприклад повідомлення від людини людині - той хто повідомлення передав продовжать залишатися власником цієї інформації, і той хто повідомлення прийняв так само стає володарем цієї інформації. У матеріальному світі все трохи інакше - якщо ти передав предмет іншому, то втратив його для себе.

### 6. Закон перекодування інформації.

Передача інформації від одного об'єкта до іншого з будь-якого погодженим каналом зв'язку здійснюється лише шляхом перекодування; пряма передача інформації в цьому випадку неможлива. Ми не вміємо здійснювати прямий обмін інформацією - ми модулюємо цією інформацією якісь підвладні нам канали зв'язку і таким чином обмінюємося інформацією. Це мова, писемність, знаки, відео, зображення.

### 7. Закон тезауруса.

Для адекватного сприйняття отриманого об'єктом повідомлення, останній повинен мати в наявності апріорну інформацію (тезаурус), достатню для дешифрування і засвоєння отриманого повідомлення. Для мовлення це алфавіт, для мови - словник, для управління - набір команд.

### 8. Закон фасцинації.

Для адекватного сприйняття отриманого об'єктом повідомлення, останнє повинно мати привабливу форму. Кардинальний варіант - відторгнення інформації яка має негативну форму, форму неприємну для приймаючої сторони.

### 9. Закон маєвтики.

Інформація, яка надходить об'єкту, може бути розглянута не тільки як корисне повідомлення, але і як стимул для породження нової інформації на основі минулого досвіду і моделювання ситуації. Слідство: в результаті маніпуляцій інформацією в спеціальних (логічних, інтуїційних, кібернетичних) системах її переробки може бути отримана нова інформація без додаткового надходження ззовні. (Термін "маєвтика" в перекладі з грецької мови означає "породіллі" і сходить ще до Сократа.) А це власне робота аналітика - отримувати інформацію, переробляти її і видавати нову інформацію.

### 10. Закон опосередкованого управління.

Інформація, може бути опосередковано використана як "агент" управління певним об'єктом. Наприклад керуючий вплив людини на людину.

## 2.2 Основні інформаційні процеси

Можливо виділити п'ять основних інформаційних процесів [2].

### 1. Збір інформації

Один з основних процесів є збір інформації.

Процес збору інформації являє собою діяльність суб'єкта, метою якої є отримання відомостей про об'єкт, який його цікавить.

Збір інформації може здійснюватися або людиною, або за допомогою технічних засобів і систем – апаратно. Система збору інформації може являти собою складний програмно-апаратний комплекс. Як правило, сучасні системи збору електронної інформації не тільки забезпечують кодування інформації і її введення в комп'ютер, а й виконують попередню (первинну) обробку цих даних.

## **2. Обробка інформації**

Схема обробки інформації: вихідна інформація - виконавець обробки - підсумкова інформація.

У процесі обробки інформації вирішується деяка інформаційна задача, яка попередньо може бути поставлена в традиційній формі: даний деякий набір вихідних даних, потрібно отримати деякі результати. Сам процес переходу від вихідних даних до результату і є процес обробки. Об'єкт або суб'єкт, який здійснює обробку, називають виконавцем обробки.

Для успішного виконання обробки інформації виконавцю (людині або пристрою) повинен бути відомий алгоритм обробки, тобто послідовність дій, яку потрібно виконати, щоб досягти потрібного результату.

### Розрізняють два типи обробки інформації:

Перший тип обробки: обробка, пов'язана з отриманням нової інформації, нового змісту знань (рішення математичних задач, аналіз ситуації та ін.).  
Другий тип обробки: обробка, пов'язана зі зміною форми, але не змінює змісту (наприклад, переклад тексту з однієї мови на іншу).

Важливим видом обробки інформації є кодування - перетворення інформації в символну форму, зручну для її зберігання, передачі, обробки. Кодування активно використовується в технічних засобах роботи з інформацією (телефонія, комп'ютери).

Інший вид обробки інформації - структурування даних (внесення певного порядку в сховище інформації, класифікація, каталогізація даних).



### 3. Передача інформації.

Розвиток людства був би неможливим без обміну інформацією. З давніх часів люди з покоління в покоління передавали свої знання, сповіщали про небезпеку або передавали важливу і термінову інформацію, обмінювалися відомостями.

У будь-якому процесі передачі або обміні інформацією існує її джерело і одержувач, а сама інформація передається по каналу зв'язку за допомогою сигналів: механічних, теплових, електричних і ін.

Інформація представляється і передається в формі послідовності сигналів, символів. Від джерела до приймача повідомлення передається через деяке матеріальне середовище.

Як джерело інформації може виступати жива істота або технічний пристрій. Від нього інформація потрапляє в кодуєчий пристрій, який призначений для перетворення вихідного повідомлення в форму, зручну для передачі. З такими пристроями ви зустрічаєтеся постійно: мікрофон телефону, лист паперу і т.д.

Каналом зв'язку інформація потрапляє в декодер одержувача, яке перетворює кодоване повідомлення у форму, зрозумілу одержувачу. Одні з найскладніших декодер - людське вухо та око.

В процесі передачі інформація може втрачатися, спотворюватися. Це відбувається через різні перешкоди, як в каналі зв'язку, так і при кодуванні і декодуванні інформації.

Терміном «шум» називають різного роду перешкоди, які спотворюють сигнал, що передається і призводять до втрати інформації. Такі перешкоди, перш за все, виникають з технічних причин: погана якість ліній зв'язку, незахищеність один від одного різних потоків інформації, переданої по одним і тим же каналам. Для захисту від шуму застосовуються різні способи, наприклад, застосування різного роду фільтрів, що відокремлюють корисний сигнал від шуму.

#### **4. Зберігання**

Збір інформації не є самоціллю. Щоб отримана інформація могла використовуватися, причому багаторазово, необхідно її зберігати.

Зберігання інформації - це спосіб поширення інформації в просторі і часі.

Людський розум є найдосконалішим інструментом пізнання навколишнього світу. А пам'ять людини - прекрасним пристроєм для зберігання отриманої інформації.

Щоб інформація стала надбанням багатьох людей, необхідно мати можливість її зберігати не тільки в пам'яті людини. У процесі розвитку людства існували різні способи зберігання інформації, які удосконалювалися з часом: вузлики на віршовках, карби на палицях, берестяні грамоти, листи на папірусі, папері.

Нарешті, був винайдений друкарський верстат, і з'явилися книги. Пошук надійних і доступних способів зберігання інформації йде і до цього дня.

Сьогодні ми використовуємо для зберігання інформації найрізноманітніші матеріали: папір, фото- і кіноплівку, магнітні аудіо- та відеострічки, магнітні та оптичні диски. Все це - носії інформації.

**Носій інформації** - матеріальний об'єкт, призначений для зберігання і передачі інформації.

**Сховище інформації** - це певним чином організована інформація на зовнішніх носіях, призначена для тривалого зберігання і постійного використання (наприклад, архіви документів, бібліотеки, картотеки).

Основною інформаційною одиницею сховища є певний фізичний документ: анкета, книга та ін. Під організацією сховища розуміється наявність певної структури, тобто впорядкованість, класифікація збережених документів для зручності роботи з ними.

Основні властивості сховища інформації: обсяг інформації, що зберігається, надійність зберігання, час доступу (тобто час пошуку потрібних відомостей), наявність захисту інформації.

Інформацію, збережену на пристроях комп'ютерної пам'яті, прийнято називати даними. Організовані сховища даних на пристроях зовнішньої пам'яті комп'ютера прийнято називати базами і банками даних.

## 5. Пошук

*Інформаційним пошуком (ІП) називається деяка послідовність операцій, що виконуються з метою відшукування документів, що містять певну інформацію, або з метою видачі фактичних даних, що представляють собою відповіді на певні питання.*

Виділяють наступні методи пошуку інформації: безпосереднє спостереження; спілкування з фахівцями з тем, які Вас цікавлять; читання відповідної літератури; перегляд відео, телепрограм; прослуховування радіопередач, аудіокасет; робота в бібліотеках і архівах; запит до інформаційних систем, баз і банків комп'ютерних даних; інші методи.

Для того щоб зібрати як найповнішу інформацію і підвищити ймовірність прийняття правильного рішення, необхідно використовувати різноманітні методи пошуку інформації.

### 2.3 Знаходження кількості інформації.

Кількість інформації, що міститься в дискретному повідомленні (І) можна знайти з простого співвідношення

$$I = n \cdot H,$$

де  $n$  - число символів в повідомленні,

$H$  - ентропія джерела повідомлень, тобто середня кількість інформації, що припадає на один символ повідомлення.

Ентропія джерела повідомлення визначається з основного співвідношення теорії інформації, яке для зручності практичного використання перетвориться до

виду найбільш простому і зручному в залежності від властивостей дискретного джерела повідомлень.

У разі, якщо символи джерела повідомлення з'являються рівновероятно і взаємно незалежно, то для підрахунку ентропії такого роду повідомлень використовують формулу Хартлі:

$$I = n \cdot \log_2 m(\text{бim}); \quad H_1 = \log_2 m(\text{бim} / \text{символ}),$$

де  $m$ - обсяги алфавіту джерела дискретних повідомлень.

Якщо символи джерела повідомлення генеруються з різними можливостями, но взаємно незалежні, то використовують формулу Шеннона:

$$I = -n \cdot \sum_{i=1}^m P_{ai} \cdot \log_2 P_{ai}(\text{бim}),$$

$$H_2 = -\sum_{i=1}^m P_{ai} \cdot \log_2 P_{ai}(\text{бim} / \text{символ}),$$

де  $P_{ai}$  — ймовірність появи символу  $a_i$ .

У разі ж неравновероятного появи символів джерела повідомлення і наявності статистичних залежностей між сусідніми символами ентропію такого роду джерела можна визначити за допомогою формули Шеннона з умовними ймовірностями:

$$H_2 = -\sum_{i=1}^m P_{ai} \cdot \sum_{j=1}^m P\left(\frac{a_j}{a_i}\right) \cdot \log_2 P\left(\frac{a_j}{a_i}\right) (\text{бim} / \text{символ}),$$

де  $P\left(\frac{a_j}{a_i}\right)$  — умовна ймовірність появи символу  $a_j$  після символу  $a_i$ .

## 2.4 Кодування інформації

### 2.4.1 Двійкова система числення. Арифметичні операції в двійковій системі числення.

Особлива значимість двійкової системи числення визначається тим, що внутрішнє подання будь-якої інформації в комп'ютері є двійковим, тобто описуваних наборами тільки з двох знаків (0 і 1).

Для переведення чисел з будь-якої позиційної системи числення в десяткову досить скористатися розгорнутою формою запису числа. наприклад,

$$\begin{aligned} 11001,112 &= 1 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 + 1 \cdot 2^{-1} + 1 \cdot 2^{-2} = \\ &= 1 \cdot 16 + 1 \cdot 8 + 0 \cdot 4 + 0 \cdot 2 + 1 \cdot 1 + 1 \cdot 0,5 + 1 \cdot 0,25 = 25,7510 \end{aligned}$$

Розглянемо приклад:

$$\begin{aligned} 101101,12 &= 1 \cdot 2^5 + 1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^0 + 1 \cdot 2^{-1} = \\ &= 1 \cdot 32 + 1 \cdot 8 + 1 \cdot 4 + 1 \cdot 1 + 1 \cdot 0,5 = 25,510 \\ 11010,1012 &= 1 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^{-1} + 1 \cdot 2^{-3} = 26,62510 \end{aligned}$$

Щоб перевести число з десяткової системи числення в двійкову, треба цілу і дробову частини переводити порізно. Для переведення цілої частини (або просто цілого) числа - необхідно розділити його на основу системи числення і продовжувати ділити часне від ділення до тих пір, поки часне не стане рівним 0. Значення одержаних залишків, взятих в зворотній послідовності, утворюють шукане двійкове число.

Наприклад:

Залишок

$$25:2=12 \quad (1),$$

$$12:2=6 \quad (0),$$

$$6:2=3 \quad (0),$$

$$1:2=0 \quad (1).$$

Таким чином,

$$25^{(10)} = 11001^{(2)}$$

Для переведення дробової частини (або числа, у якого «0» цілих) треба помножити її на 2. Ціла частина добутку буде першою цифрою числа в двійковій системі. Потім, відкидаючи у результату цілу частину, знову множимо на 2 і т.д. Зауважимо, що кінцева десяткова дріб при цьому цілком може стати нескінченною (періодичною) двійковою. Наприклад:

$$0,73 * 2 = 1,46 \text{ (ціла частина 1),}$$

$$0,46 * 2 = 0,92 \text{ (ціла частина 0),}$$

$$0,92 * 2 = 1,84 \text{ (ціла частина 1),}$$

$$0,84 * 2 = 1,68 \text{ (ціла частина 1) і т.д.}$$

В підсумку

$$0,73(10)=0,1011 \dots(2).$$

Арифметичні операції в двійковій системі числення

Над числами, записаними в будь-якій системі числення, можна виробляти різні арифметичні операції. Так, для додавання і множення двійкових чисел необхідно використовувати таблицю.

Таблиця двійкового складання	Таблиця двійкового віднімання	Таблиця двійкового множення
0+0=0	0-0=0	0*0=0
0+1=1	1-0=1	0*1=0
1+0=1	1-1=0	1*0=0
1+1=10	10-1=1	1*1=1

При додаванні двійкових чисел в кожному розряді проводиться сумування цифр доданків і перенесення з сусіднього молодшого розряду, якщо

він є. При цьому необхідно враховувати, що  $1+1$  дають нуль в даному розряді і одиницю перенесення в наступний.

Приклад. Виконати додавання двійкових чисел:

а)  $X=1101$ ,  $Y=101$ ;



Результат  $1101+101=10010$ .

б)  $X=1101$ ,  $Y=101$ ,  $Z=111$ ;



Результат  $1101+101+111=11001$ .

При відніманні двійкових чисел в даному розряді при необхідності займається 1 з старшого розряду. Ця займана 1 дорівнює двом 1 даного розряду.

Приклад. Задані двійкові числа  $X = 10010$  і  $Y = 101$ . Обчислити  $X-Y$ .



Результат  $10010 - 101=1101$ .

Множення двійкових чисел проводиться за тими ж правилами, що і для десяткових за допомогою таблиць двійкового множення і складання.

Приклад.  $1001*101=?$

Результат  $1001 \cdot 101 = 101101$ .

Розподіл двійкових чисел проводиться за тими ж правилами, що і для десяткових. При цьому використовуються таблиці двійкового множення і віднімання.

Приклад.  $1100.011 : 10.01 = ?$



Результат  $1100.011 : 10.01 = 101.1$ .

#### 2.4.2 Вісімкова і шістнадцяткова системи числення

Хоча комп'ютер «знає» тільки двійкову систему числення, часто з метою зменшення кількості записуваних на папері або вводимих з клавіатури комп'ютера знаків буває зручніше користуватися вісімковими і шістнадцатерічними числами, тим більше що, як буде показано далі, процедура взаємного перекладу чисел з кожної з цих систем в двійкову дуже проста - набагато простіше переказів між будь-якими з цих трьох систем і десяткової.

$$1216,04_{(8)} = 1 \cdot 8^3 + 2 \cdot 8^2 + 1 \cdot 8^1 + 6 \cdot 8^0 + 4 \cdot 8^{-2} = 512 + 128 + 8 + 6 + 0,0625 = 654,0625$$

(10);

$$29A,5_{(16)} = 2 \cdot 16^2 + 9 \cdot 16^1 + 10 \cdot 16^0 + 5 \cdot 16^{-1} = 512 + 144 + 10 + 0,3125 = 656,3125$$

(10).

Перевод чисел з десяткової системи числення в вісімкову проводиться (за аналогією з двійковою системою числення) за



допомогою ділення і множення на 8. Наприклад, переведемо число  $58,32_{10}$ :

$$58:8=7 \text{ (2 в остатке),}$$

$$7:8=0 \text{ (7 в остатке).}$$

$$0,32*8=2,56,$$

$$0,56*8=4,48,$$

$$0,48*8=3,84, \dots$$

таким чином,

$$58,32_{10}=72,243 \dots_8$$

(З кінцевого дробу в одній системі може вийти нескінченна дріб в інший).

Переклад чисел з десяткової системи числення в шістнадцяткову систему проводиться аналогічно.

З практичної точки зору являє інтерес процедура взаємного перетворення двійкових, вісімкових і шістнадцяткових чисел. Для цього скористаємося таблицею чисел від 0 до 15 (в десятковій системі числення), представлених в інших системах числення.

Для переведення цілого двійкового числа в вісімкове необхідно розбити його справа наліво на групи по 3 цифри (найлівіша група може містити менше трьох цифр), а потім кожній групі поставити у відповідність її восьмеричний еквівалент. наприклад:

$$11011001 = 11 \ 011 \ 001, \text{ т.е. } 11011001_2 = 331_8$$

Групу з трьох довільних цифр часто називають «двійковою тріадою».

Перевод цілого двійкового числа в шістнадцяткове проводиться шляхом розбиття даного числа на групи по 4 цифри - «виконавчі тріади»:

$$1100011011001 = 1 \ 1000 \ 1101 \ 1001, \text{ тобто } 11011001_2 = 18D916$$

Для перекладу дрібних частин двійкових чисел в вісімкову або шістнадцатеричну систему аналогічне розбиття на тріади або тетради проводиться від точки вправо (з доповненням відсутніх останніх цифр нулями):

$$0,1100011101_2 = 0,110\ 001\ 110\ 100 = 0,6164_8,$$

$$0,1100011101_2 = 0,1100\ 0111\ 0100 = 0,С74_{16}.$$

Переклад вісімкових (шістнадцятирічних) чисел в двійкові проводиться зворотним шляхом - зіставленням кожному знаку числа відповідної трійки (четвірки) двійкових цифр.

$$65,3_8 = 110\ 101,011_2$$

$$6AF,3_{16} = 110\ 1010\ 1111,0011_2$$

Над числами в вісімковій і шістнадцятковій системах числення можна проводити арифметичні операції. Для цього необхідно скористатися таблицями додавання і множення.

### Додавання

								0
							0	1
						0	1	2
					0	1	2	3
				0	1	2	3	4
			0	1	2	3	4	5
		0	1	2	3	4	5	6

## Множення

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

	0		1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
0	0		1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
1	1		2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F	10
2	2		3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F	10	11
3	3		4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F	10	11	12
4	4		5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F	10	11	12	13
5	5		6	7	8	9	A	B	C	D	E	F	10	11	12	13	14
6	6		7	8	9	A	B	C	D	E	F	10	11	12	13	14	15
7	7		8	9	A	B	C	D	E	F	10	11	12	13	14	15	16
8	8		9	A	B	C	D	E	F	10	11	12	13	14	15	16	17
9	9		A	B	C	D	E	F	10	11	12	13	14	15	16	17	18
A	A		B	C	D	E	F	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19

B	B		C	D	E	F	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	1A
C	C		D	E	F	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	1A	1B
D	D		E	F	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	1A	1B	1C
E	E		F	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	1A	1B	1C	1D
F	F		10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	1A	1B	1C	1D	1E

X	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
2	0	2	4	6	8	A	C	E	10	12	14	16	18	1A	1C	1E
3	0	3	6	9	C	F	12	15	18	1B	1E	21	24	27	2A	2D
4	0	4	8	C	10	14	18	1C	20	24	28	2C	30	34	38	3C
5	0	5	A	F	14	19	1E	23	28	2D	32	37	3C	41	46	4B
6	0	6	C	12	18	1E	24	2A	30	36	3C	42	48	4E	54	5A
7	0	7	E	15	1C	23	2A	31	38	3F	46	4D	54	5B	62	69
8	0	8	10	18	20	28	30	38	40	48	50	58	60	68	70	78
9	0	9	12	1B	24	2D	36	3F	48	51	5A	63	6C	75	7E	87
A	0	A	14	1E	28	32	3C	46	50	5A	64	6E	78	82	8C	96
B	0	B	16	21	2C	37	42	4D	58	63	6E	79	84	8F	9A	A5
C	0	C	18	24	30	3C	48	54	60	6C	78	84	90	9C	A8	B4
D	0	D	1A	27	34	41	4E	5B	68	75	82	8F	9C	A9	B6	C3
E	0	E	1C	2A	38	46	54	62	70	7E	8C	9A	A8	B6	C4	D2
F	0	F	1E	2D	3C	4B	5A	69	78	87	96	A5	B4	C3	D2	E1

Приклади.

Скласти числа:

а)  $10000000100_{(2)} + 111000010_{(2)} = 10111000110_{(2)}$ ;

б)  $223,2_{(8)} + 427,54_{(8)} = 652,74_{(8)}$ ;

в)  $3B3,6_{(16)} = 73E,A_{(16)}$ .

$$\begin{array}{r} + 10000000100 \\ \quad 111000010 \\ \hline 10111000110 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} + 223,2 \\ \quad 457,54 \\ \hline 652,74 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} + 3B3,6 \\ \quad 38B,4 \\ \hline 73E,A \end{array}$$

Виконати обчислення:

а)  $11\ 00000011,011_{(2)} - 101010111,1_{(2)} = 1101011,111_{(2)}$ ;

б)  $1510,2_{(8)} - 1230,54_{(8)} = 257,44_{(8)}$ ;

в)  $27D,D8_{(16)} - 191,2_{(16)} = EC,B8_{(16)}$ .

1100000011,011	1510,2	27D,D8
* 101010111,1	* 1230,54	* 191,2
110101011,111	257,44	EC,B8

Виконати множення:

а)  $100111_{(2)} \times 1000111_{(2)} = 101011010001_{(2)}$ ;

б)  $1510,2_{(8)} \times 46,3_{(8)} = 57334,134_{(8)}$ ;

в)  $61,A_{(16)} \times 40,D_{(16)} = 18\ B7,52_{(16)}$ .

100111	1170,64	61,A
* 1000111	* 46,3	* 40,D
100111	355234	+ 4F52
+ 100111	+ 732470	1868
100111	474320	18B7,52
100111	57334,134	
101011010001		

## 2.5 Основи завадостійкого кодування

Великі обсяги інформації вимагають її постійної систематизації та кодування для коректної і точної передачі.

Одна з основних здібностей інформаційної системи є завадостійкість (здатність інформаційної системи протистояти впливу перешкод). Для реалізації принципу завадостійкості інформаційних систем може бути використане *завадостійке кодування*. Щоб виявити і виправити помилку, застосовують завадостійке кодування, тобто кодують повідомлення таким чином, щоб приймаюча сторона знала, сталася помилка чи ні, і могла виправити помилки в разі їх виникнення.

*Завадостійкими* (коректуючими) називаються коди, що дозволяють виявити і при необхідності виправити помилки в прийнятому повідомленні.

Можливість використання кодування для зменшення числа помилок в каналі була теоретично показана К. Шенноном в 1948 році в його роботі

"Математична теорія зв'язку". Тепер це твердження прийнято називати другою теоремою Шеннона.

*Завадозахищене кодування можливо тільки за рахунок передачі додаткової інформації, тобто будь-яка спроба захиститися від перешкод потребує передачі більшої кількості інформації, ніж вихідна.*

До  $k$  інформаційним бітам за певними правилами додаються  $r$  перевірочних (корегувальних) біт. В результаті загальна довжина кодової комбінації стає рівною  $n = k + r$

*Надмірність коду* - це кількість перевірочної інформації в повідомленні. Розраховується вона за формулою:

$r/(k + r)$ , де

$r$  - кількість перевірочних біт,

$k$  - кількість інформаційних біт.

Наприклад, ми передаємо 3 біта і до них додаємо 1 перевірочний біт - надмірність складе  $1/(3 + 1) = 1/4$  (25%).

Для надійної передачі кодів було запропоновано два основні методи.

Перший - додати в переданий блок даних декілька «зайвих» біт так, щоб, аналізуючи отриманий блок, можна було б сказати, є в переданому блоці помилки чи ні. Це так звані *коди з виявленням помилок*.

Другий - внести надмірність настільки, щоб, аналізуючи отримані дані, можна не тільки помічати помилки, але і вказати, де саме виникли спотворення. Це *коди, що виправляють помилки*.

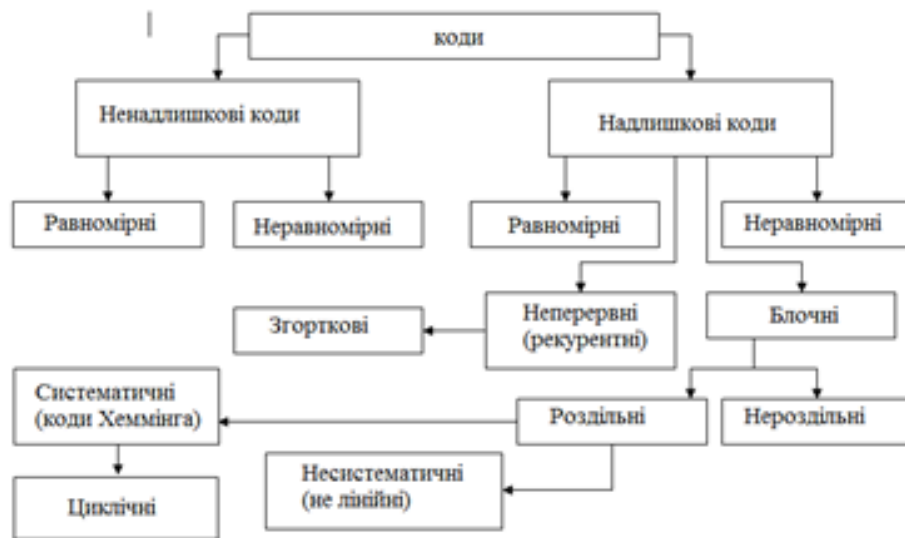


Рис.2.1. Класифікація завадостійких кодів

Відома велика кількість кодів, систематизація та класифікація яких через їх численні ознаки є досить складною. Тому в основу класифікації покладемо структурні характеристики кодів.

Коди можна розділити на дві самостійні групи. До першої відносяться коди, що використовують всі можливі комбінації - ненадлишкові коди. У літературі їх ще називають простими або первинними.

До другої групи належать коди, що використовують лише певну частину всіх можливих комбінацій. Такі коди називаються надлишковими. У цих кодах кількість розрядів кодових комбінацій можна умовно розділити на певне число розрядів, призначених для інформації (інформаційні розряди), і число розрядів, призначених для корекції помилок (перевірочні розряди).

Обидві групи кодів, в свою чергу, поділяються на рівномірні і нерівномірні. Рівномірні коди - це коди, усі кодові комбінації яких містять постійну кількість розрядів. Нерівномірні коди містять кодові комбінації з різною кількістю розрядів. Нерівномірні надлишкові коди не знайшли застосування на практиці через складність їх технічної реалізації.

Всі надлишкові коди поділяють на два класи: безперервні (рекурентні) і блокові.

У Неперервних кодах процес кодування і декодування носить безперервний характер. Безперервні або рекурентні коди утворюють послідовність символів, яка не розділяється на окремі кодові комбінації. Формування перевірочних символів ведеться по рекурентним (зворотнім) правилам, тому безперервні коди часто називають рекурентними або ланцюговими.

У найпростішому ланцюговому коді кожен перевірочний елемент формується шляхом додавання по модулю 2 сусідніх або віддалених один від одного на певне число позицій інформаційних елементів. У канал зв'язку передається послідовність імпульсів, в якій за кожним інформаційним передається перевірочний розряд. Подібну послідовність, в якій чергуються розряди, має, наприклад, кореляційний манчестерський код.

До безперервних кодів відносяться і згорткові коди, в яких кожний інформаційний символ, що надходить на вхід кодуючого пристрою, викликає появу на його виході ряду перевірочних елементів, утворених підсумовуванням за модулем 2 даного символу і "k-1" попередніх інформаційних символів. Згорткові коди ефективно працюють в каналі з білим шумом, але погано справляються з пачками помилок. Більш того, якщо декодер помиляється, на його виході завжди виникає пачка помилок. Рекурентні коди дозволяють виправляти групові помилки в каналах зв'язку.

У блокових кодах кожному повідомленню відповідає кодова комбінація (блок) з n символів. Блоки кодуються і декодуються окремо один від одного.

Надлишкові коди, в яких певні розряди кодових комбінацій відводяться для інформаційних і перевірочних символів, називаються роздільними. Роздільні блокові коди позначаються зазвичай  $(n, k)$  - кодами, де n - кількість розрядів кодової комбінації, k - число розрядів, що відводяться для інформаційних символів. Нероздільні коди не мають чіткого поділу кодової



комбінації на інформаційні та перевірочні символи. До них відносяться коди з постійною вагою і коди Плоткіна.

Роздільні блокові коди, в свою чергу, діляться на несистематичні і систематичні. У несистематичних кодах перевірочні символи являють собою суми підблоків з  $L$  розрядами, на які розділена послідовність інформаційних символів. До цих кодів відносяться коди Бергера, ітеративні коди.

Найбільший клас роздільних блокових кодів складають систематичні коди, у яких перевірочні символи визначаються в результаті проведення лінійних операцій над певними інформаційними символами. Для двійкових кодів ці операції зводяться до вибору кожного перевірочного символу таким чином, щоб його сума по модулю два з певними інформаційними символами була рівною нулю.

До систематичних кодами відносяться коди з перевіркою на парність, коди з повторенням, кореляційний, інверсний, коди Хеммінга, Голі, Ріда-Маллера, Макдональда, Варшамова, з малою щільністю перевірок на парність, ітеративний код. Ці коди отримали найбільше застосування в системах передачі дискретної інформації.

Різновидом систематичних кодів є циклічні коди. Крім всіх властивостей систематичного коду, циклічні коди мають слідуючу властивість: якщо деяка кодова комбінація належить коду, то отримана шляхом циклічної перестановки символів нова комбінація також належить даному коду. До найбільш відомих циклічних кодів відносяться найпростіші коди, коди Хеммінга, Боуза - Чоудхурі - Хоквінгема, мажоритарні, коди Файр, Абрамсона, Міласа - Абрамсона, Ріда - Соломона, компаундні коди.

Проблема завадостійкого кодування являє собою велику область теоретичних і прикладних досліджень. Основними завданнями при цьому є наступні: пошук кодів, які ефективно виправляють помилки необхідного виду; знаходження методів кодування і декодування і простих способів їх реалізації.

### 2.5.1 Код з перевіркою на парність

Перевірка парності - дуже простий метод для виявлення помилок в переданому пакеті даних. За допомогою даного коду ми не можемо відновити дані, але можемо виявити тільки одиночну помилку.

У кожному пакеті даних є один біт парності, або, так званий, паритетний біт. Цей біт встановлюється під час запису (або відправки) даних, і потім розраховується і порівнюється під час читання (отримання) даних. Він дорівнює сумі по модулю 2 всіх біт даних в пакеті. Тобто число одиниць в пакеті завжди буде парне. Зміна цього біта (наприклад з 0 на 1) повідомляє про виниклу помилку.

Приклад:

Початкові дані: 1111

Дані після кодування: 11110 ( $1 + 1 + 1 + 1 = 0 \pmod{2}$ )

Прийняті дані: 10110 (змінився другий біт)

Як ми бачимо, кількість одиниць в прийнятому пакеті непарне, отже, при передачі відбулася помилка.

Як говорилося раніше, цей метод служить тільки для визначення одиночної помилки. У разі зміни стану двох бітів, можлива ситуація, коли обчислення контрольного біта співпаде з записаним. В цьому випадку система не визначить помилку, а це не є добре.

Наприклад:

Початкові дані: 1111

Дані після кодування: 11110 ( $1 + 1 + 1 + 1 = 0 \pmod{2}$ )

Прийняті дані: 10010 (змінюються 2 і 3 біти)

У прийнятих даних число одиниць парне, і, отже, декодер не виявить помилку.

Так як близько 90% всіх нерегулярних помилок відбувається саме з одиночним розрядом, перевірки парності буває досить для більшості ситуацій.

Правда, визначити місце цієї помилки і, отже, виправити її, поки не можна. Можна лише повторити передачу слова, в якому була допущена помилка, і тим самим її виправити.

### 2.5.2 Ітеративний код (несистематичний (нелінійний) код).

Ще одна проста схема кодування, яка також часто використовується, може бути побудована наступним чином.

Припустимо, що потрібно передати, наприклад, дев'ять інформаційних символів  $\mathbf{m} = (\mathbf{m}_1, \mathbf{m}_2, \dots, \mathbf{m}_9)$ . Ці символи можна розташувати у вигляді квадратної матриці, як це показано в таблиці, і додати до кожного рядка і кожного стовпця цієї таблиці по перевірконого символу (перевірка на парність).

$\mathbf{m}_1$	$\mathbf{m}_2$	$\mathbf{m}_3$	$\mathbf{m}_1 \oplus \mathbf{m}_2 \oplus \mathbf{m}_3$
$\mathbf{m}_4$	$\mathbf{m}_5$	$\mathbf{m}_6$	$\mathbf{m}_4 \oplus \mathbf{m}_5 \oplus \mathbf{m}_6$
$\mathbf{m}_7$	$\mathbf{m}_8$	$\mathbf{m}_9$	$\mathbf{m}_7 \oplus \mathbf{m}_8 \oplus \mathbf{m}_9$
$\mathbf{m}_1 \oplus \mathbf{m}_4$ $\oplus \mathbf{m}_7$	$\mathbf{m}_2 \oplus \mathbf{m}_5 \oplus$ $\mathbf{m}_8$	$\mathbf{m}_3 \oplus \mathbf{m}_6 \oplus$ $\mathbf{m}_9$	$\mathbf{m}_1 \oplus \mathbf{m}_2 \oplus \mathbf{m}_3 \oplus \dots$ $\oplus \mathbf{m}_9$

Таким чином, по рядках і по стовпцях цієї таблиці буде виконуватися правило парності одиниць.

Якщо в процесі передачі по каналу з перешкодами в цій таблиці відбудеться одна помилка (наприклад, в символі  $\mathbf{m}_4$ ), то перевірка на парність у відповідному рядку і стовпці не виконуватиметься. Іншими словами, координати помилки однозначно визначаються номерами стовпця і рядка, в яких не виконуються перевірки на парність. Таким чином, цей код, використовуючи різні перевірки на парність (по рядках і по стовпцях), здатний не тільки виявляти, але і виправляти помилки (якщо відомі координати

помилки, то її виправлення полягає просто в заміні символу на протилежний: якщо 0, то на 1, якщо 1 - то на 0).

Описаний метод кодування, званий ітеративним, виявляється корисним в разі, коли дані природним чином формуються у вигляді масивів, наприклад, на шинах ЕОМ, в пам'яті, що має табличну структуру, і т.д. При цьому розмір таблиці в принципі не має значення ( $3 \times 3$  або  $20 \times 20$ ), проте в першому випадку буде виправлятися одна помилка на  $3 \times 3 = 9$  символів, а в другому - одна на  $20 \times 20 = 400$  символів.

Якщо в простому коді з перевіркою на парність для виявлення помилки доводиться додавати до інформаційної послідовності всього один символ, то для того, щоб код став виправляти одноразову помилку, знадобилося до дев'яти інформаційним символам додати ще сім перевірочних. Таким чином, надмірність цього коду виявилася дуже великою, а виправляюча здатність - порівняно низькою.

Тому зусилля фахівців в області завадостійкого кодування завжди були спрямовані на пошук таких кодів і методів кодування, які при мінімальній надмірності забезпечували б високу виправляючу здатність.

### 2.5.3 Характеристики лінійних кодів.

Лінійні коди, в порівнянні з іншими кодами, дозволяють реалізувати більш ефективні алгоритми кодування і декодування інформації.

Кількість розрядів в кожній кодовій комбінації (блоці) називають довжиною або значністю коду і позначають  $n$ .

Символи кожного розряду можуть приймати значення 0 або 1.

Кількість одиниць в кодовій комбінації називають вагою і позначають  $\omega$ .

Наприклад, кодова комбінація 100101100 має значність  $n = 9$  і вага  $\omega = 4$ .

Ступінь відмінності двох будь-яких кодових комбінацій характеризується кодовою відстанню  $d$  (відстанню Хеммінга), яка визначається як число розрядів, в яких комбінації відрізняються одна від одної.

Для визначення кодового відстані треба підсумувати (по модулю 2) дві кодові комбінації і визначити вагу суми.

Приклад. Визначити кодову відстань між комбінаціями 100101100 і 110110101.

підсумуємо:

$$\begin{array}{r} 100101100 \\ \oplus 110110101 \\ \hline 010011001 \end{array}$$

Вага отриманої суми (кількість одиниць)  $\omega=4$ , отже, кодова відстань  $d=4$ .

При передачі в кодових комбінаціях виникають помилки типу «інверсія». Якщо помилка сталася в одному розряді блоку, вона називається одноразовою, при помилках в двох, трьох і т.д. розрядах вони називаються дворазовими, трикратними і т.д. Для опису виникають в каналі помилок використовують вектор помилки, звичайно позначається як  $e$  і представляє собою двійкову послідовність довжиною  $n$  з одиницями в тих позиціях, в яких відбулися помилки. Вага вектора помилки дорівнює кратності помилки.

Так, вектор помилки  $e = (0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0)$  означає одноразову помилку в четвертому розряді (четвертому біті), вектор помилки  $e = (1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0)$  - дворазову помилку в першій і другій бітах і т. д.

**Коефіцієнт надмірності коду** - це відношення кількості перевірючих бітів до довжини коду.

$$F = \frac{n-k}{n}$$

### Код Хеммінга.

Код Хеммінга, що є груповим  $(n, k)$  кодом, з мінімальним відстанню  $d = 3$  дозволяє виявляти і виправляти одноразові помилки. Для побудови коду

Хеммінга використовується матриця  $H$ .  $H = [A_k E_{n-k}]$ , де  $A_k$  -

транспонована підматриця,  $E_{n-k}$  - одинична підматриця порядку  $n-k$ .

Якщо  $X$  - вихідна послідовність, то добуток  $X \cdot H = 0$ .

Нехай  $E$  - вектор помилок. Тоді  $(X+E) \cdot H = X \cdot H + E \cdot H = 0 + E \cdot H = E \cdot H$  - синдром або коректор, який дозволяє виявити і виправити помилки.

Контрольні символи  $e_1, e_2, \dots, e_r$  утворюються з інформаційних символів, шляхом лінійної комбінації  $e_j = a_{j1}x_1 + a_{j2}x_2 + \dots + a_{jk}x_k$ , де  $a_j = \{0,1\}$  - коефіцієнти, взяті з підматриці  $A$  матриці  $H$ .

Розглянемо утворення коду Хеммінга для  $k=4$  символам. Число контрольних символів  $r=n-k$  можна визначити за нерівністю Хеммінга  $n-k \geq \log(n+1)$  для одноразової помилки. Але так, як нам відомо, тільки вихідне число символів  $k$ , то простіше обчислити за емпіричною формулою

$$r = n - k = \lceil \log((k+1) + \lceil \log(k+1) \rceil) \rceil, \quad (1)$$

Обчислимо для  $k=4$

$$r = n - k = \lceil \log((4+1) + \lceil \log(4+1) \rceil) \rceil = 3.$$

Отримаємо код  $(n,k)=(7,4)$ ;

$$n=7; k=4; r=n-k=3; d=3.$$

Побудуємо матрицю  $H$ .

$$H = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{pmatrix} 3 & 5 & 6 & 7 & 4 & 2 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ x_3 & x_5 & x_6 & x_7 & e_4 & e_2 & e_1 \end{pmatrix} = [A_k, E_{n-k}]$$

Контрольні символи  $e_j$  визначаються за формулою

$$e_j = a_{j1}x_1 + a_{j2}x_2 + \dots + a_{jk}x_k. \text{ Наприклад, } e_4 = 0 \cdot x_3 + 1 \cdot x_5 + 1 \cdot x_6 + 1 \cdot x_7. \text{ Для}$$

простоти залишаємо тільки складові з одиничними коефіцієнтами. В результаті отримаємо систему лінійних рівнянь, за допомогою яких обчислюються контрольні розряди. Кожен контрольний розряд є як би доповненням для певних інформаційних розрядів для перевірки на парність.

$$\begin{array}{l} e_4 = x_5 + x_6 + x_7 \\ e_2 = x_3 + x_6 + x_7 \\ e_1 = x_3 + x_5 + x_7 \end{array} \left| \right.$$

При декодуванні обчислюємо коректор  $K = k_4 k_2 k_1$

$$\begin{array}{l} k_4 = e_4 + x_5 + x_6 + x_7 \pmod{2} \\ k_2 = e_2 + x_3 + x_6 + x_7 \pmod{2} \\ k_1 = e_1 + x_3 + x_5 + x_7 \pmod{2} \end{array} \left| \right.$$

Якщо коректор дорівнює нулю, отже, помилок немає. Якщо коректор не дорівнює нулю, то місце розташування вектор-стовпці матриці  $H$ , що збігається з обчисленим коректором, вказує місце помилки.

*Приклад 2.* Дана 1101 - вихідна комбінація ( $k = 4$ ). Закодувати її в кодї Хеммінга.

За формулою (1) знаходимо число контрольних символів  $r = 3$ . Беремо регістр з 7 осередків пам'яті. Розміщуємо вихідну комбінацію в осередках 3,5,6,7.

1 2 3 4 5 6 7  
\* \* 1 \* 1 0 1

Знаходимо контрольні символи

$$e_4 = 5 + 6 + 7 = 1 + 0 + 1 = 0$$

$$e_2 = 3 + 6 + 7 = 1 + 0 + 1 = 0$$

$$e_1 = 3 + 5 + 7 = 1 + 1 + 1 = 1$$

Закодована комбінація матиме вигляд

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

Припустимо, що при передачі виникла помилка, і ми прийняли невірну комбінацію:

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

Перевіряємо її:

$$k_4 = 4 + 5 + 6 + 7 = 0 + 1 + 1 + 1 = 1$$

$$k_2 = 2 + 3 + 6 + 7 = 0 + 1 + 1 + 1 = 1$$

$$k_1 = 1 + 3 + 5 + 7 = 1 + 1 + 1 + 1 + 0$$

$K = k_4, k_2, k_1 = 110$  - в шостому розряді помилка.

$$\mathbf{H}_{2 \times 3} = \begin{pmatrix} \mathbf{011} \\ \mathbf{101} \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{H}_{3 \times 7} = \begin{pmatrix} \mathbf{0001111} \\ \mathbf{0110011} \\ \mathbf{1010101} \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{H}_{4 \times 15} = \begin{pmatrix} \mathbf{000000011111111} \\ \mathbf{000111100001111} \\ \mathbf{011001100110011} \\ \mathbf{101010101010101} \end{pmatrix}$$

#### 2.5.4 Оптимальні коди.

Оптимальні коди застосовуються в тих випадках, коли символи алфавіту зустрічаються в повідомленнях з різною ймовірністю. У цьому випадку застосування оптимальних кодів дозволяє мінімізувати надмірність коду, а, отже, скоротити час передачі повідомлень. Код Шеннона-Фано і код Хаффмана відносяться до безлічі оптимальних кодів. Алгоритм Шеннона-Фано - один з перших алгоритмів стиснення, який вперше сформулювали американські вчені Шеннон і Фано. Даний метод стиснення має велику схожість з алгоритмом Хаффмана, який з'явився на кілька років пізніше. Алгоритм використовує коди змінної довжини: символи, які мають велику ймовірність появи, кодується кодом меншої довжини, символи з малою вірогідністю появи - кодом більшої довжини.

Алгоритм оптимального кодування Шеннона-Фано:



1. Всі символи алфавіту упорядковуються в порядку убавання ймовірності їх появи.
2. Кодуємі символи діляться на дві рівноімовірні або приблизно рівноімовірні підгрупи.
3. Кожному символу з верхньої підгрупи присвоюється код «0», а кожному символу з нижньої підгрупи - код «1».
4. Кожна з підгруп знову ділиться на дві рівноімовірні або приблизно рівноімовірні підгрупи. При цьому кожному символу з верхньої підгрупи присвоюється код «0», а з нижньої - «1».
5. Розподіл на підгрупи проводиться до тих пір, поки в підгрупі не залишиться по одному символу.
6. Результуючі кодові слова записуються зліва направо по кодам підгруп, яка відповідає кодуємому символу.

Приклад оптимального кодування за методом Шеннона-Фано наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 ☒ Кодування за методом Шеннона-Фано

Символ алфавіту $a_i$	Ймовірність $P(a_i)$	Шаги алгоритма					Кількість елементарних символів $l_i$	Кодовое слово
		1	2	3	4	5		
$a_1$	0,30	0	0				2	00
$a_2$	0,25	0	1				2	01
$a_3$	0,15	1	0	0			3	100
$a_4$	0,1	1	0	1			3	101
$a_5$	0,1	1	1	0			3	110
$a_6$	0,05	1	1	1	0		4	1110

$a_7$	0,04	1	1	1	1	$\left. \begin{array}{l} 0,05 \\ 0 \end{array} \right\} 0,04$	5	11110
$a_8$	0,01	1	1	1	1	$\left. \begin{array}{l} 0,01 \\ 1 \end{array} \right\}$	5	11111

Розглянута методика побудови оптимального коду має деяку неоднозначність для випадків, коли неможливо розбити символи алфавіту на підгрупи з рівними можливостями. У таких випадках для одного і того ж розподілу ймовірностей появи символів алфавіту можуть бути отримані коди різної довжини. Цієї неоднозначності можна уникнути, якщо для побудови ефективного коду використовувати алгоритм кодування Хаффмана.

Алгоритм оптимального кодування Хаффмана:

1. Всі символи алфавіту упорядковуються в порядку убутання їх ймовірностей появи.
2. Проводиться «укрупнення» символів. Для цього два останніх символу «укрупнюються» в певний допоміжний символ з імовірністю, яка дорівнює сумі ймовірностей символів, які були «укрупнені».
3. Утворена нова послідовність знову сортується в порядку убутання ймовірностей з урахуванням новоутвореного за рахунок «укрупнення» символу.
4. Процедура повторюється до тих пір, поки не вийде один «укрупнений» символ, ймовірність якого дорівнює 1.

*Зауваження:* На практиці не використовують багаторазове виписування символів алфавіту і їх упорядкування. Обходяться побудовою кодового дерева так як це показано в таблиці 2.2. Верхні гілки кодового дерева кодуються як 0, нижні - 1. Кодування кожної букви проводиться шляхом зчитування значень (0 або 1) відгалужень, які знаходяться на шляху від кореня кодового дерева (точки з імовірністю 1), до вершин, відповідних кожному символу алфавіту.

Таблиця 2.2 - Кодування за методом Хаффмана

Символ алфавіту $a_i$	Ймовірність $P(a_i)$	Кодове дерево	Кількість елементарних символів $l_i$	Кодове слово
$a_1$	0,30		2	00
$a_2$	0,25		2	01
$a_3$	0,15		3	100
$a_4$	0,1		3	101
$a_5$	0,1		3	110
$a_6$	0,05		4	1110
$a_7$	0,04		5	11110
$a_8$	0,01		5	11111

### Алгебра циклічних кодів.

Циклічні коди одержали досить широке застосування завдяки їхній ефективності при виявленні і виправленні помилок. Схеми кодувальних і декодувальних пристроїв для цих кодів надзвичайно прості і будуються на основі звичайних регістрів зсуву.

Циклічні коди незамінні при необхідності передавати інформацію в каналах зв'язку, в яких відсутня можливість повторної передачі даних. Циклічні коди застосовуються при запису і зчитуванні на HDD, CD і DVD, при використанні USB-портів для обміну інформацією, при передачі аудіо та відео інформації.

Циклічними кодами називають спеціальну групу кодів, для побудови яких можуть бути використані циклічні властивості квадратних матриць, а також коди, які описуються неприводимими, утворюючими (породжуючими) многочленами (поліномами).

Наприклад, для кодової комбінації 101101 поліноміальне уявлення таке:

$$A(X) = 1 \cdot x^5 + 0 \cdot x^4 + 1 \cdot x^3 + 1 \cdot x^2 + 0 \cdot x^1 + 1 = x^5 + x^3 + x^2 + 1.$$

Циклічні коди відносяться до систематичних  $(n,k)$  кодів, в яких контрольні  $r$  і інформаційні  $k$  розряди розташовані на суворо визначених місцях:  $n=k+r$ .

Розглянемо алгебру циклічних кодів. Припустимо, необхідно перемножити три многочлени  $(x^3+x^2+1) \cdot (x^3+x+1) \cdot (x+1)$ . Дії проводяться так як в звичайній алгебрі, тільки складання проводиться по модулю 2.

$$\begin{array}{r} x^3+x^2+1 \\ x^3+x+1 \\ \hline x^3+x^2+0+1 \\ x^4+x^3+0+x \\ x^6+x^5+0+x^3 \\ \hline x^6+x^5+x^4+x^3+x^2+x+1 \\ x+1 \\ \hline x^6+x^5+x^4+x^3+x^2+x+1 \\ x^7+x^6+x^5+x^4+x^3+x^2+x \\ \hline x^7+0+0+0+0+0+0+1=x^7+1 \end{array}$$

При діленні операція віднімання замінюється операцією додавання по модулю 2.

Наприклад, необхідно розділити многочлен сьомого ступеня на многочлен третього ступеня  $(x^7+x^5+x^4+x+1)/(x^3+x^2+1)$ . Операція ділення може бути проведена або у вигляді многочленів або у вигляді двійкових кодів.

$$\begin{array}{r|l}
 x^7+0+x^5+x^4+0+0+x+1 & x^3+x^2+1 \\
 \underline{x^7+x^6+0+x^4} & \underline{x^4+x^3+1} \\
 x^6+x^5+0+0 & \\
 \underline{x^6+x^5+0+x^3} & \\
 x^3+0+x+1 & \\
 \underline{x^3+x^2+0+1} & \\
 x^2+x &
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{r|l}
 10110011 & 1101 \\
 \underline{1101} & \underline{11001} \\
 1100 & \\
 \underline{1101} & \\
 1011 & \\
 \underline{1101} & \\
 110 &
 \end{array}$$

### 2.5.5 Принцип циклічного кодування.

Циклічний код одержують у такий спосіб: заданий многочлен  $h(x)$  спочатку множиться на одночлен  $x^{n-k}$ , потім ділиться на утворюючий многочлен  $g(x)$ . В результаті отримаємо:

$$\frac{h(x)x^{n-k}}{g(x)} = Q(x) + \frac{R(x)}{g(x)} \quad (1)$$

$$\text{або} \qquad F(x) = Q(x) \cdot g(x) = x^{n-k}h(x) + R(x) \quad (2)$$

Таким чином, циклічний код можна побудувати множенням кодової комбінації  $h(x)$ , що є заданою, на одночлен  $x^{n-k}$  додаванням до цього добутку залишку  $R(x)$ . При декодуванні, прийняту кодову комбінацію необхідно розділити на  $g(x)$ . Наявність залишку вказує на помилку.

Утворюючий поліном  $g(x)$  є співмножником при розкладанні двочлена  $x^n+1$ . Співмножники розкладання двочлена є неприводимими поліномами (таблиця 2.3).

Таблиця 2.3 - Поліноми

$g(x)$	поліном	$g(x)$	поліном
$g(x)$	$x+1$	$g_1(x^6)$	$x^6+x+1$
$g(x^2)$	$x^2+x+1$	$g_2(x^6)$	$x^6+x^3+1$
$g_1(x^3)$	$x^3+x^1+1$	$g_3(x^6)$	$x^6+x^5+1$
$g_2(x^3)$	$x^3+x^2+1$	.....	.....
$g_1(x^4)$	$x^4+x+1$	$g_1(x^7)$	$x^7+x+1$
$g_2(x^4)$	$x^4+x^3+1$	$g_2(x^7)$	$x^7+x^3+1$
$g_3(x^4)$	$x^4+x^3+x^2+x+1$	$g_3(x^7)$	$x^7+x^3+x^2+x+1$
$g_1(x^5)$	$x^5+x^2+1$	.....	.....
$g_2(x^5)$	$x^5+x^3+1$	$g_1(x^8)$	$x^8+x^4+x^3+x+1$
$g_3(x^5)$	$x^5+x^3+x^4+x+1$	$g_2(x^8)$	$x^8+x^4+x^3+x^2+1$
$g_4(x^5)$	$x^5+x^4+x^2+x+1$	.....	.....
$g_5(x^5)$	$x^5+x^4+x^3+x+1$	$g_1(x^9)$	$x^9+x+1$
$g_6(x^5)$	$x^5+x^4+x^3+x^2+1$	$g_2(x^9)$	$x^9+x^4+1$

Утворюючий поліном вибирають у такий спосіб. За заданою кодовою комбінацією  $k$  визначають число контрольних символів зі співвідношення  $r=\log(n+1)$  або за формулою:

$$r = [\log\{(k + 1) + [\log(k + 1)]\}] \quad (3)$$

Співвідношення значень  $n$ ,  $k$ ,  $r$  можна визначити по таблиці 2.

Таблиця 2.4 - залежностей між  $n$ ,  $k$  і  $r$ 

$n$	3	5	6	7	9...15	17...31	33...63	65...127
$k$	1	2	3	4	5...11	12...26	27...57	28...120
$r$	2	3	3	3	4	5	6	7

З таблиці неприводимих поліномів (табл.2.3) вибирають найкоротший многочлен зі степенем, що дорівнює числу контрольних символів; його і приймають за утворюючий поліном.

### 3. ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ. ОСНОВИ ТЕОРІЇ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ

#### 3.1 Визначення інформаційна система.

Процеси обробки інформації завжди були основою людської діяльності, і об'єднання таких процесів з інформаційними ресурсами з часом стали називати інформаційними системами (ІС).

Інформаційні системи здавна знаходять (в тому чи іншому вигляді) досить широке застосування в життєдіяльності людства. Це пов'язано з тим, що для існування цивілізації необхідний обмін інформацією — передача знань, як між окремими членами і колективами суспільства, так і між різними поколіннями.

Найстаріші (у моральному і у фізичному розумінні) ІС повністю базувалися на ручній праці. Пізніше їм на зміну прийшли різні механічні пристрої для обробки даних (наприклад, для сортування, копіювання, асоціативного пошуку тощо). Наступним кроком стало впровадження автоматизованих інформаційних систем (АІС), тобто систем, де для забезпечення інформаційних потреб користувачів використовується ЕОМ зі своїми носіями інформації. В наш час — епоху інформаційної революції — розробляється і впроваджується велика кількість найрізноманітніших АІСів з дуже широким спектром використання.

Інформаційна система – сукупність організаційних, технічних та програмних засобів, які використовуються для накопичування, зберігання, коригування, здійснення пошуку, обробки і видачі інформації.

Інформаційна система має такі властивості:

- будь-яка інформаційна система може піддаватися аналізу, бути побудована і керована на основі загальних принципів побудови систем;
- інформаційна система є динамічною і може розвиватися;

- при побудові інформаційної системи необхідно користуватися системним підходом;

- вихідною продукцією інформаційної системи є інформація, на основі якої приймаються рішення;

- інформаційну систему слід сприймати як систему обробки даних, яка складається з комп'ютерних та телекомунікаційних пристроїв та реалізується на базі сучасних технологій.

До числа основних функцій Інформаційної системи відносяться:

- збір та реєстрація інформації,

- зберігання інформації

- обробка інформації

- актуалізація (информационных ресурсов системы заключается в приведении их в соответствие текущему состоянию предметной области системы).

- обробка запитів користувачів.

Основні структурні компоненти інформаційних систем:

Технічне (апаратне) забезпечення - комплекс технічних засобів, призначених для роботи інформаційної системи, а також відповідної документації на ці засоби і технологічні процеси.

Програмне і математичне забезпечення - сукупність математичних методів, моделей, алгоритмів і програм для реалізації цілей і завдань інформаційної системи, а також нормального функціонування комплексу технічних засобів.

Організаційне забезпечення - сукупність методів і засобів, що регламентують взаємодію працівників з технічними засобами і між собою в процесі розробки і експлуатації інформаційної системи.

Правове забезпечення - сукупність правових норм, що визначають створення, юридичний статус і функціонування інформаційних систем, що регламентують порядок одержання, перетворення і використання відомостей.



Таблиця 3.1 – Приклад системи

Система	Елементи системи	Призначення системи
Компанія	Структура, персонал, фінанси, приміщення, обладнання, матеріали	Виробництво товарів і послуг
Комп'ютерна обчислювальна система	Комп'ютери, архітектура, конфігурація, електронні та електромеханічні елементи, програмне забезпечення, лінії зв'язку, порти	Введення, обробка, зберігання і виведення даних
Телекомунікаційна система	Комп'ютери, модеми, кабелі, мережеве програмне забезпечення, персонал	Передача інформації
Інформаційна система	Комп'ютери, комп'ютерні мережі, інформаційне та програмне забезпечення, персонал	Збір, обробка, аналіз, передача, зберігання, забезпечення безпеки інформації

### 3.2 Класифікація інформаційних систем.

За ступенем розподіленості відрізняють:

- настільні (desktop), або локальні ІС, в яких всі компоненти (БД, СУБД, клієнтські програми) знаходяться на одному комп'ютері;
- розподілені (distributed) ІС, в яких компоненти розподілені по декількох комп'ютерів.

Розподілені ІС, в свою чергу, поділяють на:

- файл-серверні ІС (ІС з архітектурою «файл-сервер»);
- клієнт-серверні ІС (ІС з архітектурою «клієнт-сервер»).

У файл-серверних ІС база даних знаходиться на файловому сервері, а СУБД і клієнтські програми знаходяться на робочих станціях.

У клієнт-серверних ІС база даних і СУБД знаходяться на сервері, а на робочих станціях знаходяться тільки клієнтські програми.

За ступенем автоматизації ІС діляться на:

- автоматизовані: інформаційні системи, в яких автоматизація може бути неповною (тобто потрібне постійне втручання персоналу);
- автоматичні: інформаційні системи, в яких автоматизація є повною, тобто втручання персоналу не потрібно або потрібно тільки епізодично.

«Ручні ІС» («без комп'ютера») існувати не можуть, оскільки існуючі визначення наказують обов'язкову наявність у складі ІС апаратно-програмних

засобів. Внаслідок цього поняття «автоматизована інформаційна система», «комп'ютерна інформаційна система» і просто «інформаційна система» є синонімами.

За характером обробки даних ІС діляться на:

- інформаційно-довідкові, або інформаційно-пошукові ІС, в яких немає складних алгоритмів обробки даних, а метою системи є пошук і видача інформації в зручному вигляді;
- ІС обробки даних, або вирішальні ІС, в яких дані піддаються обробці по складним алгоритмам. До таких систем в першу чергу відносять автоматизовані системи управління і системи підтримки прийняття рішень.

За сферою застосування

Оскільки ІС створюються для задоволення інформаційних потреб в рамках конкретної предметної області, то кожної предметної області (сфері застосування) відповідає свій тип ІС. Перераховувати всі ці типи не має сенсу, так як кількість предметних областей велике, але можна вказати в якості прикладу наступні типи ІС:

- Економічна інформаційна система - інформаційна система, призначена для виконання функцій управління на підприємстві.
- Медична інформаційна система - інформаційна система, призначена для використання в лікувальному або лікувально-профілактичному закладі.
- Географічна інформаційна система - інформаційна система, що забезпечує збір, зберігання, обробку, доступ, відображення і розповсюдження просторово-координованих даних (просторових даних).

За охопленням завдань (масштабності)

- Персональна ІС призначена для вирішення певного кола завдань однієї людини.
- Групова ІС орієнтована на колективне використання інформації членами робочої групи або підрозділу.
- Корпоративна ІС автоматизує всі бізнес-процеси цілого підприємства (організації) або їх значну частину досягаючи їх повної інформаційної

узгодженості, безнадлишковості і прозорості. Такі системи іноді називають інформаційними системами підприємства і системами комплексної автоматизації підприємства.

### 3.3 Принцип роботи інформаційної системи.

Працює інформаційна система в такий спосіб. Від джерела інформації дані надходять в інформаційну систему. В інформаційній системі дані або відправляються на зберігання, або обробляються і відправляються споживачеві інформації.

Як споживача інформації може виступати людина або пристрій, а також споживачем може бути і інша інформаційна система.

Якщо необхідно враховувати реакцію споживача на отриману інформацію, то тоді будується так звана замкнута інформаційна система - встановлюється зворотний зв'язок між споживачем і інформаційною системою.

Процеси, що забезпечують роботу інформаційної системи будь-якого призначення, умовно можна представити у вигляді схеми, що складається з блоків:



- введення відомостей, даних із зовнішніх або внутрішніх джерел;
- обробка вихідних матеріалів та подання їх в зручному вигляді;
- виведення результатів опрацьованих матеріалів, або передача в іншу ІС;
- аналіз отриманих результатів;

- зворотний зв'язок - відомості, які оброблені та проаналізовані для корекції вхідних даних.

### **Основні процеси, які відбуваються в інформаційних системах.**

Теорія інформаційних процесів (ТІП) - сукупність моделей і методів, призначених (або використовуваних) для аналізу інформаційних процесів (ІП), що відбуваються в технічних, економічних, соціальних, біологічних, екологічних та інших системах.

Інформаційний процес – процес, у результаті якого здійснюється прийом, передача, перетворення і використання інформації.

У інформаційних системах відбуваються наступні основні процеси: збор інформації, її підготовка та реєстрація; передача інформації; зберігання інформації та її прийом.

Процес збору та реєстрація інформації - це переклад вхідної інформації в двійковий код. Вони розрізняються в різних системах, але можна виділити наступні загальні риси:

- збір інформації - перетворення потоку освідомлюючої інформації, що надходить від об'єкта управління шляхом сприйняття і перетворення в документ;

- підготовка інформації - процес вибору інформації, так як модель предметної області накладає обмеження на склад і формат вводимих даних;

- контроль введення - етап, спрямований на попередження, виявлення та усунення помилок в інформації.

Процес передачі інформації - це обмін даними між модулями ІС.

Передача може здійснюватися по каналах зв'язку або за допомогою мережевих процедур. Операції мережевих процедур включають: комутацію, адресацію і маршрутизацію потоків даних, а також передачу даних по каналах зв'язку.

Передача даних по каналах зв'язку це кодування - декодування інформації, модуляція - демодуляція сигналів, їх узгодження і посилення.

Технологія обміну даними будується на базі двох компонент: фізичної (пристрої введення/виведення, модеми, підсилювачі) або програмної (ПО мережевого обміну, ПО кодування - декодування).

Процес обробки інформації включає: модель організації обчислювального процесу - програми управління ресурсами. Вони представлені програмами системного управління комп'ютером. Комплекси таких алгоритмів і програм отримали назву ОС;

- модель автоматизованої обробки даних - сукупність програм для вирішення формалізованого перетворення вихідних даних в результат;

- модель процедури відображення даних - ПЗ перетворення даних, представлених у вигляді машинних кодів в сприйняту людиною інформацію, яка несе смисловий зміст у вигляді тексту, графіки, звуку і мультимедіа.

Процес зберігання інформації - це створення, зберігання та підтримка в актуальному стані інформаційного фонду, необхідного для вирішення функціональних завдань системи управління. З зберіганням безпосередньо пов'язаний пошук даних.

Зберігання складається з ряду основних процедур:

- зберігання (полягає в тому, щоб сформувати і підтримувати структуру зберігання даних в пам'яті);

- вибір способу зберігання;

- актуалізація (підтримка збережених даних на рівні, який відповідає інформаційним потребам вирішуваних завдань в ІС);

- вилучення даних з бази (пов'язано з процедурою вибірки).

Процес прийому інформації це отримання оброблених даних для подальшого аналізу, який здійснюється вручну або за допомогою програмного забезпечення.

### 3.4 Загальна схема передачі інформації по лінії зв'язку

**Інформацією** називається сукупність відомостей про які-небудь події, явища або предмети.

**Повідомлення** - форма подання інформації, призначена для передачі від джерела до одержувача у вигляді тексту, звуку, зображення і т.д.

Наприклад, при телеграфній передачі повідомленням є текст телеграми у вигляді букв або цифр. При розмові по телефону - безперервна зміна в часі звукового тиску. У телевізійних системах повідомлення являє собою зміну в часі яскравості елементів зображення.

Для передачі повідомлень від джерела до одержувача використовують сигнали. **Сигнал** це фізичний процес, що відображає (несе) передане повідомлення, тобто це зміна властивостей носія, яке використовується для передачі інформації (струм, напруга, електромагнітне поле, світлові хвилі і т.д.).

Використання інформації для вирішення будь-яких завдань, безумовно, пов'язане з необхідністю її поширення, тобто здійснення процесів передачі і прийому. При передачі інформації завжди є два об'єкти - джерело і приймач інформації. Ці ролі можуть змінюватися, наприклад, під час діалогу кожен з учасників виступає то в ролі джерела, то в ролі приймача інформації.

Інформація проходить від джерела до приймача через канал зв'язку, в якому вона повинна бути пов'язана з якимось матеріальним носієм. Для передачі інформації властивості цього носія повинні змінюватися з часом. Так лампочка, яка весь час горить, передає інформацію тільки про те, що якийсь процес іде. Якщо ж включати і вимикати лампочку, можна передавати найрізноманітнішу інформацію, наприклад, за допомогою азбуки Морзе.

При розмові людей носій інформації - це звукові хвилі в повітрі. У комп'ютерах інформація передається за допомогою електричних сигналів або радіохвиль (в бездротових пристроях). Інформація може передаватися за

допомогою світла, лазерного променя, системи телефонного або поштового зв'язку, комп'ютерної мережі та ін.

Джерело інформації визначається як об'єкт чи суб'єкт, який породжує інформацію і представляє її у вигляді повідомлення, тобто послідовності символів. При цьому людина в інформаційній взаємодії з навколишнім середовищем може обмежуватися власними органами чуття. Однак спектр процесів, на основі яких проводиться передача інформації, може бути розширений за рахунок використання засобів зв'язку.

Канал зв'язку - це матеріальне середовище, а також фізичний або інший процес, за допомогою якого здійснюється переміщення сигналу, тобто поширення сигналів в просторі з плином часу.

Каналу передачі присвоюється назва "аналоговий" або "цифровий", в залежності від способу передачі сигналів. Якщо на різних ділянках каналу застосовується той і інший методи, канал передачі називається змішаним.

Засоби зв'язку - сукупність пристроїв, що забезпечують перетворення первинного повідомлення від джерела інформації в сигнали заданої фізичної природи, їх передачу, прийом і подання у формі, яка зручна споживачеві.

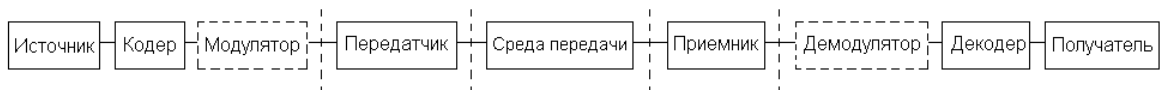


Рис.3.1. Структура каналу передачі інформації

**Приклад.** При телефонній розмові: джерело повідомлення - людина; кодуючий пристрій - мікрофон - перетворить звуки слова (акустичні хвилі) в електричні імпульси; канал зв'язку - телефонна мережа (провід); декодер - та частина трубки, яку ми підносимо до вуха, тут електричні сигнали знову перетворюються в чутні нами звуки; приймач інформації - людина.

Джерело інформації (ДІ) видає інформацію у вигляді первинного повідомлення, представленого послідовністю первинних сигналів.

Отже, основна властивість сигналу - поширюватися на великі відстані і переносити інформацію. Тому необхідно тим чи іншим способом зв'язати інформацію з сигналом. Для цього інформація повинна бути представлена у вигляді електричного струму або напруги. Так, мовна інформація, яка надходить від мікрофона, являє собою напругу змінної амплітуди і частоти, інформація, що надходить з ЕОМ - біти або байти інформації, - представляється прямокутними імпульсами, що впливають із певної тактовою частотою. Наприклад, наявність імпульсу може позначати, що передана одиниця, його відсутність говорить про передачу нуля. Для зв'язування переданої інформації з сигналом використовують різні прийоми. Якщо в якості сигналу використовується постійний струм, то процес зв'язування називають кодуванням, якщо використовується змінний струм, то процес зв'язування називають модуляцією. Після кодування або модуляції сигнал, який передається, набуває специфічної форми. На приймальній стороні сигнал декодується або демодулюється для виділення переданої інформації - аналогової напруги, що відображає мовний сигнал, або імпульсів напруги, що відображають набір переданих бітів.

**Середовище передачі** - це фізичне середовище, по якому можливе поширення інформаційних сигналів у вигляді електричних, світлових і т.п. імпульсів.

Як середовище передачі в сучасних каналах зв'язку використовуються:

- навколосемний атмосферний і космічний простір,
- мідні кабелі різної конструкції,
- оптоволоконні кабелі.

У якості сигналів в атмосфері і космічному просторі використовуються високочастотні електромагнітні коливання.



Номер	Назва діапазону	Частота	Довжина хвилі
1	Високочастотний	3 - 30 МГц	100 - 10 м
2	VHF	50 - 100 МГц	6 - 3 м
3	УВЧ (UHF)	400-1000 МГц	75-30 см
4	Мікрохвильовий	$3 \cdot 10^9 - 10^{11}$ Гц	10 см - 3 мм
5	Міліметровий	$10^{11} - 10^{13}$ Гц	3 мм - 0,3 мм
6	Інфрочервоний	$10^{12} - 6 \cdot 10^{14}$	0,3 мм - 0,5 п

Залежно від частотного діапазону розрізняють канали вузькосмугові і широкосмугові.

Канал називається вузькосмуговим, якщо по ньому передаються дані тільки на одній частоті.

Канал називається широкосмуговим, якщо він пропускає багато частот, тобто кожен абонент працює в межах цього каналу на своїй власній частоті.

#### **Режими передачі:**

- симплексний - передача даних тільки в одному напрямку (телебачення, радіо);
- напівдуплексний - прийом і передача інформації здійснюється по черзі (рація);
- дуплексний (двобічний) - одночасні передача і прийом даних (телефон).

Будь реальний канал зв'язку схильний до зовнішніх впливів, а також в ньому можуть відбуватися внутрішні процеси, в результаті яких спотворюються сигнали які передаються і, отже, пов'язана з ними інформація. Такі дії називаються **шумами (перешкодами)**.

Джерела перешкод можуть бути зовнішніми, наприклад, так звані «наводки» від потужних споживачів електрики або атмосферних явищ, що призводять до появи порушень в радіозв'язку; одночасна дія декількох близько розташованих однотипних джерел (одночасна розмова кількох осіб). До перешкод можуть призводити і внутрішні особливості даного каналу,

наприклад, фізичні неоднорідності носія; паразитні явища в шинах; процеси загасання сигналу в лінії зв'язку через велику віддаленість, ефект «гонок» в обчислювальних системах. Якщо рівень перешкод виявляється порівняємо з інтенсивністю несучого сигналу, то передача інформації з даного каналу виявляється взагалі неможливою. Однак і при відносно низьких рівнях шумів вони можуть викликати спотворення переданих сигналів і, отже, часткову втрату пов'язаної з ними інформації. Існують і застосовуються методи захисту від перешкод, наприклад, екранування електричних ліній зв'язків; поліпшення вибірковості приймального пристрою і т.д. Іншим способом захисту від перешкод є використання спеціальних методів кодування інформації, про що мова піде на наступній лекції.

У провідних каналах зв'язку основним видом перешкод є:

- імпульсні шуми, часто пов'язані з автоматичною комутацією і перехресними наведеннями;
- переривання зв'язку - явище, при якому сигнал в лінії різко згасає або зникає.

У радіоканалах основні види перешкод:

- атмосферні, обумовлені електричними процесами в атмосфері і, перш за все, грозовими розрядами;
- індустриальні, що виникають із-за різких змін струму в електричних ланцюгах всіляких електропристроїв;
- перешкоди від сторонніх радіостанцій і каналів.

При радіозв'язку в діапазоні ультракоротких хвиль позначаються:

- внутрішні шуми апаратури, обумовлені хаотичним рухом носіїв заряду в елементах апаратури;
- космічні перешкоди, пов'язані з електромагнітними процесами, що відбуваються на позаземних об'єктах.

### 3.5 Моделі сигналів

Важливо розрізнити три основні поняття: дані, сигнал, передача.

Дані - те, за допомогою чого ми описуємо явище або об'єкт. Дані мають різну природу. Якщо інформація представлена у вигляді аудіо або відео даних, то ми говоримо про аналогові данні. Якщо вона представлена у вигляді тексту, то це цифрові дані. Це не означає, що, наприклад, аудіо дані не можна уявити в цифровому вигляді. Це зробити можна, але зажадає додаткових зусиль. Сигнал - уявлення даних. Передача - процес взаємодії передавача і приймача з метою отримання приймачем сигналів від передавача.

Виділяють аналогові, дискретні, квантовані і цифрові сигнали.

Аналогові і цифрові сигнали докорінно відрізняються один від одного.

При цифровому способі дані по провіднику передаються імпульсно, шляхом зміни поточної напруги: немає напруги - "0", є напруга - "1".

При аналоговому способі цифрові дані передаються за допомогою управління параметрами сигналу несучої частоти. Аналогові сигнали використовуються в телефонії, радіомовленні, телебаченні.

Безпосередня передача інформації, наприклад по дротах, не завжди можлива і раціональна. Передача інформації за допомогою електромагнітних хвиль можлива тільки в діапазоні високих частот, в якому енергія може випромінюватися з більшою ефективністю. Для усунення взаємних перешкод при передачі на відстань по радіо або по проводах великого обсягу інформації, зокрема телефонної, існує необхідність перенесення її з займаного низькочастотного діапазону частот (звукових) в діапазон високих частот.

Модуляція призначена для перенесення інформації, що міститься в деякому діапазоні частот, в інший частотний діапазон і в зв'язку з цим є основним процесом в області передачі сигналів, особливо за допомогою електромагнітних хвиль. Іншими словами, щоб узгодити сигнал з лінією зв'язку.

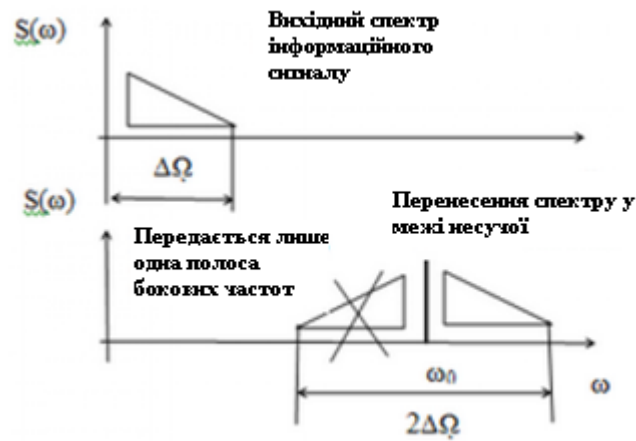


Рис.3.2. Принцип модуляції

Коливання, за допомогою якого передається сигнал, носить назву несучого коливання або несучої частоти. В процесі модуляції на несучу накладається модулююче коливання, що містить інформацію, що передається.

Несуча може бути аналоговою або бути аналоговою або у вигляді послідовності прямокутних імпульсів.

Сигнал (аналоговий) несучої частоти є гармонійне коливання, що описується рівнянням:

$$U(t) = A(t) \sin(\omega(t)t + \varphi_0),$$

де  $A$  - амплітуда коливань,

$\omega$  – частота (циклічна) коливань =  $2\pi f$ , (на скільки розтягнута гормошка)  
рад/с

$t$  - час коливань,

$\varphi_0$ - початкова фаза коливань.

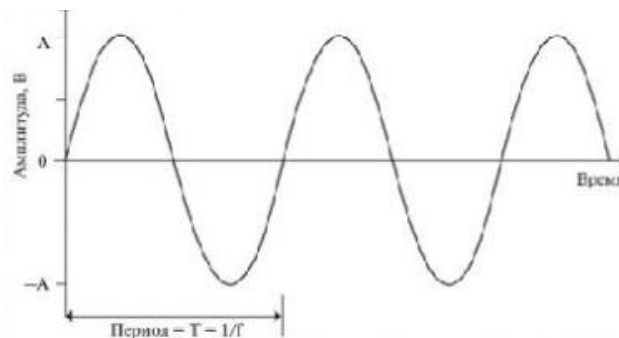


Рис.3.3. Аналогова форма сигналу

Передати дані по аналоговому каналу можна, керуючи одним з параметрів сигналу несучої частоти: амплітудою, частотою або фазою.

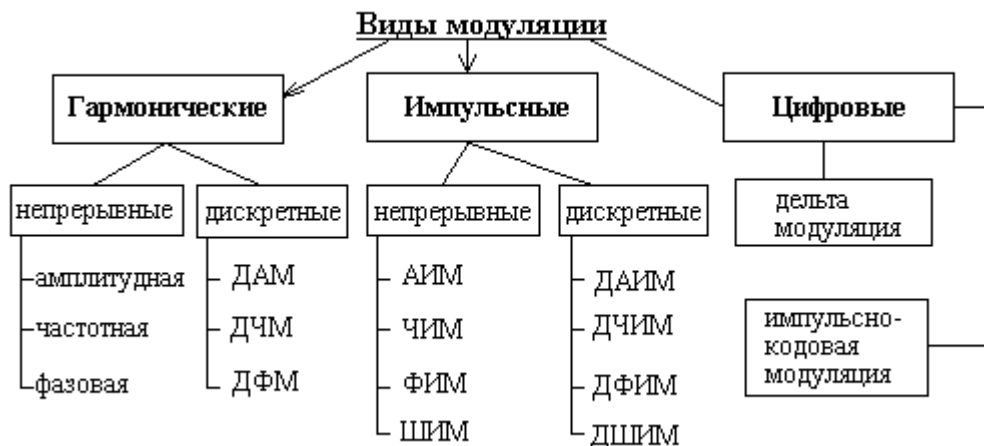
Амплітуда коливань — це фізична величина, що характеризує коливальний рух і дорівнює максимальному значенню змінної величини.

Період коливань  $T$  — це фізична величина, що характеризує коливання й дорівнює мінімальному інтервалу часу, через який значення змінної величини повторюється.

Частота коливань — це фізична величина, що характеризує коливання й дорівнює числу повних коливань в одиницю часу.

Види модуляції.

Види модуляції класифікуються у залежності від того, які сигнали є модулюючими, а які – несучими.



При аналоговій модуляції модулюючий сигнал – низькочастотний аналоговий сигнал, несуча – синусоїда.

При аналогово-імпульсній модуляції – модулюючий сигнал – низькочастотний аналоговий сигнал, несуча – послідовність прямокутних імпульсів високої частоти слідування.

Дискретна модуляція (маніпуляція) – модулюючий сигнал послідовність імпульсів (цифрова форма), несуча – синусоїда.

Цифрова модуляція – модулюючий сигнал - низькочастотний аналоговий сигнал, несуча – послідовність прямокутних імпульсів – на виході цифрова послідовність.

### Амплітудна модуляція.

Амплітудна модуляція - вид модуляції, при якій змінним параметром несучого сигналу є його амплітуда. Застосовується у каналах тональної частоти.



Рис.3.4. Амплітудна модуляція

### Частотна модуляція.

Частотна модуляція (ЧМ) - вид аналогової модуляції, при якому інформаційний сигнал управляє частотою несучого коливання. У порівнянні з амплітудною модуляцією тут амплітуда залишається незмінною. Частотна модуляція була запропонована Едвіном Армстронгом і запатентована ним 26 грудня 1933 року.

Частотна модуляція застосовується для високоякісної передачі звукового (низькочастотного) сигналу в радіомовленні (в діапазоні УКВ), для звукового супроводу телевізійних програм, передачі сигналів кольоровості в телевізійному стандарті SECAM, відеозапису на магнітну стрічку, музичних синтезаторах.

Висока якість кодування аудіосигналу обумовлено тим, що при ЧС застосовується велика (в порівнянні з шириною спектра сигналу АМ) девіація

несучого сигналу, а в приймальній апаратурі використовують обмежувач амплітуди радіосигналу для ліквідації імпульсних перешкод.

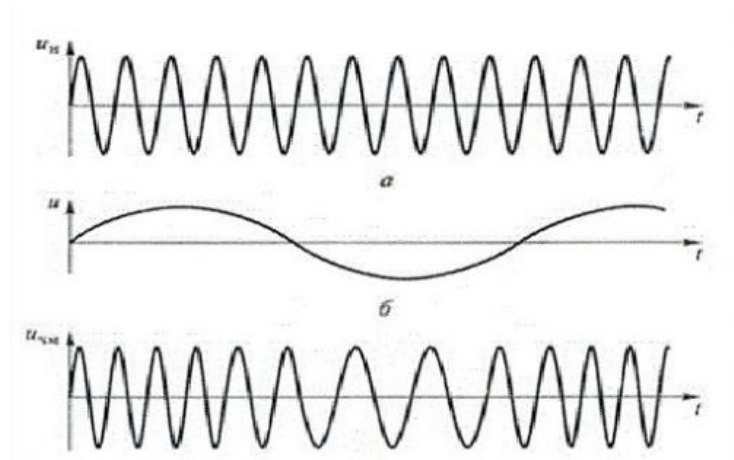


Рис.3.5. Частотна модуляція

Фазова модуляція.

Фазова модуляція - один з видів модуляції коливань, при якій фаза несучого коливання управляється інформаційним сигналом.

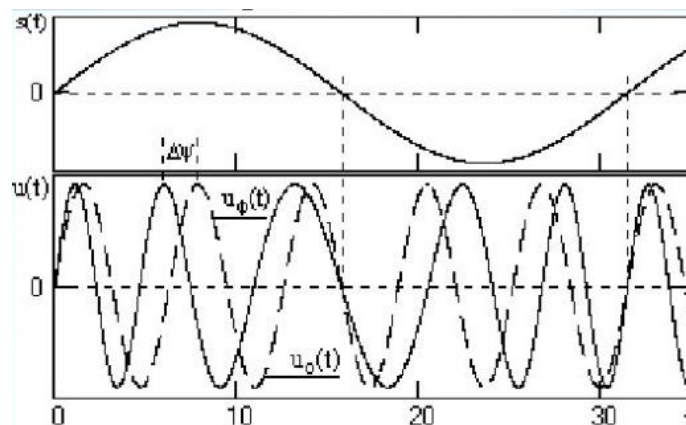


Рис.3.6. Фазова модуляція

## Аналогово-імпульсна модуляція

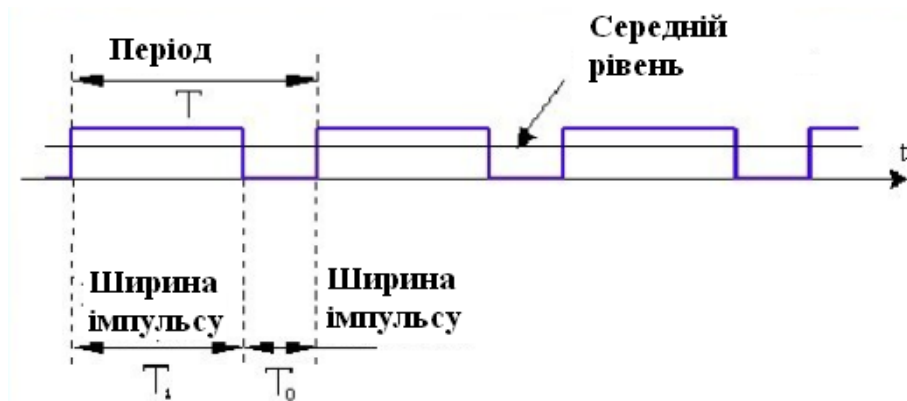


Рис.3.7. Послідовність імпульсів

Вихідний модулюючий сигнал – аналоговий, несуча – послідовність імпульсів з потрібною нам частотою. Якщо потрібно перенести сигнал в 100 кГц, то імпульси беруть з цією частотою.

У імпульсів є можливість:

1. змінювати амплітуду – АІМ
2. зміщувати частоту – ЧІМ
3. змінювати ширину імпульсів – ШІМ
4. зміщувати імпульси відносно свого первинного положення - ФІМ



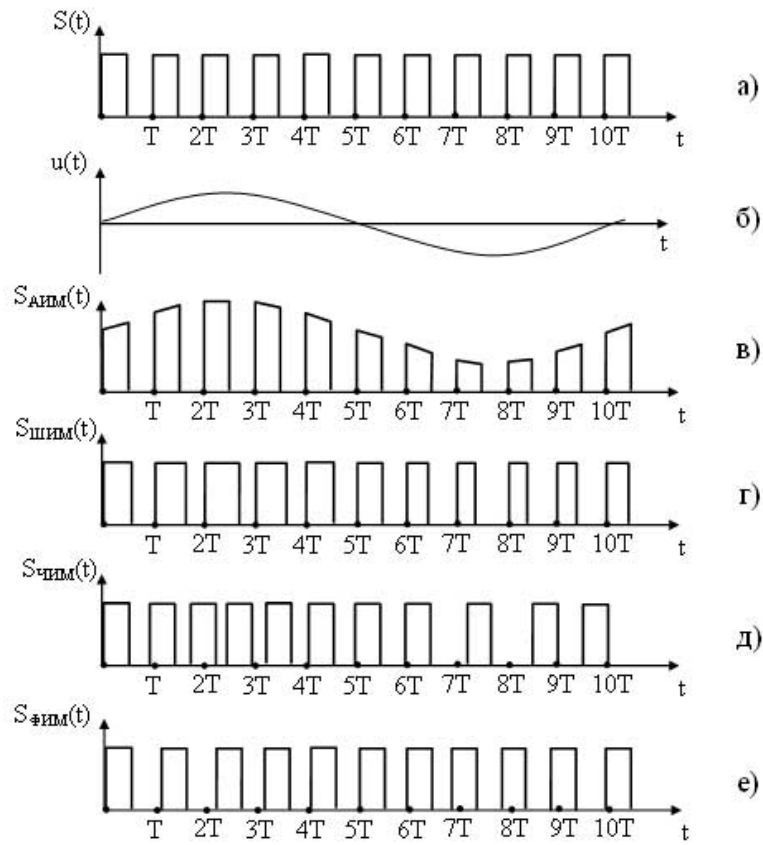


Рис.3.8. Аналогово-імпульсна модуляція

**Дискретна модуляція (маніпуляція)**

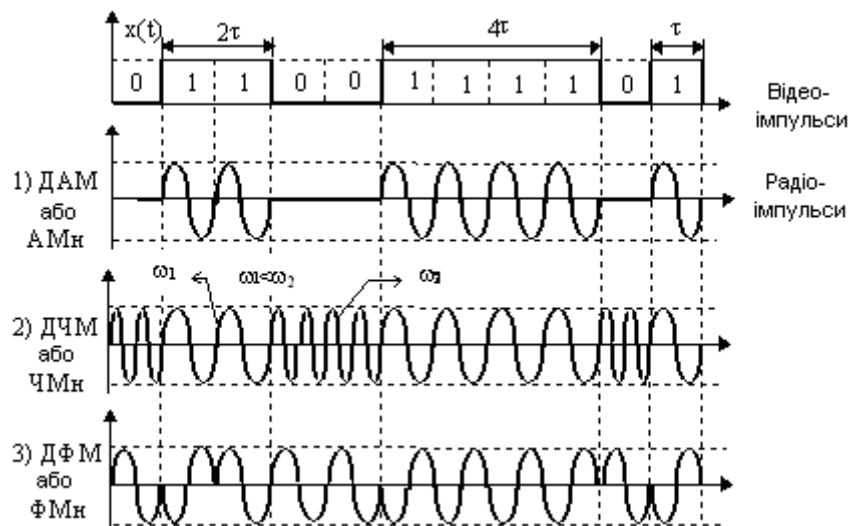


Рис.3.8. Маніпуляція

### 3.6 Характеристика каналу передачі даних

#### Об'єм інформації та ємність каналу

При вирішенні практичних завдань в теорії зв'язку сигнал характеризують об'ємом  $V_c$ , дорівнює добутку трьох його характеристик: тривалості сигналу  $\tau_c$ , ширини спектра  $\Delta F_c$  і перевищення середньої

потужності сигналу над завадою  $H_c = \ln \frac{P_c}{P_n}$ .

У такому випадку  $V_c = \tau_c \cdot \Delta F_c \cdot H_c$ . Якщо ці характеристики розкласти паралельно осях декартової системи, то вийде об'єм паралелепіпеда. Тому добуток називається об'ємом сигналу.

Тривалість сигналу визначає інтервал часу його існування.

Ширина спектра сигналу - це інтервал частот, в якому розташовується обмежений спектр частот сигналу, тобто  $\Delta F_c = \frac{1}{\tau_c}$ .

Канал зв'язку по своїй фізичній природі в стані пропускати ефективно тільки сигнали, спектр яких лежить у обмеженій частотній зоні  $\Delta F_x$  при допустимому діапазоні зміни потужності  $H_x$ .

Крім того, канал зв'язку надається відправнику повідомлень на цілком певний час  $\tau_x$ . Отже, за аналогією з сигналом в теорії зв'язку введено поняття ємності каналу  $V_x$ , яка визначається:

$$V_x = \tau_x \cdot \Delta F_x \cdot H_x; \quad \Delta F_x \approx \frac{1}{\tau_x}.$$

Необхідна умова передачі сигналу з об'ємом  $V_c$  по каналу зв'язку, ёмкість якого рівна  $V_n$ , є  $V_n \geq V_c$  або  $\tau_n \cdot \Delta F_n \cdot H_n \geq \tau_c \cdot \Delta F_c \cdot H_c$ .

Фізичні характеристики сигналу можуть бути змінені, але при цьому зменшення однієї з них супроводжується збільшенням іншої.

### *Пропускна здатність та швидкість передачі*

Пропускна здатність - максимальна швидкість передачі інформації. Гранична пропускна здатність залежить від ширини смуги пропускання

каналу, а також від співвідношення  $\frac{P_c}{P_n}$  і визначається по формулі

$$C_{\max} = \Delta F_n \log\left(1 + \frac{P_c}{P_n}\right) \frac{\text{біт.сек}}{\text{сек}}$$

Це формула Шеннона, яка справедлива для будь-якої

### *Частотна характеристика каналу.*

Частотна характеристика канал зв'язок називається залежність залишкове загасання від частоти. Залишковий затухання називається різниця рівнів на вході та виході каналу зв'язку. Якщо в початковій лінії існує потужність  $P_n$ , а на її кінці -  $P_n$ , то затухання в неперах:

$$\varepsilon(\text{дБ}) = \frac{1}{2} \ln \frac{P_n}{P_n}$$

Аналогічно для напруг та струму:

$$\varepsilon(\text{дБ}) = \frac{1}{2} \ln \frac{U_n}{U_n}; \quad \varepsilon(\text{дБ}) = \frac{1}{2} \ln \frac{I_n}{I_n}$$

### *Завадостійкість*

Перешкодостійкість канал називає здатність каналу зв'язку протистояти впливу перешкод. Серед усіх можливих видів перешкод виняткове місце займає так звана флуктуаційна перешкода типу «білого шуму», що складається з окремих вельми короткочасних імпульсів (тривалість  $10^{-12}$ сек.) з випадковою зміною амплітуди. «Білий шум» має однорідний спектр потужності в межах дуже широкої смуги частот.

Виникнення пояснюється тепловий рух елементарних частинок. Особлива роль «білого шуму» - він є основним видом перешкоди, що визначає чутливість приймача. Тому в теорії передачі інформації розглядається вплив «білого шуму».

Способи підвищення зміну стійкості

- Збільшення надмірності в переданому повідомленні, тобто збільшення об'єму сигналу;

- Розширення смуги частот;

– збільшення  $\frac{P_c}{P_n}$  ;

– застосування завадостійких кодів;

- за рахунок фільтрації корисного сигналу.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов И.В. Теория информационных процессов и систем: Учебное пособие. — 2-е изд., перераб. и доп. — Белгород: БГТУ, 2014. — 203 с.
2. Галашев В.А. Системы поиска и обработки информации: Учеб.-метод.
3. Алексеев Е.Г., Богатырев С.Д. Информатика. Мультимедийный электронный учебник.
4. В.А. Подчукаев Теория информационных процессов и систем Издательство: Гардарики Серия: Univers 208 стр.
5. Сайтов Р.И. Теория информационных процессов и систем: учебное пособие. – Уфа: Изд-во БГПУ, 2012. – 164 стр.
6. Шавенько Н.К. Основы теории информации и кодирования. Учебное пособие. -М.: Изд-во МИИГАиК, 2013. – 126 с.
7. Советов Б. Я. Интеллектуальные системы и технологии: учебник для вузов/Б.Я. Советов, В.В.Цехановский, В.Д. Чертовской. -Москва: Академия,2013
8. Чикуров, Н.Г. Моделирование систем и процессов: учеб. Пособие для студентов вузов /Н. Г. Чикуров. – М.: РИОР: ИНФРА-М, 2013. – 398 с.: ил.
9. Б.Я. Советов, В.А. Дубенецкий, В.В. Цехановский и др. под ред. Б.Я. Советова Теория информационных процессов и систем: учебник для студ. высш. учебных заведений М.: Издательский центр «Академия», 2010. — 432 стр.
10. Хэмминг Р.В. Теория кодирования и теория информации.—М.:Изд. «Радио и связь»
11. Душин, В.К. Теоретические основы информационных процессов и систем: учебник для студентов вузов /В. К. Душин. – М.: Дашков и К\*, 2009. – 348 с.
12. Мезенцев, К.Н. Автоматизированные информационные системы: учебник для студентов образоват. учреждений сред. проф. образования /К. Н. Мезенцев. - 5-е изд., стер.-М.: Академия, 2014.-176 с





