

ОСНОВИ ПОБУДОВИ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ

ЛЕКЦІЯ 1

Спеціалізовані комп'ютерні системи (СКС) належать до класу проблемно-орієнтованих комп'ютерних систем, вбудованих та розподілених комп'ютерних систем (РКС) реального часу, а також суперфункціональних комп'ютерних систем (КС) спеціального призначення та відповідного програмно-апаратного виконання.

Проектні та експлуатаційні характеристики СКС визначаються не умовами універсальності та масового тиражування, а найчастіше особливими властивостями та характеристиками об'єктів управління, які вони обслуговують. СКС повинні володіти відповідними унікальними характеристиками алгоритмічної, структурної, ємнісної, апаратної складності, надійності та живучості в особливих умовах, часто, критичних чи жорстких обмеженнях на системні параметри часу, швидкодії, об'єму пам'яті та операційного інтелекту.

Основними інструментальними засобами сучасної інформатики є комп'ютерні системи різних класів і потужностей. За допомогою існуючих універсальних КС (УКС) можна розв'язувати багато задач наукового, виробничо-технічного та іншого характеру. Однак існують, як окремі задачі, так і цілі класи надзвичайно важливих задач, для розв'язання яких математичних та техніко-економічних якостей сучасних УКС вже не вистачає. Тут не варто доводити дієвість принципу спеціалізації інструментальних засобів взагалі, оскільки вся свідомо технічна діяльність людства її підтверджує. Досить сказати, що цей принцип є ефективним і в галузі інформатики. Загальний аналіз причин створення і використання СКС показує, що ці причини можна розділити на три основні групи.

У першу групу об'єднані причини, які виникли внаслідок суперечностей між формальними математичними методами постановки і розв'язання задач, з одного боку, і загальними принципами організації та функціонування, а також технічними можливостями УКС, з другого боку. Саме математична сутність задач часто зумовлює необхідність створення СКС для їх розв'язання. Як приклад, можна навести нові нестандартні і неалгоритмічні методи, системи алгебраїчних, диференціальних та інтегральних рівнянь великої розмірності, логічні та ймовірнісно-статистичні задачі, дії над матрицями і векторами, задачі в багатовимірних просторах.

До другої групи належать причини, які зумовлюються змістовною стороною задачі, що розв'язується СКС, та відображають специфіку відповідних предметних галузей. Для прикладу перелік таких галузей наведено нижче.

Третя група причин зумовлена особливими вимогами до якості реалізації КС, які звичайно полягають в екстримізації (тобто в максимальному наближенні до теоретичних границь) деяких їх характеристик, наприклад продуктивності (швидкодії), надійності (безвідмовності, живучості, відновлюваності, довговічності тощо), вартості та складності, точності, габаритів, маси та ін. Сюди ж належать вимоги, що визначають такі якості КС, як їх повна або часткова імплантація (конструктивне та функціональне суміщення) в інші системи, інформаційне поєднання з ними, пристосованість до умов експлуатації та кваліфікації обслуговуючого персоналу і т.д.

Слід мати на увазі, що реальні ситуації створення СКС найповніше характеризуються двома особливостями.

Перша особливість полягає в тому, що саме СКС є своєрідним засобом апробації нових методів автоматизації обробки інформації, які мають математичні корені. Наприклад, розпаралелювання та децентралізація обчислень, макрооперації та використання функціональних розширювачів, символна обробка та розв'язання задач у багатовимірних числових системах пройшли спочатку дуже ретельну перевірку в СКС і тільки після цього з'явилися в УКС.

Друга особливість пов'язана з тим, що реальні СКС є складними програмно-технічними комплексами, в яких необхідно задовільнити багато суперечливих вимог. Тому досягнення оптимальних функціональних якостей СКС може бути проблематичним, а тому доцільніше визначити ці якості як оптимізовані, тобто такі, що тією чи іншою мірою наближаються до оптимальних. Аналіз математичних методів оптимізації СКС показує, що вони сприяють певною мірою виявленню недоліків таких систем і їхні «слабкі місця», простежувати взаємозв'язок характеристик системи, визначати загальний напрямок підвищення їх ефективності та оцінювати різні варіанти СКС. Однак ці методи, як правило, не дають конструктивних розв'язків і шляхів удосконалення СКС, не визначають змістовної сторони різних варіантів їх організації і реалізації. Генезис таких варіантів формальними математичними методами практично неможливий. Тому процес створення оптимізованих СКС має характер багатоступеневої ітераційної процедури, де в різних відношеннях комбінуються формальні та конкретно-змістовні методи, що відіграють аналітичну (оціночну) та синтетичну (генеративну) роль.

Отже, СКС – це КС для розв'язання багатьох відносно вузьких класів задач, оптимізовані в певній критеріальній сукупності.

Досі, протягом майже 50 років, принципово нові розробки КС базувались переважно на «проривних» успіхах мікроелектронної технології. Тут досить вказати на зв'язок поколінь КС та досягнутого мікроелектронікою рівня інтеграції. Однак виробництво електронних комплектуючих компонент для КС є дуже дорогим через потребу в надзвичайно великих капітальних вкладеннях у мікроелектронне виробництво. Тому протягом тих же 50-ти років виявилось, що створення комп'ютерної електронно-технологічної бази

під силу далеко не всім країнам, навіть високорозвинутим. На сьогоднішній день ситуація в світі складається так, що виробництво основних електронних компонент для КС зосереджено переважно на 10-15 електронних фірмах, зокрема на таких, як Intel, TexasInstruments, Motorola. Ці фірми щороку вкладають величезні кошти в розвиток технологічної бази і, тим самим, ще більше закріплюють свої позиції лідерів. Чи означає це, що всі розробки в галузі КС зосереджено на цих фірмах? Ні, це зовсім не так. І тому є кілька причин.

По-перше, сам етап розробки електронних компонент сьогодні виділився в окрему галузь діяльності, яка має кілька напрямків. Перший з них передбачає створення систем автоматизованого проектування (САПР) електронних компонент. Тут також сформувалась група провідних фірм, зокрема MentorGraphics, Synopsys, LSILogic, Cadence, DesignSystems, які створюють програмні продукти для різних етапів проектування електронних компонент. Разом з тим, цей напрямок значною мірою є відкритим для діяльності, особливо для тієї, що стосується вищого, системного, етапу проектування. Роботи по розвитку САПР цього етапу є на сьогодні найприоритетнішими, інформаційно місткими та стратегічно важливими. Другий напрямок передбачає створення комп'ютерних засобів підтримки проектування електронних компонент. Тут лідерство фірм-виробників робочих станцій Sun та HewlettPackard починає витіснятися виробниками робочих станцій на базі потужних персональних комп'ютерів з процесорами фірми Intel. Нарешті, останній, третій, напрямок передбачає безпосередньо розробку електронних компонент. Існує велика кількість фірм, розміщених у різних країнах, які в рамках угод займаються проектуванням електронних компонент для їх наступного виготовлення провідними мікроелектронними фірмами. Цей напрямок є найбільш відкритим для діяльності.

По-друге, самостійною галуззю діяльності є розробка і виготовлення УКС та СКС на базі електронних компонент провідних фірм-виробників. Тут поряд з кожною мікроелектронною фірмою сформувались групи системотехнічних компаній, які на базі продукції цієї фірми створюють відповідні УКС і СКС та програмні продукти. За кордоном ці фірми дістали назву «thirdparty». Більше того, в усіх розвинутих країнах здійснюється розробка і виробництво власних СКС різного призначення на базі імпортованих комплектуючих та на базі продукції «thirdparty». Наприклад, канадські, англійські, німецькі, французькі та інші фірми проводять такі розробки, використовуючи комплектуючі, що виробляються в знаменитій «кремнієвій долині» в США, а в самих США, крім власних, використовуються також комплектуючі з різних країн, зокрема, японські. Характерно, що розробку (добробку) СКС відповідно до потреб конкретного замовника здійснює значна кількість переважно невеликих фірм (15-50 працюючих). Так, щоб мати більший ринок збуту своєї продукції, провідні мікроелектронні фірми, крім випуску функціонально закінчених виробів, роблять вироби з врахуванням побажань споживачів. Наприклад, розробивши потужне процесорне ядро (англійський термін «core»), фірма

шляхом доповнення його необхідним обрамленням створює сімейство спеціалізованих комп'ютерів різноманітного призначення.

Україна в сучасних політичних і економічних умовах змушена розпочинати самостійну розробку та виробництво ряду СКС, оскільки існують предметні галузі та особливі вимоги до комп'ютерного обладнання і програмних засобів, що не дозволяють використовувати повністю або частково СКС закордонного виробництва. Серед предметних галузей є, наприклад, такі що безпосередньо пов'язані із забезпеченням суверенності і державності України: бортове та інше комп'ютеризоване обладнання військово-оборонного призначення: орієнтаційні та управлінські системи транспортного використання; засоби захисту інформації від несанкціонованого простору; обладнання комп'ютеризованих телекомунікаційних систем і мереж; засоби обробки сигналів і зображень відповідно до національних стандартів; банківська та податкова справа; енергетика (особливо ядерна) і засоби енергозбереження; геофізичні та гідрофізичні дослідження ресурсів України (політичні події змінили і відносну цінність таких ресурсів). Ряд інших галузей визначає рівень економічного розвитку держави: засоби сертифікації, промислової та сільськогосподарської продукції; засоби управління, обробки інформації та прийняття рішень в складних динамічних системах, що функціонують в реальному часі; розширене застосування нових інформаційних технологій (наприклад, штрихових кодів тощо); медична і промислова діагностична техніка; об'єктно-орієнтовані системи автоматизації проектування (наприклад, оптичних приладів і систем); аналіз і синтез мови; моделювання та реалізація функцій інших систем комп'ютерними засобами та ін.

На сьогодні в теорії СКС сформувалися два основні підходи до організації їх структур. Перший ґрунтується на використанні стандартних універсальних процесорів, а врахування особливостей виконуваних задач реалізується, по суті, шляхом спеціалізації системного програмного забезпечення. Другий підхід базується на використанні процесорів, орієнтованих на виконувані алгоритми (функції) апаратним способом. Такі процесори називають функціонально – або апаратно-орієнтованими (в англійській літературі – ASIC, ASIP).

Основна перевага процесорів універсальної архітектури – гнучкість. Запис програм виконання заданого набору алгоритмів у пам'ять програм дає можливість створити спеціалізований процесор із заданими функціями. Такі процесори підлягають перепрограмуванню заміною вмісту пам'яті програм. При створенні відповідних трансляторів програмне забезпечення СКС може бути написане мовами програмування високого рівня, що робить їх доступними для широкого кола користувачів. Крім того, дуже суттєвою перевагою цього підходу є можливість використання створених раніше програмних засобів. Разом з тим, існує ряд причин, через які використання стандартних процесорів універсальної архітектури для побудови СКС може бути недоцільним.

По-перше, це висока трудомісткість розробки, оскільки до складу СКС, крім самого універсального процесора, необхідно включити також засоби для реалізації інтерфейсних функцій, синхронізації, розширення пам'яті програм і пам'яті даних тощо. Сам процес розробки вимагає створення необхідного програмного забезпечення, наявності або створення технологічних програмних засобів для відпрацювання програм, а також програмно-апаратних засобів для відлагодження апаратної та програмної частин спеціалізованих процесорів.

По-друге, універсальна архітектура може бути дуже надлишковою у функціональному і структурному відношенні для розв'язання однієї конкретної задачі (наприклад, для перетворення координат у системах орієнтації). Це може привести до надлишкової споживаної потужності, збільшення ступеня інтеграції, кількості виводів корпусів та розмірів кристалів.

По-третє, універсальний процесор може не задовольнити вимог щодо продуктивності СКС. Забезпечити необхідну продуктивність можна шляхом побудови багатопроцесорних СКС. Однак їх використання може бути занадто дорогим. Тут мається на увазі вартість не стільки власне багатопроцесорної системи, скільки допоміжних засобів, що забезпечують використання такої системи. Особливо багато проблем пов'язано з розробкою паралельних обчислювальних процесів, при реалізації яких всі процесори були б повністю завантажені. В такому разі системне програмне забезпечення має бути здатним оперативно розв'язувати задачу оптимізаційного планування завантаження процесорів багатопроцесорної системи конкретної архітектури. Такий підхід може вимагати великих витрат обладнання, що є небажаним (особливо при використанні СКС у бортових системах).

Зараз, коли досягнення мікроелектронної технології підтримується потужними САПР, другий підхід, що передбачає створення апаратно-орієнтованих на виконувані алгоритми процесорів, є реальною альтернативою універсальним стандартним процесорам.

По-перше, такий підхід забезпечує максимально можливу продуктивність при розв'язанні заданої задачі.

По-друге, він вимагає мінімальних витрат обладнання на побудову СКС для розв'язання заданої задачі за рахунок компромісу між програмними та апаратними засобами. Таке спільне проектування апаратної і програмної частин СКС дістало назву *hardware/softwareco-design*.

По-третє, сучасні мови опису апаратних засобів, зокрема VHDL, мають настільки високий рівень, що процес проектування апаратно-орієнтованого процесора не є набагато складнішим у порівнянні з розробкою спеціального програмного забезпечення для універсального процесора. Якщо врахувати ще й можливості сучасних САПР щодо забезпечення повного відпрацювання моделей електронних компонент, включаючи їх роботу в складі СКС, а також використання бібліотек раніше створених електронних компонент, то стає очевидним, що настав час, коли другий підхід починає витісняти перший.

З викладеного випливає, що розвиток СКС в Україні зумовлений, з одного боку, потребами в СКС, а з іншого – можливостями їх власної розробки і виробництва. Світовий досвід створення СКС підтверджує життєздатність цього напрямку комп'ютерної науки і техніки в сучасних умовах, незважаючи на імпордне походження значної частини мікроелектронних комплектуючих виробів. Забезпечення необхідного кваліфікаційного рівня кадрового супроводу такого розвитку має бути однією з найважливіших задач національної вищої технічної школи.»

Викладання основ проектування СКС на факультетах комп'ютерних інформаційних технологій є настійною вимогою сьогодення. Насичення функціональних можливостей традиційних інформаційних технологій опрацювання інформаційних потоків у базисі Радемахера (двійковій системі числення) та синтезу архітектур КС на основі мереж Петрі потребує навчання і підготовки нового покоління фахівців по проектуванню СКС, які б володіли теоретичною базою, технологією і практикою застосування нелінійних інформаційних технологій опрацювання повідомлень у базисах Хаара, Крестенсона, Уолша та Галуа. Перспективними знаннями у цій галузі є уміння формалізувати інформаційні потоки в СКС на основі «кольорових» мереж Петрі та матричних моделей руху даних. Теоретичною основою таких моделей є теорія та інформаційна технологія організації та оцінки руху даних в складних розподілених КС, розроблена відомим американським системотехніком Дж.Мартіном.

ЛЕКЦІЯ 2

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМНИХ ОБ'ЄКТІВ КС

Система- особлива організація спеціалізованих елементів, об'єднаних в єдине ціле для рішення конкретної задачі.

Комп'ютерна система — система зв'язку між двома чи більше комп'ютерами. У ширшому розумінні комп'ютерна мережа (КМ) — це система зв'язку через кабельне чи повітряне середовище (медіа), самі комп'ютери різного функціонального призначення і мережеве обладнання. Для передачі інформації можуть бути використані різні фізичні явища, як правило — різні види електричних сигналів чи електромагнітного випромінювання.

Спеціалізована комп'ютерна система – це КС для розв'язання багатьох відносно вузьких класів задач, оптимізовані в певній критеріальній сукупності

Глобальна модель, системні об'єкти, системні функції, функціональні об'єкти комп'ютерних систем.

Глобальна модель комп'ютерної системи вперше була запропонована Николайчуком Я.М. у вигляді взаємодії п'ятих типів системних об'єктів (рис.2.1) [53].



Рис.2.1 - Глобальна модель комп'ютерної системи:

Р– процесор, Д– дані, СПД– система передавання даних, ОУ– об'єкт управління, О–оператор.

Кожен з наведених системних об'єктів може виконувати в середовищі КС чотири системні функції:

- формування даних ;
- передавання даних;
- цифрова обробка даних;
- приймання та зберігання даних.

Тобто, кожен з системних об'єктів (СО) може бути одним з функціональних об'єктів наступного типу:

- джерело інформації (ДІ);

- середовище передавання інформації (СПІ);
- середовище цифрової обробки інформації (СОІ);
- приймач інформації (ПІ).

Отже, системні об'єкти КС характеризуються дуальними (поліфункціональними) властивостями, що в значній мірі ускладнює методологію проектування та теоретичні основи оптимізації параметрів КС.

Виходячи з класифікації п'яти системних об'єктів КС, можна побудувати таблицю пар їхньої взаємодії через інтерфейсні засоби комунікацій (табл.2.1).

Таблиця 2.1.

	Р	Д	СПД	ОУ	О
Р	$P \rightarrow P$	$P \rightarrow D$	$P \rightarrow СПД$	$P \rightarrow ОУ$	$P \rightarrow О$
Д	$D \rightarrow P$	$D \rightarrow D$	$D \rightarrow СПД$	$D \rightarrow ОУ$	$D \rightarrow О$
СПД	$СПД \rightarrow P$	$СПД \rightarrow D$	$СПД \rightarrow СПД$	$СПД \rightarrow ОУ$	$СПД \rightarrow О$
ОУ	$ОУ \rightarrow P$	$ОУ \rightarrow D$	$ОУ \rightarrow СПД$	$ОУ \rightarrow ОУ$	$ОУ \rightarrow О$
О	$О \rightarrow P$	$О \rightarrow D$	$О \rightarrow СПД$	$О \rightarrow ОУ$	$О \rightarrow О$

Очевидно, що для вивчення названих інтерфейсних взаємодій СО та використання їх при проектуванні КС необхідно описати взаємодію 25-ти їхніх пар. В той же час, враховуючи, що теорія, методологія та техніка реалізації КС на основі стандартних технічних засобів, міжнародних протоколів та інтерфейсів достатньо повно подана у відповідних виданнях та інструкціях, при проектуванні низових рівнів проблемно-орієнтованих та спеціалізованих КС особливу увагу слід надавати вивченню системних характеристик об'єктів управління та їх взаємодії з іншими об'єктами КС. Дані взаємодії ОУ та СПД з іншими СО відображені в табл.2.1 відповідним фоном. Широка різноманітність реальних ОУ (наприклад, космічні апарати, літаки, підводні та наземні човни, атомні станції, енергетичні та нафтопромислові системи, транспортні засоби, інформаційні системи, телекомунікації та інше) вимагає відповідної проблемної орієнтації та адаптації КС до характеристик ОУ при проектуванні та аналізі діючих КС.

Ця адаптація потребує по - новому осмислити формалізацію опису характеристик системних об'єктів[3, 19, 21, 47].

Основні функції системних об'єктів:

ОУ:вирішення технологічних задач; виконання завдань управління; формування повідомлень про свій стан.

Д: ідентифікація станів ОУ; нагромадження повідомлень; надання інформації.

СПД:організація руху даних; формування, передавання та виділення сигналів; комутація повідомлень.

ЕОМ:обробка повідомлень; управління потоками даних; нагромадження інформації; організація діалогу; управління об'єктом.

О: збір і формування повідомлень; їх обробка; діалог; прийняття рішень.

ЛЕКЦІЯ 3

3.1. Характеристики системних об'єктів КС.

Узагальненому випадку ресурсні характеристики СО проектованої КС можуть бути достатньо повно описані функціоналом, який заданий коефіцієнтом E_{co} та четвіркою параметрів

$$E_{co} = F(T, V, M, S), \quad (3.1)$$

де T —час використання ресурсу, V —швидкість виконання системних операцій (формування, передавання, цифрова обробка та зберігання даних), M —об'єм використовуваного ресурсу пам'яті, S —системні функції.

При цьому границі зміни параметрів задаються системою нерівностей

$$\begin{aligned} 0 &\leq T \leq T_0; \\ 0 &\leq V \leq V_0; \\ 0 &\leq M \leq M_0; \\ 0 &\leq S \leq S_0, \end{aligned} \quad (3.2)$$

де T_0 — час формування, передавання, цифрової обробки та зберігання даних, використання технічного засобу та інше, V_0 —пропускна здатність каналу

зв'язку, максимальна швидкість читання/запису, максимальна частота обміну даними та інше, M_0 – максимальний об'єм пам'яті, що використовується (ОЗП, ПЗП, магнітних, оптичних, та твердих копій носіїв), S_0 – максимальний ресурс системних функцій (операційні системи, пакети прикладних програм тощо).

Функціонал характеристик системних об'єктів в багатьох випадках доцільно розширити до п'яти параметрів шляхом диференціації параметру швидкості виконання системних операцій, тобто V_R – швидкість запису (вхідний інформаційний потік), V_W – швидкість зчитування (вихідний інформаційний потік), звідки характеристики системного об'єкта будуть описуватися параметрами:

$$E_{co} = F(T, V_R, V_W, M, S). \quad (3.3)$$

Характеристика (3.3) дозволяє врахувати асиметричність характеристик швидкодії вхідних та вихідних пристроїв системних об'єктів.

Розроблені аналітичні моделі характеристик системних об'єктів комп'ютерної мережі є базою для теоретичної формалізації руху даних. На основі вказаних моделей проводиться аналіз ефективності та розробка проектів комп'ютерних мереж з проблемною орієнтацією для конкретних технологічних процесів та підприємств.

3.2. Системні характеристики процесора.

Процесори (Р) містять в своєму складі інтелектуальні оснащені однокристальними спецпроцесорами сенсори, сигнальні процесори, мікро– та міні–контролери, контролери низових мереж, комутаційні процесори, сервери та комп'ютерні кластери. Системні характеристики Р достатньо повно описуються функціоналом (2.1)

$$E_p = F(T, V, M, S),$$

де T – час використання ресурсу, V – швидкість виконання системних операцій V_R / V_W , M – об'єм використовуваного ресурсу пам'яті, S –

системні функції операційної системи та прикладного програмного забезпечення.

Параметр часу використання ресурсу T оцінюється у відсоткових значеннях його безперервної роботи протягом доби. Використання ресурсу даної характеристики залежить від типу та призначення процесорів. Наприклад, мікропроцесори, технологічні мікроконтролери та промислові процесори призначені для цілодобової роботи, тобто $T = 1.0$. Для процесорів ЕОМ режим роботи може складати 6, 8 або 16 годин в добу, що відповідає використанню ресурсу відповідно $T_i = 0.25, 0.3, 0.6$.

Характеристика використання об'єму ресурсів пам'яті процесора M також залежить від конкретної інформаційної технології її застосування. Наприклад, мікроконтролери масового застосування на основі 8 та 16 розрядних мікропроцесорів, які оперують з обмеженою пам'яттю, використовують її ресурси практично на 100 відсотків, тобто $M_i = 1.0$. В процесорах універсального призначення, якими оснащено ПЕОМ, використання ресурсів пам'яті залежить від характеру задач, які вирішує оператор та динамічності їх реалізації в часі, тобто дану оцінку треба розраховувати на основі математичного сподівання :

$$\overline{M}_i = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k M_i, \quad (9.4)$$

де M_i – поточні або миттєві коефіцієнти використання ресурсів пам'яті процесора. Аналогічно може бути обчислена характеристика використання ресурсів функціональних характеристик процесора (S_i).

Приклад вхідних та вихідних інформаційних сигналів процесорів поданий в табл.3.2.

Таблиця 3.2.

Формувачі сигналів процесора

Формувачі вхідних та вихідних інформаційних сигналів процесора	Характеристики інформаційних потоків
Паралельний порт	1 Гбіт/с
Послідовний порт	100Мбіт/с

Маніпулятор мишка	8 біт/с
Клавіатура	8–12 біт/с
Модем	10–100 Мбіт/с
Мікрофон	2000 * 8=біт/с 2,4–3,6 кГц
Технологічний сканер	100Мбіт/с

Аналіз табл.3.2 показує, що швидкість створення повідомлень процесорів може змінюватися в широких межах. Діапазон швидкості обміну даними процесорів може змінюватися в межах $1\text{--}10^9$ біт/с.

3.3. Системні характеристики даних.

Сучасна систематизація даних охоплює три їх основні класи [7, 20, 70]:

- фізичні дані;
- логічні дані;
- віртуальні дані.

Ресурсні характеристики СО „Дані” – представлені часом зберігання, швидкістю запису, швидкістю зчитування, об’ємом та захистом даних від помилок

$$E_d = F(T, M, V_R, V_W, S),$$

де – T – час зберігання, M – об’єм, V_R – швидкість запису, V_W – швидкість зчитування, S – захист від помилок та несанкціонованого доступу.

Фізичні дані – це дані, які представлені в адресному просторі фізичних носіїв (жорстких магнітних дисків, гнучких магнітних дисків, оптичних та лазерних дисків), а також на твердих носіях (документи, таблиці, графіки).

Поняття логічних даних використовується в теорії та практиці опису логічних моделей баз даних, а також в програмних продуктах як формальні параметри.

Віртуальні дані – це такий тип даних, які відсутні в фізичному вигляді в КС і можуть формуватися в процесі рішення задач, розрахунків, а також бути в динамічному стані при передаванні в КМ.

Способи кодування даних визначаються теоретико–числовими базисами (ТЧБ), які застосовуються для їх представлення [9, 30, 35, 36]. Найбільш широко вживаними ТЧБ в сучасних КС є наступні базиси: унітарний, Хаара, Крейга, Грея, Радемахера, Крестенсона, Уолша та Галуа,

кодові матриці яких подані на рис.1.3 [50].

$$\begin{array}{ccc}
 M_{\text{Uni}} = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 & 1 \end{vmatrix} & M_{\text{har}} = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \end{vmatrix} & M_{\text{Gr}} = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 0 & 1 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} & M_{\text{Rad}} = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 & 1 \end{vmatrix} \\
 \text{а)} & \text{б)} & \text{в)}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{ccc}
 M_{\text{LibCr}} = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & \dots & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 1 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \end{vmatrix} & M_{\text{Cres}} = \begin{vmatrix} P_1 & P_2 & \dots & P_n \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ 1 & 1 & \dots & 1 \\ 2 & 2 & \dots & 2 \\ 0 & 3 & \dots & 3 \\ 1 & 4 & \dots & 4 \\ 2 & 0 & \dots & 5 \\ 0 & 1 & \dots & 6 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_1 & a_2 & \dots & a_n \end{vmatrix} & M_{\text{Gal}} = \begin{vmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix} \\
 \text{д)} & \text{е)} & \text{є)}
 \end{array}$$

Рис. 1.3 -Кодові матриці дискретних базисів: а) – унітарного; б) – Хаара; в) – Грея; г) – Радемахера; д) – Крейга; е) – Крестенсона; є) – Галуа.

Кожен з названих базисів характеризується визначеним об’ємом кодової матриці для представлення даних. При цьому найбільш надлишковим базисом є унітарний, в якого кодова матриця $V = N^2$, а число активних кодових елементів $n = N^2 / 2$, де N – діапазон кодування даних. Аналогічну надлишковість забезпечує базис Хаара, в два рази меншу надлишковість забезпечує базис Крейга, тобто $V = N^2 / 4$, а $n = N^2 / 8$. Максимально широке застосування для кодування даних в сучасних КС отримали базиси Радемахера та Крестенсона, в яких $V = N \log_2 N$. Дані

базиси відповідно породжують двійкову систему числення та систему числення залишкових класів [2].

Базис Уолша максимально широко використовується в сучасних телекомунікаційних КС [10,96]. Даний базис породжує систему ортогональних шумоподібних сигналів, які використовуються в сотових системах мобільного зв'язку[160].

Найменшу надлишковість кодування даних забезпечує базис Галуа, кодова матриця якого $V = N$, а $n = N / 2$ [61].

Згідно викладеного, характеристики ТЧБ кодування даних, як системного об'єкта, подані в табл.3.3.

Таблиця 3.3.

Характеристики потоків даних

Формувачі вхідних та вихідних інформаційних сигналів даних	Характеристики інформаційних потоків даних
Унітарний базис	$V = N^2; n = N^2 / 2$
Базис Хаара	$V = N^2, n = N$
Базис Крейга	$V = N^2 / 4, n = N^2 / 8$
Базис Радемахера	$V = N \cdot \log_2 N, n = \frac{N}{2} \log_2 N$
Базис Крестенсона	$V = N \cdot \log_2 N$
Базис Уолша	$V = N^2, n = N^2 / 2$
Базис Галуа	$V = N, n = N / 2$

3.4. Характеристики моделей об'єктів управління.

Об'єкт управління адекватно може бути описаний характеристичними параметрами – часом, ентропією, моделлю об'єкта та системними функціями:

$$E_{OY} = F(T, M, I, S),$$

де T – час, M – модель об'єкта, I – ентропія, S – системні функції.

Найважливішими системними характеристиками ОУ є модель об'єкта, ентропія та системні функції.

Найважливіші моделі ОУ:

Таблиця 3.4.

Типи моделей

№	Типи моделей ОУ	Аналітичний вираз
1	2	3
1	Сигнальні аналогові	$M = X(t)$
2	Сигнальні дискретизовані квантовані	$M = X_i, i \in \overline{1, n}, 0 \leq x_i \leq A,$ де X_i – дискретизоване квантоване значення ОУ, n – об'єм вибірки, A – діапазон квантування
3	Дискретні диференціальні	$M = \Delta X_i = X_{i+1} - X_i,$ де ΔX_i – перші прирости станів ОУ.
4	Дискретні інтегральні	$M = \sum_{i=1}^k X_i,$ де k – число сумувань дискретних станів ОУ.
5	Статистичні:	
5.1	вибіркове математичне сподівання	$M_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$
5.2	ковзне математичне сподівання	$M_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1+j}^{m+j} X_{i+j}, j = 0, 1, 2, \dots$ де $j = 0, 1, 2, \dots$ – дискретний зсув;
5.3	вагове математичне сподівання	$M_v = \sum_{i=1+j}^{m+j} V_{i-j} \cdot X_{i+j},$ де V_i – вагова функція;
5.4	дисперсія	$D_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - M_x)^2$
5.5	середньоквадратичне відхилення	$\sigma_x = \sqrt{D_x}$
6	Автокореляційні моделі	
6.1	знакова	$B_{xx}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \overset{o}{\text{sign}} x_i \cdot \overset{o}{\text{sign}} x_{i+j}$ $\overset{o}{\text{sign}} x_i = \begin{cases} +1, x_i \geq 0 \\ -1, x_i < 0 \end{cases};$
6.2	релейна	$H_{xx}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \cdot \overset{o}{\text{sign}} x_{i+j}$

6.3	коваріаційна	$K_{xx}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \cdot x_{i+j}$
6.4	кореляційна	$R_{xx}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^o \cdot x_{i+j}^o$
6.5	нормована кореляційна	$\rho_{xx}(j) = \frac{R_{xx}(j)}{D_{xx}}$
6.6	структурна	$C_{xx}(j) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - x_{i+j})^2$
6.7	модульна	$G_{xx}(j) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i - x_{i+j} $
6.8	нормована модульна	$g_{xx}(j) = \frac{C_{xx}(j)}{M_x} - M_x$
6.9	еквівалентна	$F_{xx}(j) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \check{Z}_{ij};$ $\check{Z}_{ij} = \begin{cases} x_i, & x_i < x_{i+j} \\ x_j, & x_i \geq x_{i+j} \end{cases}.$
7	Взаємокореляційні моделі між двома параметрами ОУ	
7.1	взаємознакова	$B_{xy}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{sign } x_i^o \cdot \text{sign } y_{i+j}^o$
7.2	взаєморелейна	$H_{xy}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^o \cdot \text{sign } y_{i+j}^o$
7.3	взаємоковаріаційна	$K_{xy}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^o \cdot y_{i+j}^o$
7.4	взаємокореляційна	$R_{xy}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^o \cdot y_{i+j}^o$
7.5	нормована взаємокореляційна	$P_{xy}(j) = \frac{R_{xy}(j)}{\sqrt{D_x + D_y}}, \text{ якщо } j = 0,$ то $P_{xy}(0)$ – нормований коефіцієнт взаємокореляції $P_{xy}(0) = \frac{R_{xy}(0)}{\sqrt{D_x + D_y}}.$

8	Взаємкореляційна матрична модель ОУ	$\begin{pmatrix} \rho_{11} & \rho_{12} & \dots & \rho_{1j} & \dots & \rho_{1m} \\ \rho_{21} & \rho_{22} & \dots & \rho_{2j} & \dots & \rho_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \rho_{i1} & \rho_{i2} & \dots & \rho_{ij} & \dots & \rho_{im} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \rho_{ni} & \rho_{n2} & \dots & \rho_{nj} & \dots & \rho_{nm} \end{pmatrix},$ де $\rho_{ij} = \frac{R_{ij}(0)}{\sqrt{D_i + D_j}}$ – нормований коефіцієнт взаємкореляції між параметрами ОУ, R_{ij} – взаємкореляційна модель між i та j параметром.
---	-------------------------------------	---

ЛЕКЦІЯ 4

Методологія побудови моделей на основі графів.

Об'єктом нашого дослідження будуть мережні системи. Для формалізації структури таких систем застосовується теорія графів і мереж з наступними визначеннями :

Графом називається сукупність двох множин: множини точок, що називаються вершинами або вузлами графа, і множини упорядкованих пар цих вершин, які називаються дугами або ребрами. Коли порядок вершин не має значення, зв'язок між вершинами називається ребром. Якщо порядок вершин строго визначений, зв'язок називається дугою.

Приклад графа наведено на рис.2.1. Вершини графа позначено латинськими буквами a, b, c, d, e , дуги – грецькими буквами – $\alpha, \beta, \delta, \varphi, \varepsilon, \gamma, \zeta$.

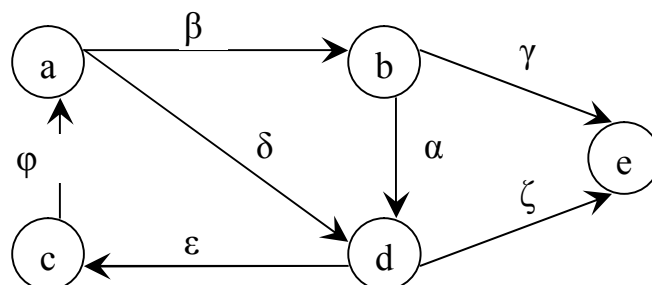


Рис. 2.1 - Приклад графа

Це далеко не єдиний спосіб позначення вершин. Вершини можуть також позначатися цифрами. Іноді можливе описове позначення вершин. В

останньому випадку в кружечки, що позначають вершини, вписують будь-які символи, зрозумілі для того, хто вирішує конкретну проблему мовою теорії графів.

Граф, у якому зв'язки між вершинами задаються ребрами, називаються неорієнтованим.

Граф, у якому зв'язки між вершинами задаються дугами, називаються орієнтованим.

На рис. 2.1 зображено орієнтований граф. Для того, щоб він став неорієнтованим, треба на дугах забрати стрілки.

Ребра і дуги зручно позначати переліченням пар вершин, які вони з'єднують. На першому місці ставиться початкова вершина. На другому – кінцева. У цьому випадку дуга φ позначається як (c, a) , дуга β як (a, b) і т.д. Для ребер порядок вершин не має значення.

Довільний граф позначається буквою G , X – множина вершин, E – множина ребер, A – множина дуг.

Тоді конкретний граф, залежно від його орієнтації, прийнято записувати у вигляді:

$$G = (X, A) \text{ або } G = G(X, A), \quad G = (X, E) \text{ або } G = G(X, E).$$

Початкова і кінцева вершини дуги чи ребра називаються кінцевими. На рис. 2.1, наприклад, для дуги β кінцевими є вершини a і b .

Вершина називається інцидентною дузі чи ребру, якщо вона є для нього початком або кінцем. На тому ж рисунку, наприклад, вершина a інцидентна дугам φ , β і δ .

Дуги інцидентні одна одній, якщо вони інцидентні одній і тій самій вершині (тобто мають у своєму складі ту саму вершину). Наприклад, φ , β , δ інцидентні вершині a .

Дуга початкова і кінцева, вершини якої збігаються, називаються петлею. Вигляд її подано на рис. 2.2.

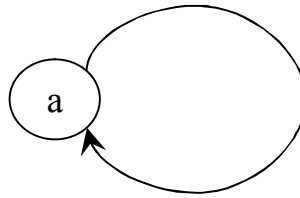


Рис. 2.2 - Петля.

У реальних задачах петля означає „зациклення” або „топтання” на одному місці: наприклад, ресурс чи інформація не виходить із джерела і залишається в ньому. Це досить поширене явище на практиці.

Дві вершини називаються сусідніми, якщо є ребро чи дуга, що їх з'єднують.

Довільна послідовність дуг або ребер називається ланцюгом. Для ланцюга важливо, що кожне наступне ребро або дуга були початком чи кінцем попереднього ребра або дуги. Однак, спрямованість дуг у ланцюзі не має значення, тобто в ланцюзі допускаються повернення. Наприклад, на рис. 3.3 вершини a і e з'єднані ланцюгами: α , β , γ і ε або α , β і δ . І це не всі ланцюги між a і e на цьому рисунку.

Ланцюг, у якого початкова і кінцева вершини збігаються, називається циклом. На рис. 2.3. прикладом циклу є дуги γ , ψ і δ .

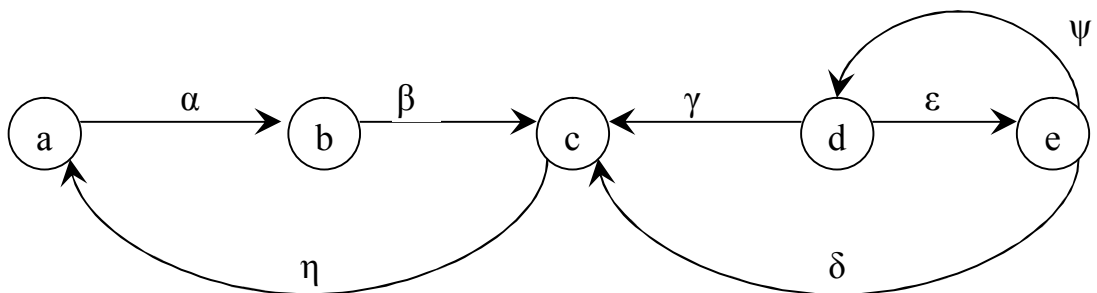


Рис. 2.3 - Приклад графа.

Ланцюг, у якого повернення між сусідніми вершинами не допускаються (тобто такий ланцюг, що складається з дуг одного напрямку), називається шляхом. Шляху між вершинами a й e на рис. 2.3 немає.

Шлях, у якого початкова і кінцева вершини збігаються, називається контуром. На рис. 2.3 шлях утворюють дуги α і β . Дуги α , β і η утворюють контур.

Для неорієнтованого графа поняття ланцюга і шляху, а також циклу і контуру збігаються.

Граф називається зв'язним, якщо в ньому для кожної пари вершин знайдеться ланцюг, що їх з'єднує. Будь-який граф можна розглядати як деяку сукупність зв'язних графів. Кожен з таких графів називається під графом або компонентом вихідного графа.

Усі дотепер розглянуті графи були однозв'язними. На рис. 2.4 подано двозв'язний граф, що складається з двох компонентів. Перший з них визначається дугами α і β , другий – дугами δ , ε і ζ .

Сукупність дуг графа називається деревом, якщо вона є зв'язним під графом цього графа і не містить циклів. На рис. 2.4 вказано граф, що складається з двох під графів. Обидва підграфи є деревом.

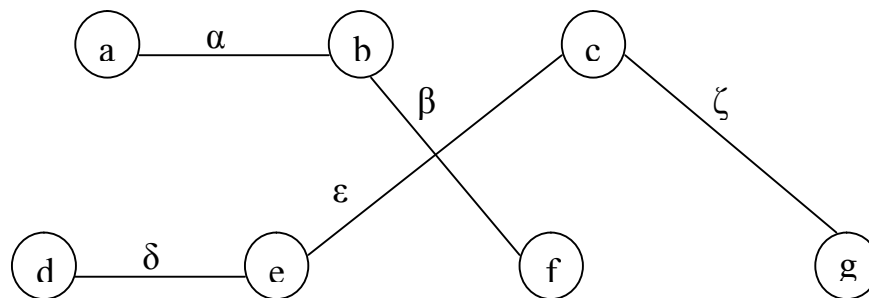


Рис. 2.4 - Приклад багатозв'язного графа

Щоб компоненти розглянутого графа подати наочно, можна зобразити їх окремо, як на рис. 2.5. Збереження масштабу тут принципового значення не має.

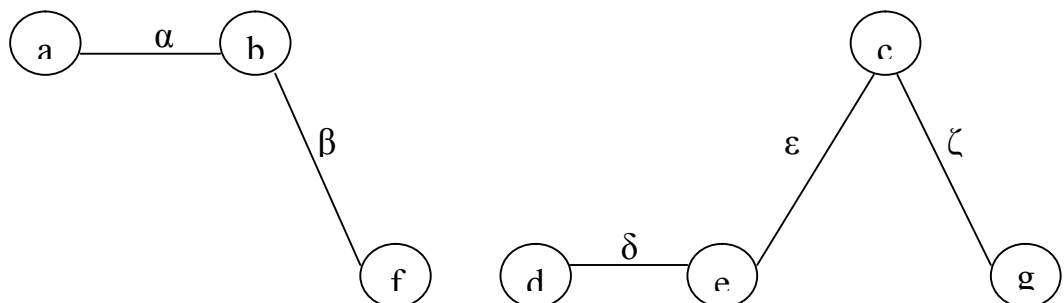


Рис. 2.5 - Багатозв'язний граф для графа на рис. 2.4, зображений у вигляді окремих дерев.

Вагою дерева називається сума ваг усіх його ребер. Дерево називається мінімальним (максимальним), якщо воно має мінімальну (максимальну) з можливих ваг.

Лісом називається будь-яка сукупність дуг, що не містить циклів. Ліс може складатися з одного і більше дерев. На рис. 2.5 зображено ліс, що складається з двох дерев: дерева α , β і дерева δ , ε , ξ .

Вага лісу вводиться за аналогією з вагою дерева.

Покривним деревом називається будь-яке дерево, що містить усі вершини графа. Зрозуміло, що для будь-якого зв'язного неорієнтованого графа покривне дерево завжди існує. Для зв'язного орієнтованого – далеко не завжди.

Приклад цього положення ілюструє рис. 2.6. Для орієнтованого графа на цьому рисунку не існує покривного дерева, хоча за відсутності стрілок на дугах воно склалося б з ребер (1, 2), (2, 3) і (3, 4).

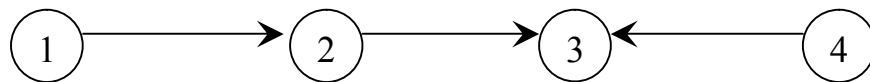


Рис. 2.6 - Приклад графа, для якого не існує покривного дерева.

Тому для орієнтованих графів на перше місце виступає поняття лісу, а не дерева. Для того, щоб чітко визначитися в термінах, введемо їх окремо для орієнтованих графів.

Орієнтоване дерево – дерево, у якому жодні 2 дуги не заходять у ту саму вершину.

Коренем дерева називається єдина його вершина, в яку не заходить жодна дуга. Поняття кореня для неорієнтованих дерев немає. Коренем для орієнтованих дерев може слугувати будь-яка вершина.

Орієнтований ліс – це ліс, що складається з орієнтованих дерев.

Покривним орієнтованим деревом називається орієнтоване дерево, що є одночасно і покривним деревом.

Покривним орієнтованим лісом називається орієнтований ліс, що містить всі вершини графа.

На рис. 2.6, як вже зазначалося, показаний граф, що не має покривного дерева. Покривний же ліс для нього складається з двох дерев: дерева (1, 2), (2, 3) і дерева (4, 3). Останнє дерево містить тільки одну дугу, але це не заважає йому бути, відповідно до вищенаведеного визначення, деревом.

Граф, що має покривне дерево, є однозв'язним. Вірно і протилежне: для того, щоб граф був однозв'язним, він повинен мати покривне дерево.

У загальному випадку граф може мати кілька покривних дерев. Особливо показове це явище для неорієнтованих графів. Хоча можливе і для орієнтованих. Для того щоб це побачити, розглянемо граф на рис. 2.7.

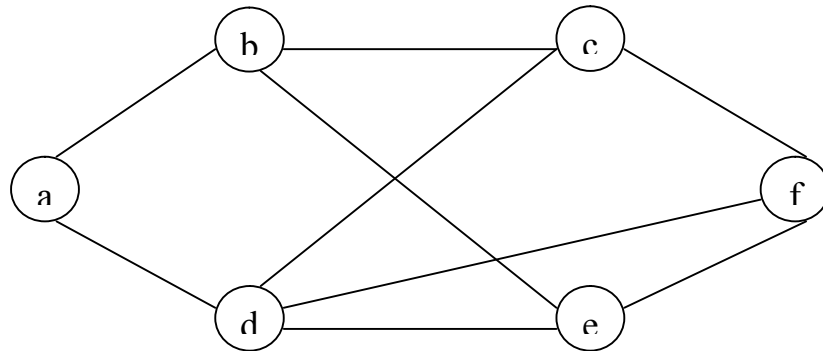


Рис. 2.7 - Приклад графа, для якого існує кілька покривних дерев

Для графа на рис. 2.7 покривними будуть і дерево (a, b), (b, c), (c, f), (f, e), (e, d) і дерево (a, b), (b, c), (c, d), (d, f), (f, e).

За бажання тут можна знайти й інші покривні дерева. Пропонуємо перевірити це.

Кожне дерево можна представити (розгорнути) таким чином, щоб воно мало вигляд відомого в історичному плані „генеалогічного” дерева, за допомогою якого зображають наявність родинних зв'язків. Вигляд генеалогічного дерева зображено на рис. 2.8.

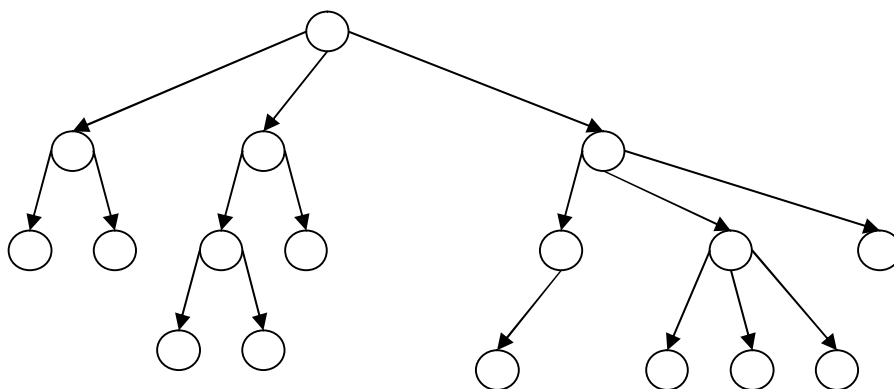


Рис. 2.8 - Вигляд генеалогічного дерева.

Так само відбивають різного роду ієрархію і супідрядність для широкого кола реальних об'єктів. При цьому для неорієнтованого дерева як корінь можна вибрати будь-яку вершину, для орієнтованого – одну, а саме ту, в котру не заходять дуги.

Множина дуг, виключення яких із графа збільшує число його компонентів називається розрізом. Розріз, що не містить як власну підмножину ніякого іншого розрізу, називається простим. Таким чином, простий розріз це той, котрий містить найменшу кількість дуг. Наприклад, для графа на рис. 2.3 дуги γ , ε , ψ і δ утворюють розріз. До складу його входить інший розріз - γ , ε і δ , що є простим.

Узагальненням поняття графа є поняття мережі. Воно вводиться відповідно до поняття мережної системи на загальноприйнятому рівні.

Мережею називається граф, кожному ребру або дузі якого поставлено у відповідність деяке число, що називається вагою ребра, або дуги і відбиває певні властивості цього ребра чи дуги (наприклад, відстань, швидкість, ціну, пропускну здатність, дохід, прибуток).

Мережі на практиці, природно, використовуються набагато частіше, ніж графи як такі, тому що ваги ребер чи дуг визначають процес функціонування об'єкта, представленого мережею. У деяких літературних джерелах поняття мережі і графа не розрізняються.

Усі поняття, введені для графа, стосуються і мереж. Мережі, як і графи, можуть бути орієнтованими або ні. Вигляд орієнтованої мережі зображено на рис. 2.9. На ньому поруч з кожною дугою проставлено її вагу.

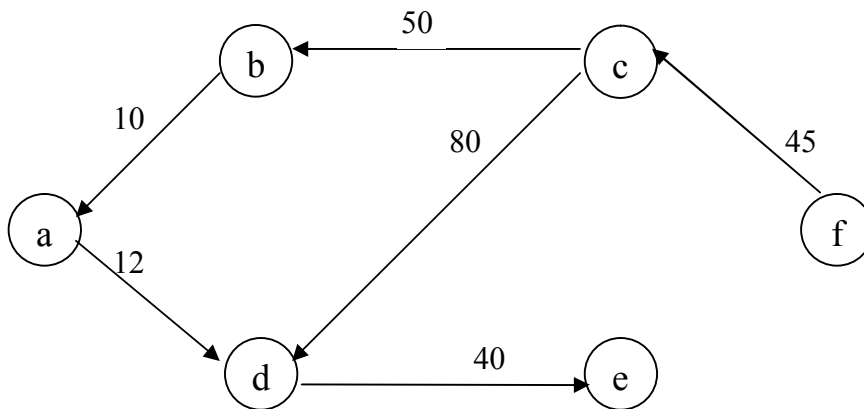


Рис. 2.9 - Зображення мережі.

Завдання ваг у такий спосіб є не завжди зручним для мереж великого розміру чи при зображенні їх у малому масштабі. Тому часто ваги для мереж задаються у вигляді таблиці. Зразок табличного задання ваг для мережі, зображеної на рис. 2.9, наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Спосіб задання ваг для мережі на рис.2.9.

у \ x	3	a	b	c	d	e	f
a			10				
b				50			
c							45
d		12		80		40	
e							
f							

Кажучи загалом, таблиця 2.1 являє собою задання самої мережі. Вона відображає усе, що притаманне мережі: вершини, зв'язки і ваги, тобто числа, поставлені у відповідність цим зв'язкам. За нею, не знаючи конфігурації мережі можна відтворити всю мережу. Масштаб і вигляд зображення мережі

для формалізованої задачі не мають принципового значення, крім виконання ролі наочності. Саме так описуються мережі при розв'язанні мережних задач на комп'ютерах. Цей метод зручний для програмування на алгоритмічних мовах.

Взагалі не тільки мережі, а й графи можуть задаватися таблицею. У цьому випадку замість конкретних ваг у відповідних клітинках таблиці ставиться яка-небудь ознака, що вказує на наявність зв'язку.

Матриці інцидентій, які описані в першому розділі та викладені в цьому розділі принципи формалізації опису графів, є теоретичною та методологічною основою для побудови матричних моделей руху даних. При цьому ММРД об'єднують характеристики матриці інцидентій та графових дерев і більш конкретизовані, оскільки доповнюються символами атрибутів, які відображають поняття джерела інформації, проміжного пункту цифрової обробки даних та приймача інформації.

ЛЕКЦІЯ 5

Атрибути матричної моделі.

Матриці інцидентій, які описані в першому розділі, є теоретичною та методологічною основою для побудови матричних моделей руху даних. При цьому ММРД об'єднують характеристики матриці інцидентій та графових дерев і більш конкретизовані, оскільки доповнюються символами атрибутів, які відображають поняття джерела інформації, проміжного пункту цифрової обробки даних та приймача інформації.

Матрична модель руху даних (рис.5.1) визначається умовами та графом взаємодії об'єктів $O_1, \dots, O_4$ та документами $D_1, \dots, D_4$.

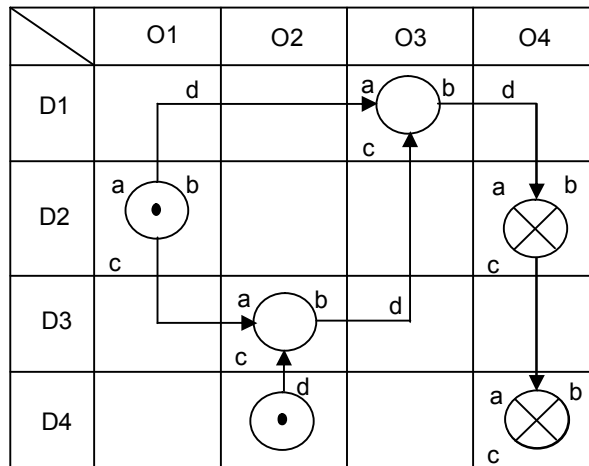


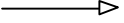
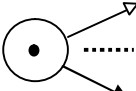
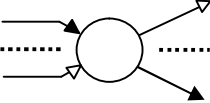
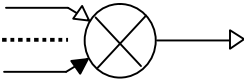
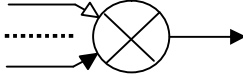
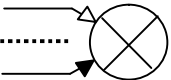
Рис. 5.1 - Матрична модель руху даних

При цьому для кожного SO з координатами $D_i \cdot O_j$ повинні виконуватися умови несуперечливості:

- джерело інформації має не менше одного виходу і жодного входу ;
- пункт обробки даних має не менше одного входу і одного виходу ;
- залежний пункт затвердження даних має не менше одного входу і тільки один вихід ;
- незалежний пункт затвердження даних має не менше одного входу і жодного виходу (табл. 5.1).

Для формальної побудови сімейства моделей руху даних на основі відомої двовимірної ММ кожний елемент двовимірної ММ описується четвіркою параметрів: a – початок виконання операції; b – тривалість виконання операції; c – тип операції; d – час передавання даних у каналі зв'язку між об'єктами.

Символіка атрибутів ММРД

Символи атрибутів ММРД	Зміст атрибутів ММРД
	інформаційний потік
	матеріальний потік
	джерело
	пункт обробки ІМП (інформаційно–матеріальний потік)
	залежний пункт затвердження
	
	незалежний пункт затвердження і архівізації даних

Значний вклад в розвиток теорії проектування комп'ютерних мереж та автоматизованих систем вніс відомий американський вчений Дж. Мартін, який визначив поняття і ввів оцінку одиниці руху даних у вигляді :

$$K_d = \frac{R}{W}, \quad (5.1)$$

де R – число зчитувань або запитів,

W – число записів або оновлень даних.

Дана оцінка дозволила розвинути Дж. Мартіном основи теорії проектування корпоративних комп'ютерних мереж і методологію побудови різноманітних проекцій їх моделей.

В той же час дана оцінка одиниці руху даних не дозволяє врахувати ефективність використання ресурсів в пунктах формування, обробки та реєстрації даних, що не дозволяє реалізувати оптимізаційне проектування

комп'ютерних мереж та розрахунк характеристик їх надійності, живучості, ймовірності перевантажень та відмов.

Дана оцінка руху даних практично не може бути використана для проектування та розрахунку системних характеристик мереж з глибоким розпаралеленням інформаційних потоків.

На основі коефіцієнта руху даних (5.1) можна визначити коефіцієнт ефективності руху даних, який враховує ресурси руху даних в конкретному вузлі матричної моделі

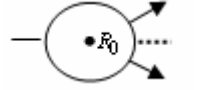
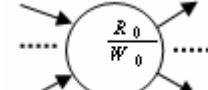
$$K_{ed} = \frac{R_i \cdot W_0}{R_0 \cdot W_i}, \quad (5.2)$$

де R_i, R_0, W_i, W_0 – відповідно фактичне число запитів, максимально можливе число запитів, фактичне число записів або оновлень, максимально можливе число записів або оновлень у вузлі матричної моделі.

У зв'язку з введенням описаної оцінки в характеристики двовимірної матричної моделі необхідно ввести наступні позначення (табл. 5.2).

Таблиця 5.2

Позначення характеристик двовимірної ММ

Тип вузла матричної моделі	Символ	Умова несуперечливості
Джерело даних		$R_0 > \sum_{i=1}^n R_i$
Пункт обробки даних		$R_0 > \sum_{i=1}^n R_i \quad W_0 > \sum_{j=1}^m R_j$
Залежний приймач даних		$W_0 > \sum_{j=1}^m R_j$
Незалежний приймач даних		$W_0 > \sum_{j=1}^m R_j$

Запропоноване розширення атрибутів ММРД дозволяє розробити інженерну методику та інформаційну технологію проектування РКС на основі реальних топологій промислових підприємств.

ЛЕКЦІЯ 6

Розробка похідних моделей на основі матричних моделей руху даних.

В основі побудови матричної моделі покладений двовимірний граф, приклад якого поданий на рис.6.1.

Матрична модель утворює мережу направлених зв'язків між джерелами інформації (ДІ), місцями обробки і приймачами даних, відображає маршрути документопотоків, що передаються по каналах зв'язку згідно топології інформаційної системи реальних промислових об'єктів, системи передачі даних або локальної комп'ютерної мережі.

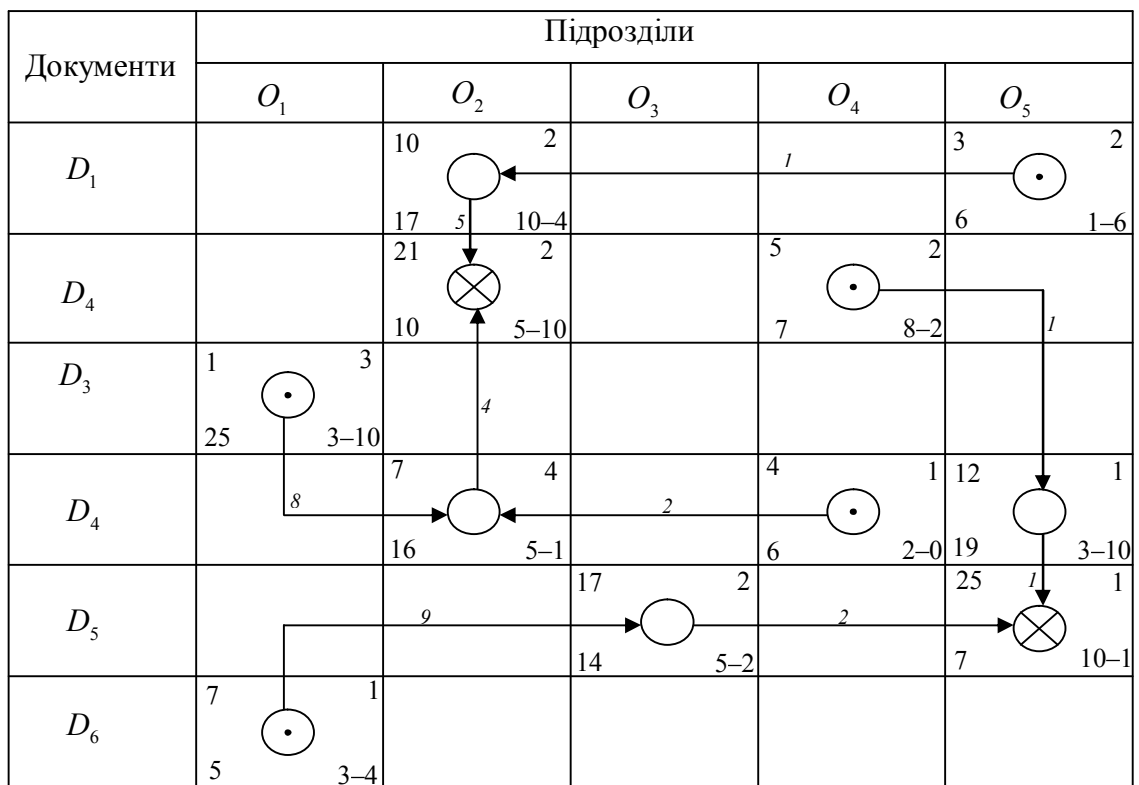


Рисунок 6.1 - Матрична модель руху даних РКС.

Формалізацію матричної моделі проводять наступним чином:

$$D_i O_j \cdot X \cdot a, b, c, p - v \quad i \in \overline{1, n}, j \in \overline{1, m} \quad D_i O_j : D_i O_j,$$

$$\begin{array}{ll}
D_3O_1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 25 \cdot 3 - 10; & D_3O_1 : D_4O_2 \\
D_6O_2 \cdot 1 \cdot 7 \cdot 1 \cdot 5 \cdot 3 - 4; & D_6O_1 : D_5O_3 \\
D_1O_2 \cdot 2 \cdot 10 \cdot 2 \cdot 17 \cdot 10 - 4; & D_1O_2 : D_2O_2 \\
D_2O_2 \cdot 3 \cdot 21 \cdot 2 \cdot 10 \cdot 5 - 10; & D_4O_2 : D_2O_2 \\
D_4O_2 \cdot 2 \cdot 13 \cdot 4 \cdot 16 \cdot 5 - 1; & D_5O_3 : D_5O_5 , \\
D_5O_3 \cdot 2 \cdot 17 \cdot 2 \cdot 14 \cdot 5 - 2; & D_2O_4 : D_4O_5 \\
D_2O_4 \cdot 1 \cdot 5 \cdot 2 \cdot 7 \cdot 8 - 2; & D_4O_4 : D_4O_2 \\
D_4O_4 \cdot 1 \cdot 4 \cdot 1 \cdot 6 \cdot 2 - 0; & D_1O_5 : D_1O_2 \\
D_1O_5 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 6 \cdot 1 - 6; & D_4O_5 : D_5O_5 \\
D_4O_5 \cdot 2 \cdot 12 \cdot 1 \cdot 19 \cdot 3 - 10; & \\
D_5O_5 \cdot 3 \cdot 25 \cdot 1 \cdot 13 \cdot 10 - 1; &
\end{array}$$

де $d=1, 2, 3$ відповідно ідентифікатор джерела, пункту обробки та приймача інформації.

ММ є базою для побудови всієї сукупності інформаційних моделей ОУ та МРД КС складних ДІ.

Граф розгалужене дерево.

Побудова моделі типу «граф – розгалужене дерево» реалізує наявну мережеву структуру ММ у відповідний набір ієрархічних моделей з приймачем в якості кореня. При цьому досягається можливість просторового подання необхідних структур даної моделі, представлення всіх джерел та відображення шляхів руху даних, установлених на рівні конкретного приймача.

Формалізація моделі граф–розгалужене дерево

$$\left. \begin{array}{l} D_3O_1 : D_4O_2 : D_2O_2 \\ D_4O_4 : D_4O_2 : D_2O_2 \\ D_1O_5 : D_1O_2 : D_2O_2 \end{array} \right\} \in D_2O_2 \cdot 3;$$

$$\left. \begin{array}{l} D_6O_1 : D_5O_3 : D_5O_5 \\ D_2O_4 : D_4O_5 : D_5O_5 \end{array} \right\} \in D_5O_5 \cdot 3.$$

Приклад такої моделі побудованої на базі ММ (рис.6.1) поданий на рис.6.2.

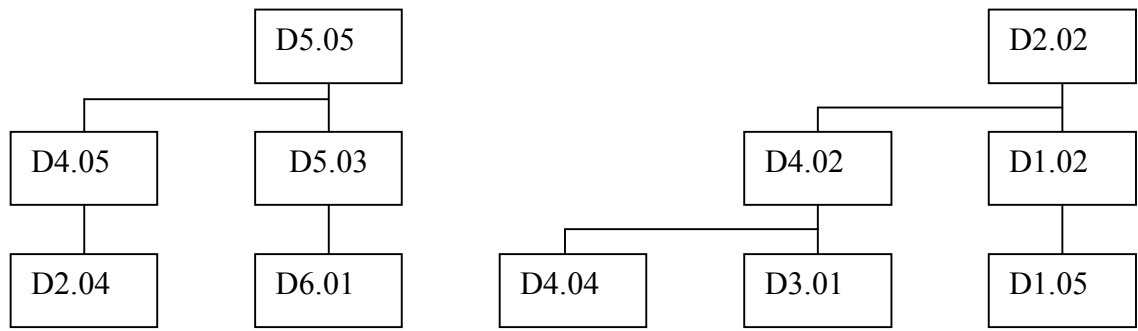


Рисунок 6.2 - Модель “граф–розгалужене дерево”

З рис. 6.2. видно, що методологічно модель типу “граф– розгалужене дерево ” будується розширенням графа вліво і вниз.

Часові інформаційні моделі.

Виділяють наступні часові інформаційні моделі:

- параметрична часова модель;
- структурно–часова модель;
- мережевий графік руху даних;
- суміщений часовий граф виконання системних функцій.

Параметрична часова модель.

Параметрична часова модель (рис.6.3) структурно показує необхідний час виконання системних операцій, згрупованих по ознаках джерел, пунктів обробки та приймачів інформації. Розглянута модель дозволяє оцінити і розрахувати необхідні часові, апаратурні або людино–машинні ресурси для реалізації конкретних системних операцій в РКС.

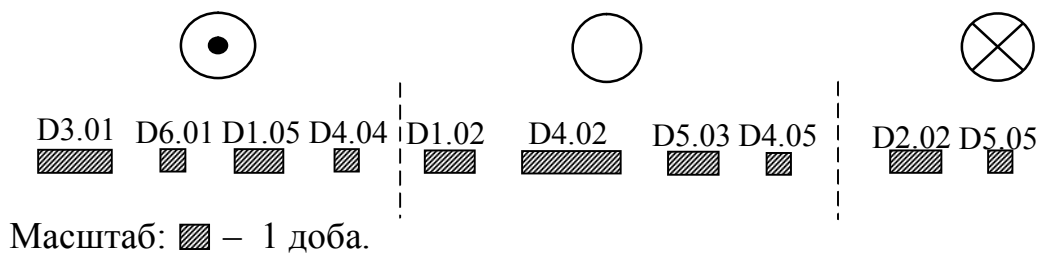


Рис.6.3 - Параметрична часова модель.

Формалізація параметричної часової моделі має наступний вигляд:

Таблиця ідентифікаторів активного вузла ММРД

$D_3O_1 \cdot 1 \cdot b_{31};$	$D_5O_3 \cdot 2 \cdot b_{53};$
$D_6O_1 \cdot 1 \cdot b_{61};$	$D_2O_4 \cdot 1 \cdot b_{24};$
$D_1O_2 \cdot 2 \cdot b_{21};$	$D_4O_4 \cdot 1 \cdot b_{44};$
$D_2O_2 \cdot 3 \cdot b_{22};$	$D_1O_5 \cdot 1 \cdot b_{15};$
$D_4O_2 \cdot 2 \cdot b_{42};$	$D_4O_5 \cdot 2 \cdot b_{45};$
	$D_5O_5 \cdot 3 \cdot b_{55};$

Впорядкована таблиця активних атрибутів ММРД з ознакою тривалості виконання операції b_{ij}

$D_3O_1 \cdot 1 \cdot b_{31};$	$D_1O_2 \cdot 2 \cdot b_{12};$	
$D_6O_1 \cdot 1 \cdot b_{61};$	$D_4O_2 \cdot 2 \cdot b_{42};$	$D_2O_2 \cdot 3 \cdot b_{22};$
$D_2O_4 \cdot 1 \cdot b_{24};$	$D_5O_3 \cdot 2 \cdot b_{53};$	$D_5O_5 \cdot 3 \cdot b_{55};$
$D_4O_4 \cdot 1 \cdot b_{44};$	$D_4O_5 \cdot 2 \cdot b_{45};$	
$D_1O_5 \cdot 1 \cdot b_{15};$		

Структурно—часова модель.

Структурно—часова модель (рис.6.4) також визначає групування системних операцій по джерелах, пунктах обробки та приймачах, з прив'язкою по горизонталі до початку виконання системних процедур і зберіганням структури руху даних, а по вертикалі — з прив'язкою до конкретних джерел і приймачів даних. Дана модель відображає часову послідовність (причинність) системних процедур і дозволяє на стадії проектування або модернізації розкрити часові неузгодження руху даних і узгодити ресурси мережі з структурою руху даних.

Формалізація параметрів структурно—часової моделі має вигляд:

$$D_1O_5 \cdot 1 : D_2O_2 \cdot 2 \wedge (D_3O_1 \cdot 1 \wedge D_4O_4 \cdot 1 : D_4O_2 \cdot 2) : D_2O_2 \cdot 3;$$

$$(D_2O_4 \cdot 1 : D_4O_5 \cdot 2 \wedge D_6O_1 \cdot 1 : D_5O_3 \cdot 2) : D_5O_5 \cdot 3;$$

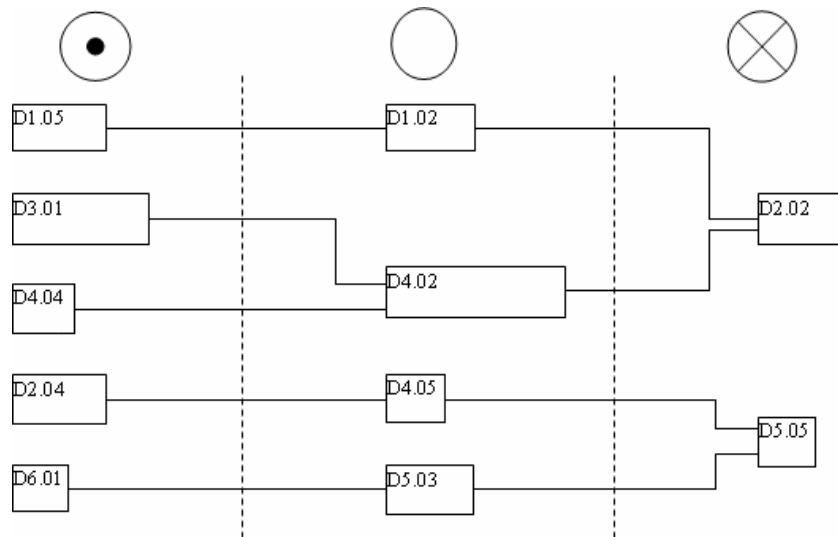


Рис. 6.4 - Структурно-часова модель

2.4.2.3. Модель “мережевий графік”.

Модель типу ”мережевий графік” (рис.6.5.) будується по типовій методиці побудови мережевих графіків і мереж. В даній моделі з часових параметрів враховується тільки час початку виконання системної операції (а).

Формалізація моделі мережевий графік передбачає формування:

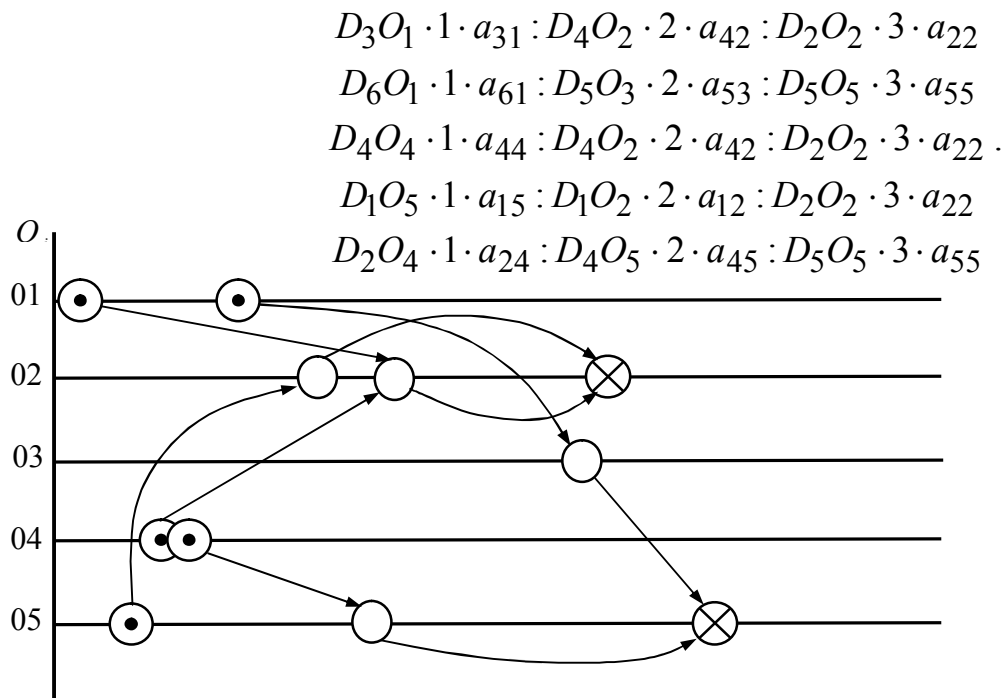
Матриця ідентифікаторів активних вузлів початку виконання операції (a_{ij})

$$\begin{array}{ll}
 D_3O_1 \cdot 1 \cdot a_{31}; & D_5O_3 \cdot 2 \cdot a_{53} \\
 D_6O_1 \cdot 1 \cdot a_{61}; & D_2O_4 \cdot 1 \cdot a_{24} \\
 D_1O_2 \cdot 2 \cdot a_{21}; & D_4O_4 \cdot 1 \cdot a_{44} \\
 D_2O_2 \cdot 3 \cdot a_{22}; & D_1O_5 \cdot 1 \cdot a_{15} \\
 D_4O_2 \cdot 2 \cdot a_{42}; & D_4O_5 \cdot 2 \cdot a_{45} \\
 & D_5O_5 \cdot 3 \cdot a_{55}
 \end{array}$$

Впорядкована таблиця активних атрибутів з ознакою a_{ij} .

$$\begin{array}{ll}
 D_3O_1 \cdot 1 \cdot a_{31}; & D_1O_2 \cdot 2 \cdot a_{12} \\
 D_6O_1 \cdot 1 \cdot a_{61}; & D_4O_2 \cdot 2 \cdot a_{42} \\
 D_2O_4 \cdot 1 \cdot a_{24} & D_5O_3 \cdot 2 \cdot a_{53} \\
 D_4O_4 \cdot 1 \cdot a_{44}; & D_4O_5 \cdot 2 \cdot a_{45} \\
 D_1O_5 \cdot 1 \cdot a_{15}; & D_2O_2 \cdot 3 \cdot a_{22} \\
 & D_5O_5 \cdot 3 \cdot a_{55}
 \end{array}$$

Таблиця направлених зв’язків від джерел до приймачів



T

Рис.6.5 - Мережевий графік.

Модель суміщений часовий граф.

Модель типу “суміщений часовий граф” (рис.6.6) показує асоціацію системних функцій з заданими часовими параметрами без структури руху даних. Розглянута модель дозволяє розрахувати поточні навантаження на обчислювальні ресурси людино–машинних засобів обробки даних в кожному елементі ММ або розподілення пікових навантажень всією мережею обчислювальної системи в цілому. Призначена для центрального сервера КС, який контролює регламентність виконання функцій підрозділами КС і координує їх роботу в часі.

Формалізація моделі суміщений часовий граф:

$$f_i = D_i O_j \cdot a_{ij} \cdot a_{ij} + b_{ij};$$

$f_1 = D_3 O_1 \cdot 1 \cdot 1 + 3;$	$f_6 = D_1 O_2 \cdot 10 \cdot 10 + 2;$
$f_2 = D_1 O_5 \cdot 3 \cdot 3 + 2;$	$f_7 = D_4 O_5 \cdot 12 \cdot 12 + 1;$
$f_3 = D_4 O_4 \cdot 4 \cdot 4 + 1;$	$f_8 = D_4 O_2 \cdot 13 \cdot 13 + 4;$
$f_4 = D_2 O_4 \cdot 5 \cdot 5 + 2;$	$f_9 = D_5 O_3 \cdot 17 \cdot 17 + 2;$
$f_5 = D_6 O_1 \cdot 7 \cdot 7 + 1;$	$f_{10} = D_2 O_2 \cdot 21 \cdot 21 + 2;$
	$f_{11} = D_5 O_5 \cdot 25 \cdot 25 + 1.$

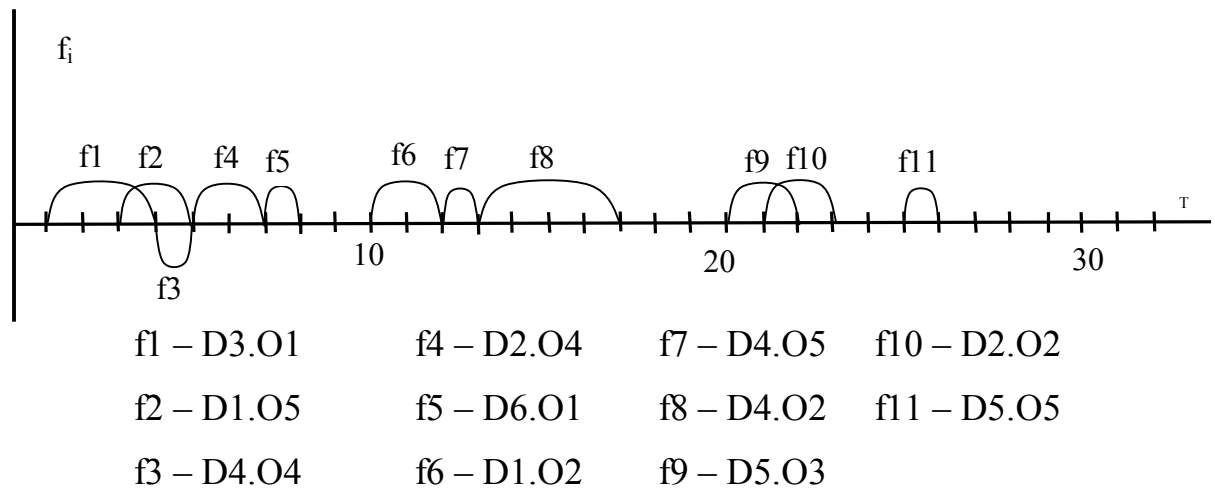


Рис. 6.6 - Модель суміщених часовий граф.

2.4.3. Модель блок–схема алгоритму оброблення даних.

Модель "блок–схема алгоритму оброблення даних" (рис.6.10) є діагностичною моделлю КС, яка будується на основі суміщеної часової моделі у відповідності з використанням типових позначень блок–схем алгоритмів і програм. Дана модель використовується центральним сервером РКС для діагностування виконання процесів руху даних в системі згідно регламентного алгоритму її функціонування на основі моделі „суміщений часовий граф”.

Суть побудови даної моделі методично виконується формалізацією процедур побудови оптимального несуперечного змістовного графа розгалуженого алгоритму у наступному порядку:

- формалізація умови задачі;
- побудова суміщеного часового графа;
- побудова логічного розгалуженого графа;
- покриття логічного графа блок–схемою;
- нумерація операторів блок–схеми.

Формалізація моделі „блок–схема алгоритму”:

$$f_i = \begin{cases} f_1, T_1 \leq T \leq T_4; \\ f_2, T_3 \leq T \leq T_5; \\ f_3, T_4 \leq T \leq T_5; \\ f_4, T_5 \leq T \leq T_7; \\ f_5, T_7 \leq T \leq T_8; \\ f_6, T_{10} \leq T \leq T_{12}; \\ f_7, T_{12} \leq T \leq T_{13}; \\ f_8, T_{13} \leq T \leq T_{17}; \\ f_9, T_{20} \leq T \leq T_{22}; \\ f_{10}, T_{21} \leq T \leq T_{23}; \\ f_{11}, T_{25} \leq T \leq T_{26}. \end{cases}$$

Формалізація умови задачі полягає у відповідності до нумерації системних функцій $f_i(r)$, які в реальній процедурі описуються системою аналітичних виразів, які виконуються при заданих часових організаціях.

Наприклад, для умови задачі $f_i(r)$ – багатоканальне аналого–цифрове перетворення технологічних параметрів; $f_2(t_2)$ – ковзне усереднення формуючих відліків процесів; $f_3(t_3)$ – обчислення матриці коефіцієнтів кореляції; $f_4(t_4)$ – індикація параметрів.

Формалізація умови задачі побудови моделі „блок-схеми алгоритму”:

$$Y(t) = \begin{cases} f_1(t) & d \leq t < b; \\ f_2(t) & c \leq t \leq d; \\ f_3(t) & e < t. \end{cases},$$

де a, b, c, d, e – часові обмеження.

Нехай $a=1, b=2, c=4, d=6, e=5$. Тоді суміщений часовий граф (СЧГ) має вигляд, приведений на рис.2.19, 2.20, де стрілки вказують, що відповідні системні процедури виконуються до настання часу $t=b$ або пізніше часу $t=e$.

Змінюючи значення часових обмежень a, b, c, d, e і здійснюючи розпаралелювання операцій виконання системних процедур $f_i(t)$ одержимо відповідно різні реалізації суміщеного графа (рис. 6.8).

Для визначення формалізованої методики побудови розгалуженого логічного графа (РЛГ) сформулюємо ряд стверджень:

1. Системними атрибутами логічного графа є 5 вершин: початок, ввід–вивід, оператор системної функції, умова і кінець;
2. Основним атрибутом розгалуженого логічного графа є умова, при чому:
 - 2.1) якщо умова виконується, ЛГ розширюється вправо, в протилежному випадку – вниз;
 - 2.2) якщо умова невиконується, то вимагається його уточнення, граф розширюється зліва вниз;
3. Вид суміщеного часового графа одночасно визначає структуру логічного графа, при чому:
 - 3.1) якщо системні функції на СЧГ не пересікаються і не накладаються, то ЛГ розширюється вправо і вниз, а для виводу використовується одна загальна вершина;
 - 3.2) в протилежному випадку ЛГ розширюється тільки вниз, а для виводу використовується автономна вершина після кожного оператора системної функції.

Приклади побудови розгалужених ЛГ для суміщених часових моделей ілюструє рис.6.7.

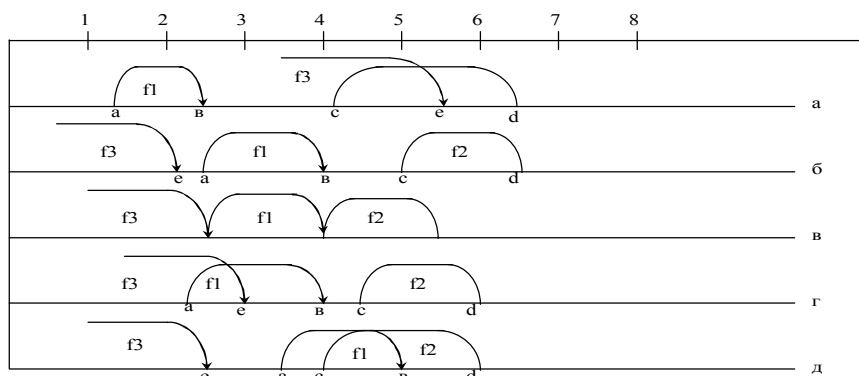


Рисунок.6.7 - Приклади суміщених часових графів.

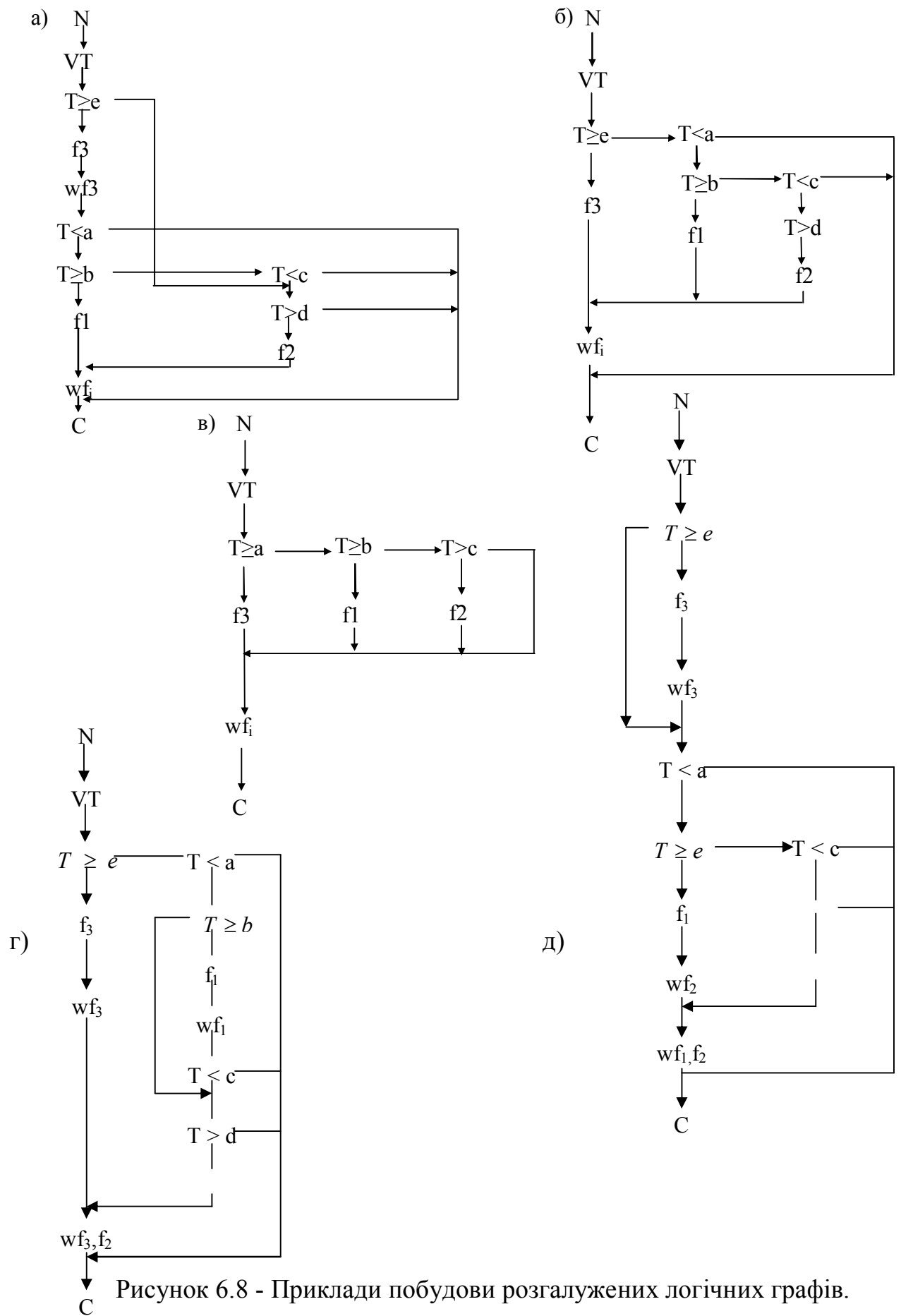


Рисунок 6.8 - Приклади побудови розгалужених логічних графів.

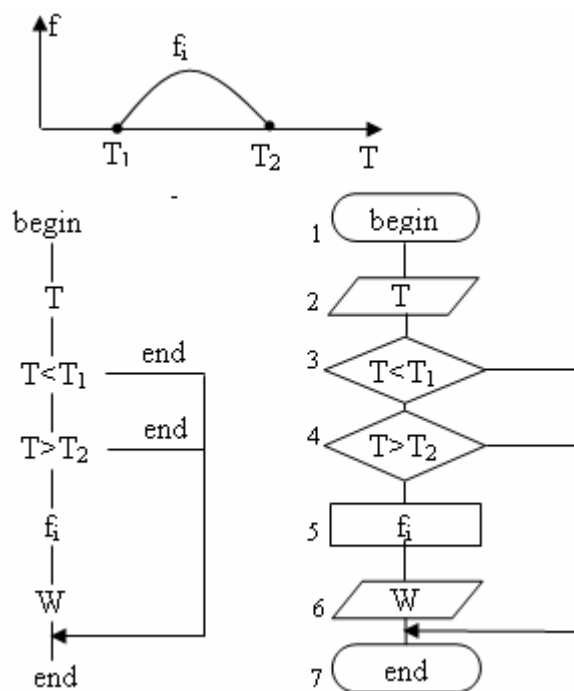


Рис. 6.9(а). Граф та блок-схема алгоритму.

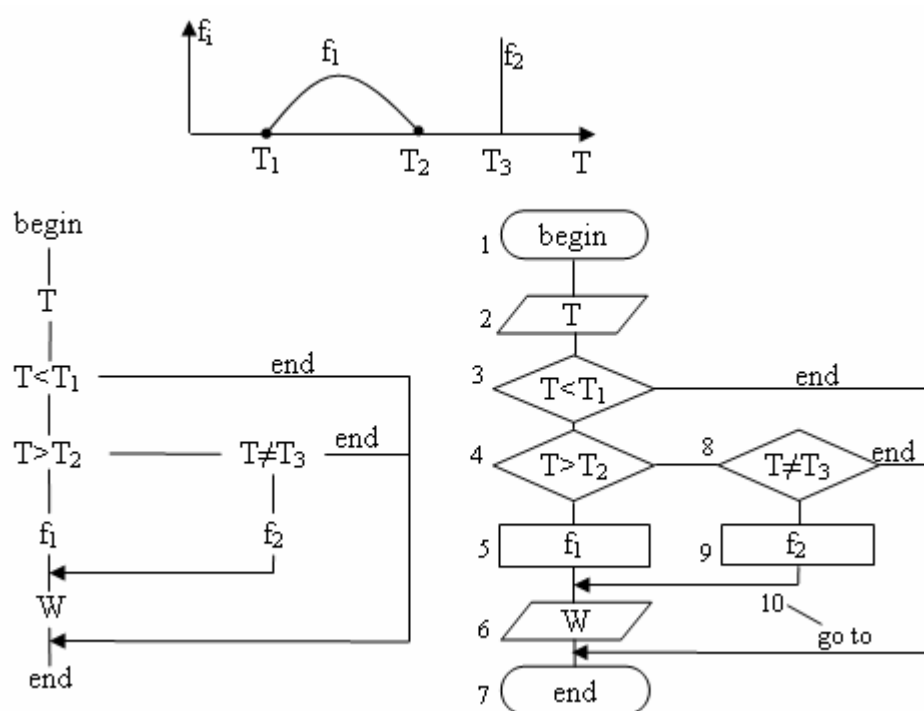


Рис. 6.9(б). Граф та блок-схема алгоритму.

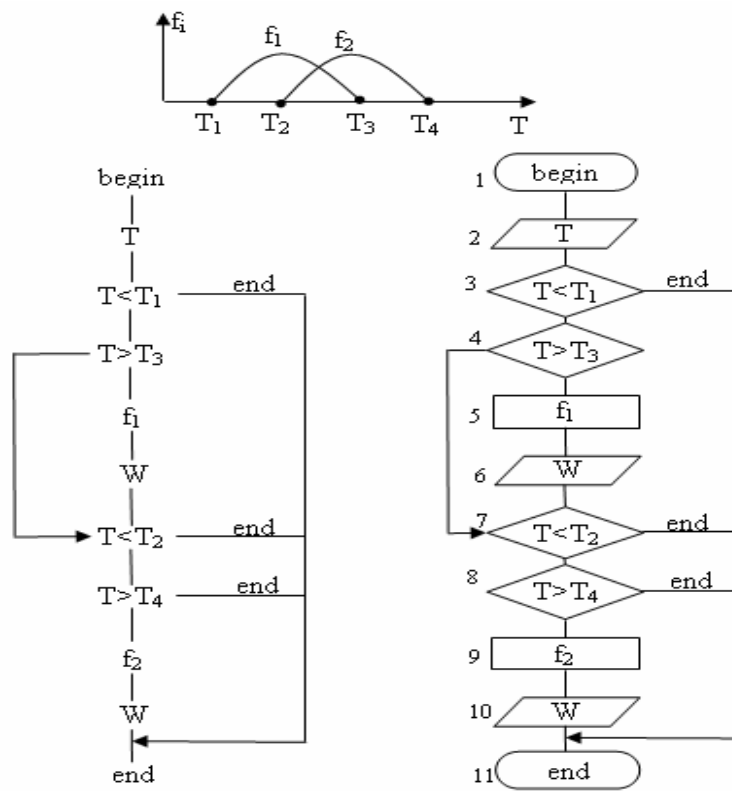


Рис. 6.9(в). Граф та блок-схема алгоритму.

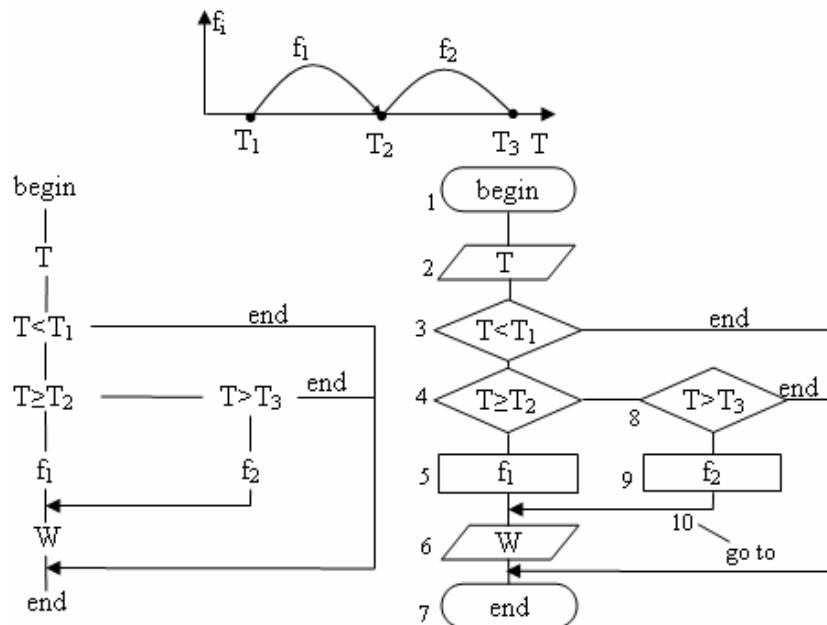


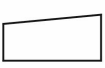
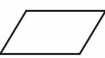
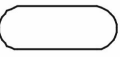
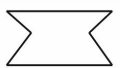
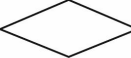
Рис. 6.9(г). Граф та блок-схема алгоритму.

Методологія побудови граф-алгоритмічної моделі.

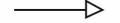
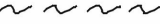
В таблиці 2 показані варіанти атрибутики та символіки МРД з врахуванням типів, які можуть бути основою державної стандартизації та створення ДСТУ на основі ГОСТ 19.003.80 каналів зв'язку при побудові моделей руху даних.

Таблиця 2

Умовні позначення руху даних

№ п/п	Позначення	Зміст позначення			
1		Неавтономна пам'ять	17		Конкретизований процес
2		Автономна пам'ять	18		Ручна операція
3		Тверда копія документа	19		Допоміжна операція
4		Звуковий ввід/вивід	20		Ручний ввід
5		Мишка	21		Оптичний канал
6		Магнітно оптичний диск	22		Ввід/ вивід
7		Магнітна дискета	23		Пуск/зупинка
8		Оптичний диск	24		Ручний документ
9		Магнітний диск	25		Оператор
10		Архів	26		Джерело-приймач
11		Магнітна карта	27		Злиття
12		Модем	28		Виділення
13		Дисплей	29		Групування
14		Процес	30		Сортування
15		Рішення	31		Сторінковий з'єднувач
16		Модифікація	32		Міжсторінковий з'єднувач

Продовження таблиці 2

33		Безпосередня передача	49		Інфрачервоний канал зв'язку
34		Інформаційний потік	50		Волоконно-оптичні лінії зв'язку
35		Дублювання передачі	51		Степінь використання лінії зв'язку $C=0.1, 0.2, \dots, 1.0$
36		Канал зв'язку	52		Джерело з інтерактивним управлінням
37		Матеріальний потік	53		Інтерактивно-керований пункт обробки даних
38		Розшифрування	54		Інтерактивно-керований пункт приймання даних
39		Кодування	55		Джерело міжрівневих зв'язків
40		Копіювання	56		Пункт приймання з міжрівневими зв'язками
41		Автономна обробка	57		Пункт обробки з міжрівневими зв'язками
42		Інтернет	58		Джерело з ознаками використання ресурсів
43		Мобільний зв'язок	59		Пункт обробки з ознаками використання ресурсів
44		Супутниковий зв'язок	60		Пункт приймання з ознаками використання ресурсів
45		Зверх високочастотний зв'язок	61		Неінтерактивне джерело
46		Зворотній зв'язок інтерактивного управління	62		Пункт обробки даних
47		Езернет – 10 Мбіт/с	63		Незалежний приймач
48		Езернет – 100 Мбіт/с	64		Залежний приймач

Побудова граф-алгоритмічної моделі (ГАМ) виконується у вигляді змістовного символічного графу, який будується згідно архітектури зв'язків ММРД з символікою типів операцій формування обробки, приймання та зберігання даних. Побудова даної моделі виконується зверху – вниз для кожного джерела та приймача, який розміщений на відповідних об'єктах.

Приклад побудови граф-алгоритмічної моделі на основі матричної моделі показано на рис.6.11

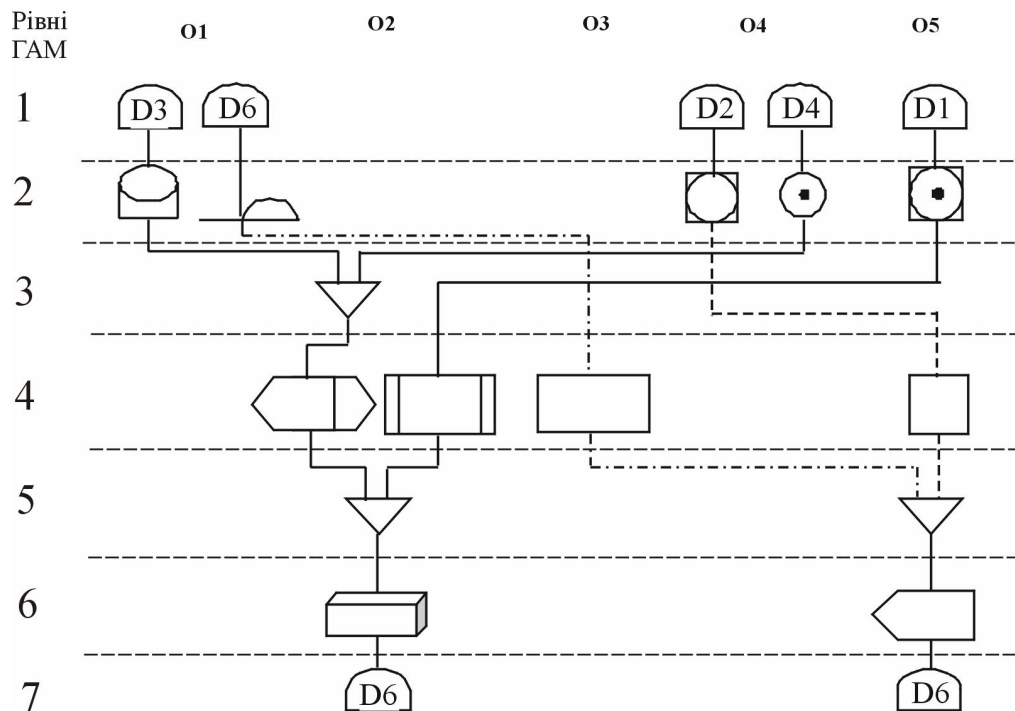


Рис.6.11 -- Граф-алгоритмічна модель

З рис.6.11 видно, що в першому підрозділі розміщені 2 джерела інформації, які формують дані типу D3 і D6. Відповідно в підрозділах 04 та 05 розміщені джерела інформації, що формують дані типу D2, D4 та D1, що представлені на першому рівні ГМ. На другому рівні розміщена група символів при поширенні граф-алгоритмічної моделі вниз демонструє фізичні носії даних, згідно номерів в нижній лівій частині елемента матричної моделі, які відповідають таблиці стандартизованих символів МРД (табл. 2). На 3 та 5 рівнях ГМ показані символи об'єднання інформаційних потоків в комп'ютерній мережі з демонстрацією позначень різних типів каналів зв'язку. На 4 та 6 рівнях ГМ – символи типів операцій, які задаються відповідними номерами в ММ в нижній лівій частині елементів, які відповідають пунктам обробки та затвердження операції. На 7 рівні показані символи приймачів інформації, які розміщені в підрозділах 02 та 05. Показаний рівень ГМ може бути представлений відповідною архітектурою

більш низького рівня ГАМ (наприклад, підприємство – цех, цех – технологічна установка, технологічна установка – оператор).

Отже, недоліком однорівневих ГАМ є невизначеність інформаційного та апаратно-програмного забезпечення пунктів формування, обробки та затвердження ТЕД. Тому доцільним та перспективним є розробка інформаційної технології побудови багаторівневих ГАМ, які б конкретизували структуру, інформаційне та програмно-апаратне забезпечення елементів високих рівнів ММ.

ЛЕКЦІЯ 7

МОДЕЛІ РУХУ ДАНИХ БАГАТОРІВНЕВИХ СКС

Багаторівнева матрична модель СКС.

У світовій практиці архітектура дистрибутивних розподілених систем реального часу, які призначені для контролю та управління технологічними об'єктами на промислових підприємствах переважно має три вложення. Тобто такий клас систем належить до розширених мереж Петрі, в яких реалізований принцип агрегації (наявність підсистем) (рис.7.1).

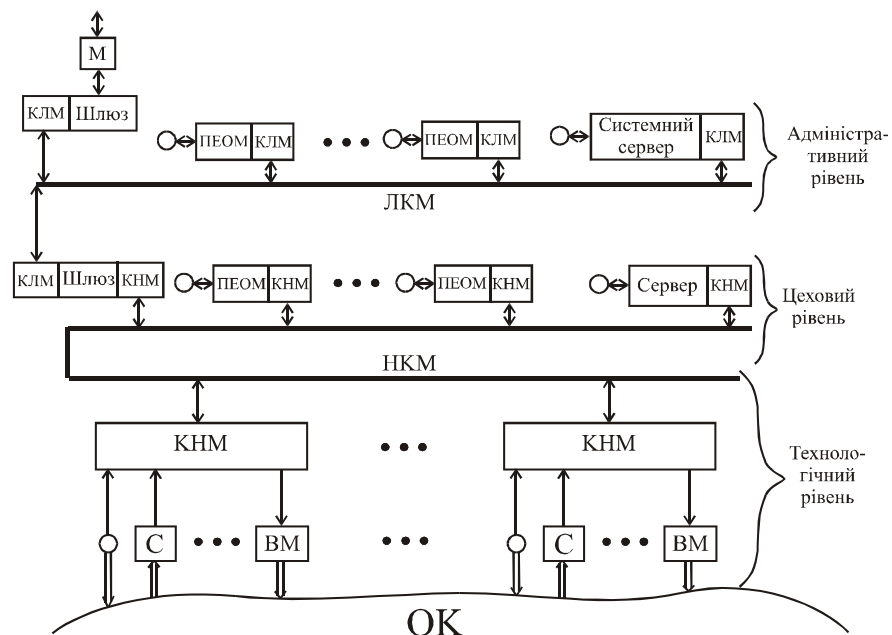
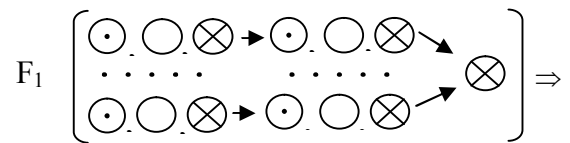


Рис. 7.1. Трирівнева магістральна архітектура СКС: ОК – об'єкт керування; С – сенсор; ВМ – виконавчий механізм; КНМ – контролер низової

мережі; М – модем; О – оператор; КЛМ – контролер локальної мережі; НКМ – низова комп’ютерна мережа; ЛКМ – локальна комп’ютерна мережа.

В узагальненій архітектурі руху даних багаторівневої СКС



атрибут багаторівневої структури а) - $\otimes \rightarrow \odot$ символізує інформаційний зв’язок між приймачами та джерелами різних рівнів архітектури СКС, тобто приймач даних більш низького рівня є джерелом даних для джерела більш

високого рівня КС, а атрибут б) - $\begin{array}{c} \otimes \rightarrow \otimes \\ \vdots \rightarrow \otimes \end{array}$ демонструє об’єднання потоків даних залежних приймачів на входах незалежного приймача. При чому ці атрибути можуть реалізовуватися на одному або на різних рівнях СКС.

Реалізація такої архітектури руху даних в багаторівневих СКС потребує відповідної диференціації активних елементів МРД.

Вдосконалення функціоналу F2 методу формування даних в багаторівневих СКС полягає в сумісному кодуванні технологічних даних $X(t)$ та ТЕД $X(t) + ТЕД$ на основі використання теоретичних положень базису Крестенсона, що дозволяє перетворити багатоканальну систему контролю технологічних даних та потік даних ТЕД в одноканальний біт-орієнтований потік СД, в якому одночасно реалізується захист від помилок шляхом введення додаткового модуля.

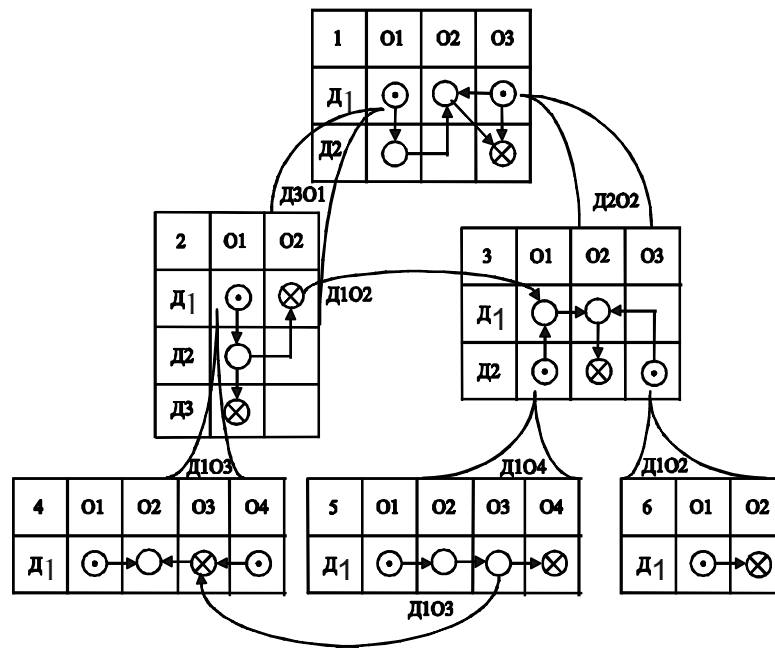
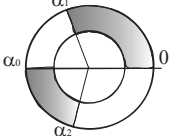
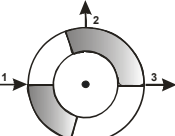
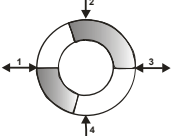
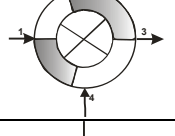
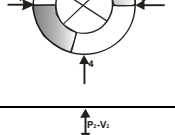
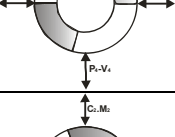
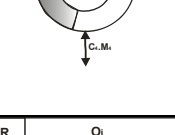
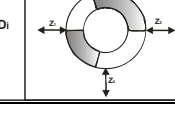


Рис.7.2. Трирівнева (агрегативна) МРД.

При цьому, як видно з рис. 7.2, дана МРД, яка відображає структуру руху даних у трирівневій розподіленій комп'ютеризованій системі (рис.7.1) належить до класу ієрархічно-мережевих архітектур, тобто дозволяє організацію інформаційних зв'язків не тільки між підсистемами різних рівнів, але й підсистемами одного рівня типу 5.Д1О3-4.Д1О3 та 2.Д1О2-3.Д1О1. Крім того, як видно з рис. 7.2, вказані інформаційні зв'язки на відповідних рівнях комп'ютерної системи можуть організовуватися між залежними приймачами інформації та пунктами обробки даних, а інформаційні зв'язки різних рівнів організовуються між залежними приймачами та джерелами інформації відповідних вищих рівнів. Наприклад: 4.Д1О3-2.Д1О1; 5.Д1О4-3.Д2О1; 6.Д1О2-3.Д2О3; 2.ДЗО1-1.Д1О1 та 3.Д2О2-1.Д1О3.

Існуюча організація руху даних в однорівневих та багаторівневих МРД характеризується рядом функціональних обмежень, зокрема, відсутністю врахування ступеня використання ресурсів, диференціації форм документів та собівартісних характеристик руху даних в активних вузлах системи. Дана задача успішно вирішується подальшим розширенням атрибутів МРД, які представлені в табл. 7.1.

Таблиця 7.1

Символ атрибута багаторівневої диференційованої матричної моделі руху даних (БДММРД)	Пояснення
	$\alpha_0 = 180^\circ$ - ресурс записів даних; $0 \leq \alpha_1 \leq 180^\circ$ - ступінь використання ресурсів записів даних; $180^\circ \leq \alpha_2 \leq 360^\circ$ - ступінь використання ресурсів зчитування; α_3 - ресурси зчитування даних.
	$k=1,2,3,4$ відповідні напрямки руху диференційованих потоків даних джерела інформації;
	$k=1,2,3,4$ відповідні напрямки руху диференційованих потоків даних пункту обробки інформації
	Залежний приймач, де $k=1,2,3,4$ відповідні напрямки приймання даних, один з яких є напрямком формування даних.
	Незалежний приймач, де $k=1,2,3,4$ відповідні напрямки приймання даних;
	$P - V = \sum_{k=1}^4 P_k - \sum_{k=1}^4 V_k$, де відповідно $P - V$ - сумарні, а $P_k - V_k$ - диференційовані прибутки та витрати
	C_k - відповідні диференційовані типи фізичних носіїв інформації або ліній передавання даних; M_k - відповідні диференційовані типи документів, алгоритмів обробки даних, моделей об'єктів згідно відповідних класифікацій.
	$z_i \Rightarrow C_k \cdot M_k (P_k - V_k)$

Таким чином, на основі введених атрибутів БДММРД кожен активний елемент даної моделі описується функціоналом:

$$R.Z_k = R.D_i.O_j.a.b.C_k.M_k.d_k(P_k - V_k), \quad (7.1)$$

де R – номер підсистеми; D_iO_j – ідентифікатор активного вузла ММ підсистеми КС; $a.b.$ – часові параметри початку та тривалості виконання операції; C_k – тип носія, операції та каналу передавання даних; M_k – тип моделі джерела інформації, документа, алгоритму обробки даних; d_k – час передавання інформації; P_k-V_k – відповідна диференційована собівартість руху даних.

На рис.7.3 приведений приклад формалізованого подання БДММРД на основі атрибутів табл. 7.1.та структури рис.7.2.

У функціоналі (7.1) параметри C_k та M_k вибираються з відповідних класифікаторів і використовуються для побудови похідної багаторівневої граф-алгоритмічної моделі у СКС.

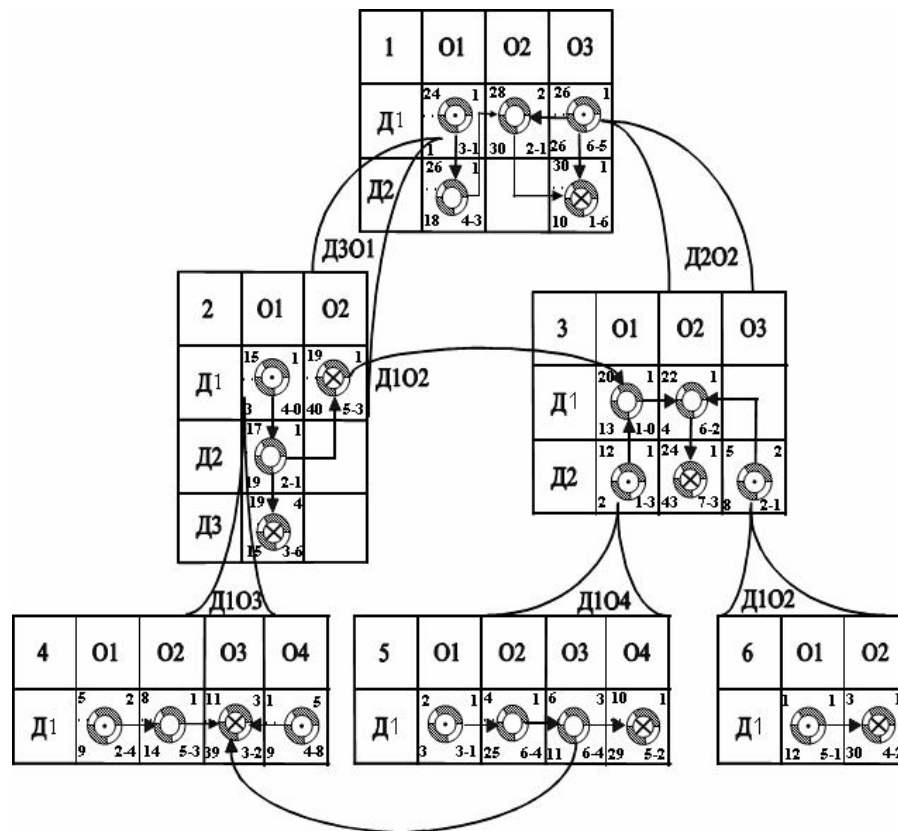


Рис.7.3. Трирівнева модифікована матрична МРД.

Процедура діалогу оператора по проектуванню та розрахунку характеристик руху даних на основі БДММРД повинна включати можливість його взаємодії з різними агрегатами, які відповідають підсистемам КС (рис.7.4).

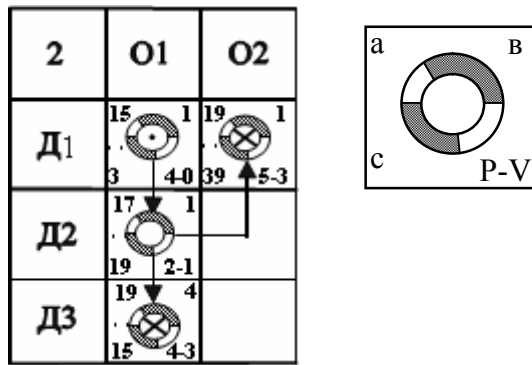


Рис.7.4. Агрегати різних рівнів БДММРД

Кожна підсистема МРД описується списком ідентифіковано-диференційованих даних кожного атрибута БДММРД всіх її активних вузлів згідно рис.7.3:

$$\begin{aligned}
 &6.Д1.О1.а.б.С_3.М_3.д_3.(P_3-V_3); \\
 &6.Д1.О2.а.б.С_2.М_2.д_2.(P_2-V_2); \\
 &5.Д1.О1.а.б.С_3.М_3.д_3.(P_3-V_3); \\
 &5.Д1.О2.а.б.С_3.М_3.д_3.(P_3-V_3); \\
 &5.Д1.О3.а.б.С_3.М_3.д_3.(P_3-V_3); \\
 &5.Д1.О3.а.б.С_4.М_4.д_4.(P_4-V_4); \\
 &5.Д1.О4.а.б.С_2.М_2.д_2.(P_2-V_2); \\
 &4.Д1.О1.а.б.С_3.М_3.д_3.(P_3-V_3); \\
 &4.Д1.О2.а.б.С_3.М_3.д_3.(P_3-V_3); \\
 &4.Д1.О3.а.б.С_2.М_2.д_2.(P_2-V_2); \\
 &4.Д1.О4.а.б.С_1.М_1.д_1.(P_1-V_1); \\
 &3.Д1.О1.а.б.С_3.М_3.д_3.(P_3-V_3); \\
 &3.Д1.О2.а.б.С_4.М_4.д_4.(P_4-V_4); \\
 &3.Д2.О1.а.б.С_2.М_2.д_2.(P_2-V_2); \\
 &3.Д2.О2.а.б.С_2.М_2.д_2.(P_2-V_2); \\
 &3.Д2.О3.а.б.С_2.М_2.д_2.(P_2-V_2); \\
 &2.Д1.О1.а.б.С_4.М_4.д_4.(P_4-V_4); \\
 &2.Д1.О2.а.б.С_3.М_3.д_3.(P_3-V_3); \\
 &2.Д2.О1.а.б.С_3.М_3.д_3.(P_3-V_3);
 \end{aligned}$$

(7.2)

$2.D2.O1.a.b.C_4.M_4.d_4.(P_4-V_4);$

$2.D3.O1.a.b.C_2.M_2.d_2.(P_2-V_2);$

$1.D1.O1.a.b.C_4.M_4.d_4.(P_4-V_4);$

$1.D1.O2.a.b.C_4.M_4.d_4.(P_4-V_4);$

$1.D1.O3.a.b.C_1.M_1.d_1.(P_1-V_1);$

$1.D2.O1.a.b.C_3.M_3.d_3.(P_3-V_3);$

$1.D2.O3.a.b.C_0.M_0.d_0.(P_0-V_0);$

Розроблена формалізація атрибутів багаторівневих двовимірних модифікованих МРД суттєво розширює можливості проектування реальних промислових СКС, а також функціональні характеристики за рахунок диференціації документопотоків ТЕД та СД, а також відповідної диференціації циклів руху даних з врахуванням типів фізичних носіїв, каналів передавання даних, моделей джерел інформації, алгоритмів цифрової обробки даних, методів архівації та умов використання даних.

Цикли руху даних багаторівневих СКС.

Одним з найважливіших завдань розробки, впровадження та супроводження експлуатації розподіленої комп'ютерної системи є обґрунтування ефективності використання інформаційного, програмного та технічного забезпечення. При цьому оцінка ефективності використання СКС проводиться у декілька етапів.

На першому етапі показником ефективності використання інформаційної системи служить відносна трудомісткість процесу виконання типових операцій при існуючих і раціональних технологіях роботи підприємства.

На другому етапі оцінки ефективності необхідно визначити кількість типових операцій, які можна додатково виконати за одиницю часу відносно кількості виконуваних типових операцій при існуючих технологіях роботи та засобах комп'ютеризації.

Третій етап оцінки пов'язаний з визначенням терміну окупності витрат на розробку та експлуатацію СКС.

Оцінка ефективності використання СКС має важливе значення при прийнятті рішення про вибір системного проекту і дозволяє визначити:

- як зміниться ефективність роботи основних підрозділів при перерозподілі функцій між підрозділами порівняно з існуючим варіантом розподілу функцій;
- скільки операцій додатково можна буде виконати при впровадженні нових раціональних технологій роботи з врахуванням ступені використання ресурсів КС;
- за скільки часу можна окупити вкладені кошти у розробку інформаційної системи, яка здійснює автоматизовану підтримку раціональних технологій роботи структурних підрозділів.

При цьому отримання числових характеристик проектованої або діагностованої відносно оцінки ефективності однорівневих КС може бути досягнуто шляхом побудови повної системи циклів руху даних, які відображають всі шляхи руху даних від джерел до приймачів інформації для прикладу багаторівневої архітектури КС, представленої ММ (рис.7.3):

Існуюча технологія побудови циклів руху даних орієнтованих для однорівневих КС, адекватно описує СКС у вигляді МРД, представленої на рис.7.3, оскільки приведена реалізація моделі не містить елементів розгалуження інформаційних потоків. При спробі побудувати повну систему циклів руху даних для МРД, які містять розгалуження інформаційних потоків, тобто їх диференціацію, існуючий спосіб побудови циклів руху даних не враховує відповідну диференціацію прибутків і витрат при формуванні диференційованих по напрямках масивів даних у вигляді атрибуту P-V, що приводить до неадекватної завищеної інтегральної та глобальної оцінки собівартості руху даних в КС даного класу. Викладена в таблиці 7.1 формалізація атрибутів диференційованих потоків даних дозволяє розширити клас КС, ММ яких містять відповідні розгалуження (диференціацію) інформаційних потоків.

В результаті застосування запропонованого розширення атрибутів БДММРД досягнута можливість суттєвого підвищення точності оцінки собівартості руху диференційованих потоків даних в багаторівневих КС з розгалуженнями інформаційних потоків. При цьому, як видно з табл. 7.1, у випадку наявності k розгалужень в одному активному вузлі КС необхідно відповідно диференціювати потоки даних з числом не більше чотирьох в одному вузлі.

Повна система циклів руху даних БДММРД для реалізації моделі системи згідно рис.7.3 представлена на рис.7.5.

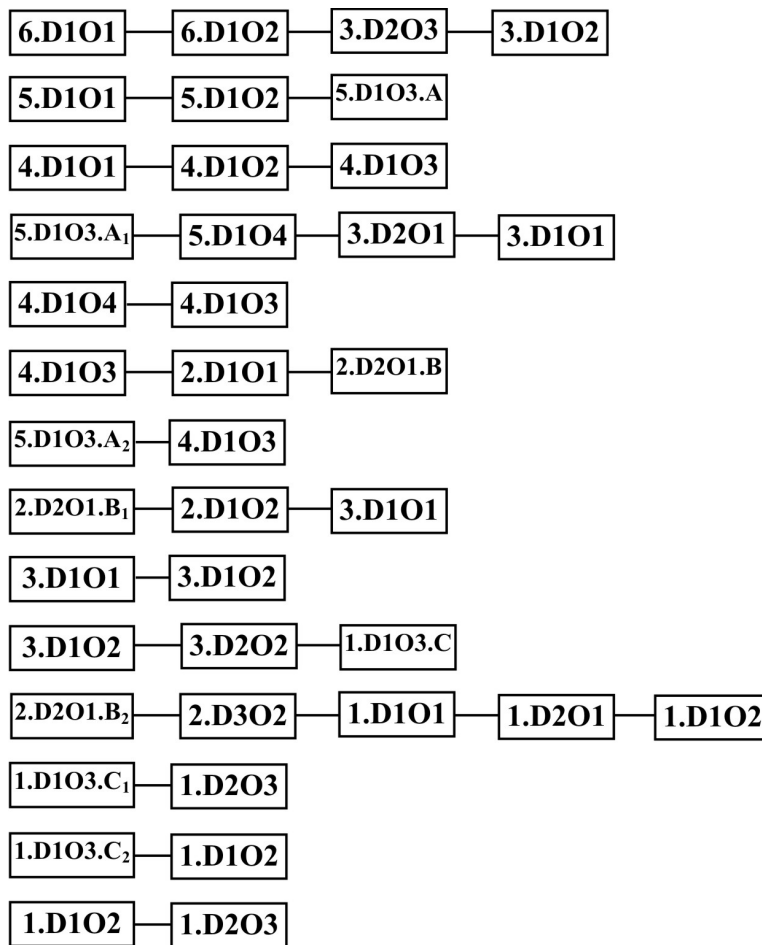


Рис.7.5. Цикли руху даних для багаторівневої ММРД.

Багаторівнева модель "граф – розгалужене дерево".

Формалізація багаторівневої МРД на прикладі моделі, представленої на рис.7.3 показана згідно функціонала $R.Z_k$ (7.1) системою рівнянь (7.2).

На рис. 7.6 показана багаторівнева модель "граф – розгалужене дерево", яка відповідає структурі рис.7.3. При цьому формалізація даної сукупності моделей "граф – розгалужене дерево" описується наступною системою рівнянь, яка розширює існуючий опис даної моделі:

$$\left. \begin{array}{l} 4.\bar{A}1.\hat{I}1 : \bar{A}1.\hat{I}2 \\ 4.\bar{A}1.\hat{I}4 \\ 5.\bar{A}1.\hat{I}1 : \bar{A}1.\hat{I}2 \end{array} \right\} \in 4.\bar{A}1.\hat{I}3;$$

$$5.D1.O1 : D1.O2 : D1.O3 \in 5.D1.O4;$$

$$6.\bar{A}1.\hat{I}1 \in 6.\bar{A}1.\hat{I}2;$$

$$4.D1.O3 : 2.D1.O1 : D2.O1 \in 2.D3.O1;$$

$$4.D1.O3 : 2.D1.O1 : D2.O1 \in 2.D1.O2;$$

$$\left. \begin{array}{l} 2.D1.O2 : 3.D1.O1 : D1.O2 \\ 5.D1.O4 : 3.D2.O1 : D1.O1 : D1.O2 \\ 6.D1.O2 : 3.D2.O3 : D1.O2 \end{array} \right\} \in 3.D2.O2;$$

$$\left. \begin{array}{l} 2.D3.O1 : 1.D1.O1 : D2.O1 : D1.O2 \\ 3.D2.O2 : 1.D1.O3 \\ 3.D2.O2 : 1.D1.O3 : D1.O2 \end{array} \right\} \in 1.D2.O3.$$

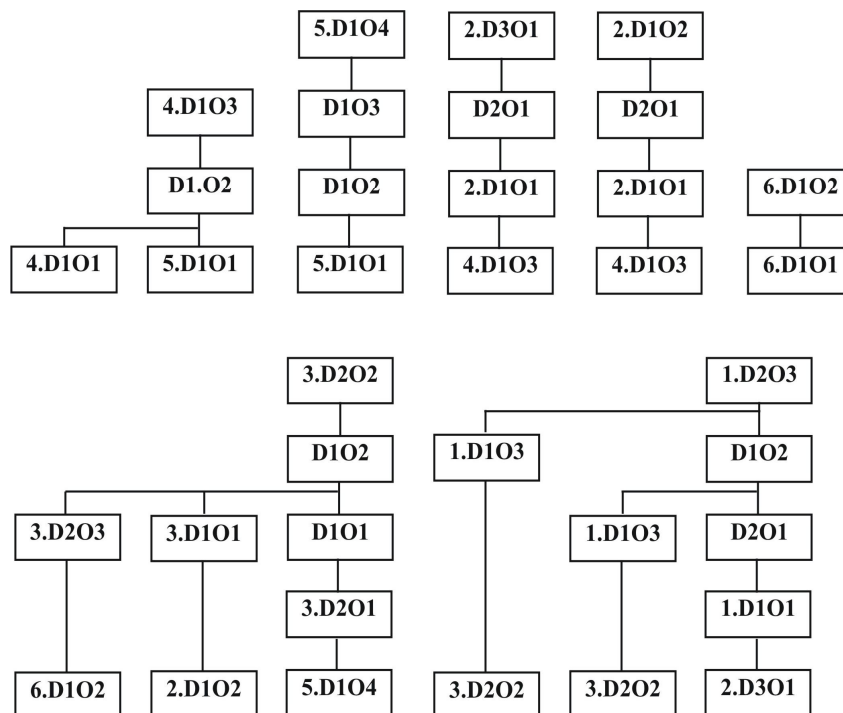


Рис.7.6. Компоненти багаторівневої моделі "граф – розгалужене дерево" для окремих приймачів інформаційних потоків.

Інтегрована модель "граф – розгалужене дерево".

Інтегрована модель "граф - розгалужене дерево" побудована на основі моделей рис.7.6 показана на рис.7.7.

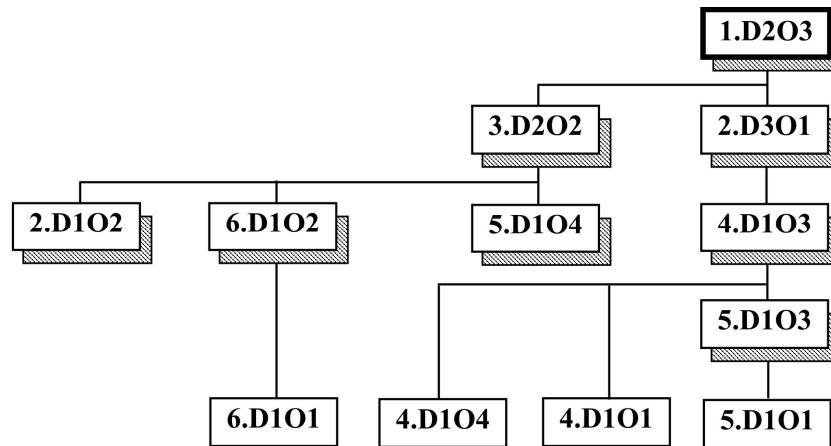


Рис.7.7. Інтегрована модель "граф - розгалужене дерево" багаторівневої СКС.

При побудові інтегрованої моделі "граф - розгалужене дерево" багаторівневої СКС запропоноване розширення атрибутів, які використовуються у відповідних моделях КС наступного типу (табл.7.2.):

Таблиця 7.2

Символ атрибута багаторівневої інтегрованої моделі "граф – розгалужене дерево"	Пояснення
1.DiOj	Вершина багаторівневої моделі "граф – розгалужене дерево", яка символізує глобальний незалежний приймач багаторівневої СКС, представлений генеральним адміністратором системи, архівом, базою даних та центральним сервером або комп'ютерним кластером.
K.DiOj	Залежний приймач k-го рівня системи, який виконує функції міжрівневого джерела інформації. - атрибут наявності структури підсистеми.
K.DiOj	Незалежне джерело інформації, яке представляє СД та моделі ОУ низового технологічного рівня КС, що формуються в реальному масштабі часу мікропроцесорними програмно-апаратними засобами (інтелектуальними та автономними сенсорами, БАЦП, мікроконтролерами та контролерами низових мереж).

Параметрична часова модель багаторівневої СКС.

Параметрична часова модель (рис.7.8) структурно демонструє необхідні інтервали проектного регламентного часу виконання системних операцій активними вузлами СКС, згрупованих по ознаках джерел, пунктів обробки та приймачів інформації. Дана модель використовується для розрахунку необхідних часових, апаратних або людино-машинних ресурсів для реалізації конкретних системних операцій в багаторівневій СКС.

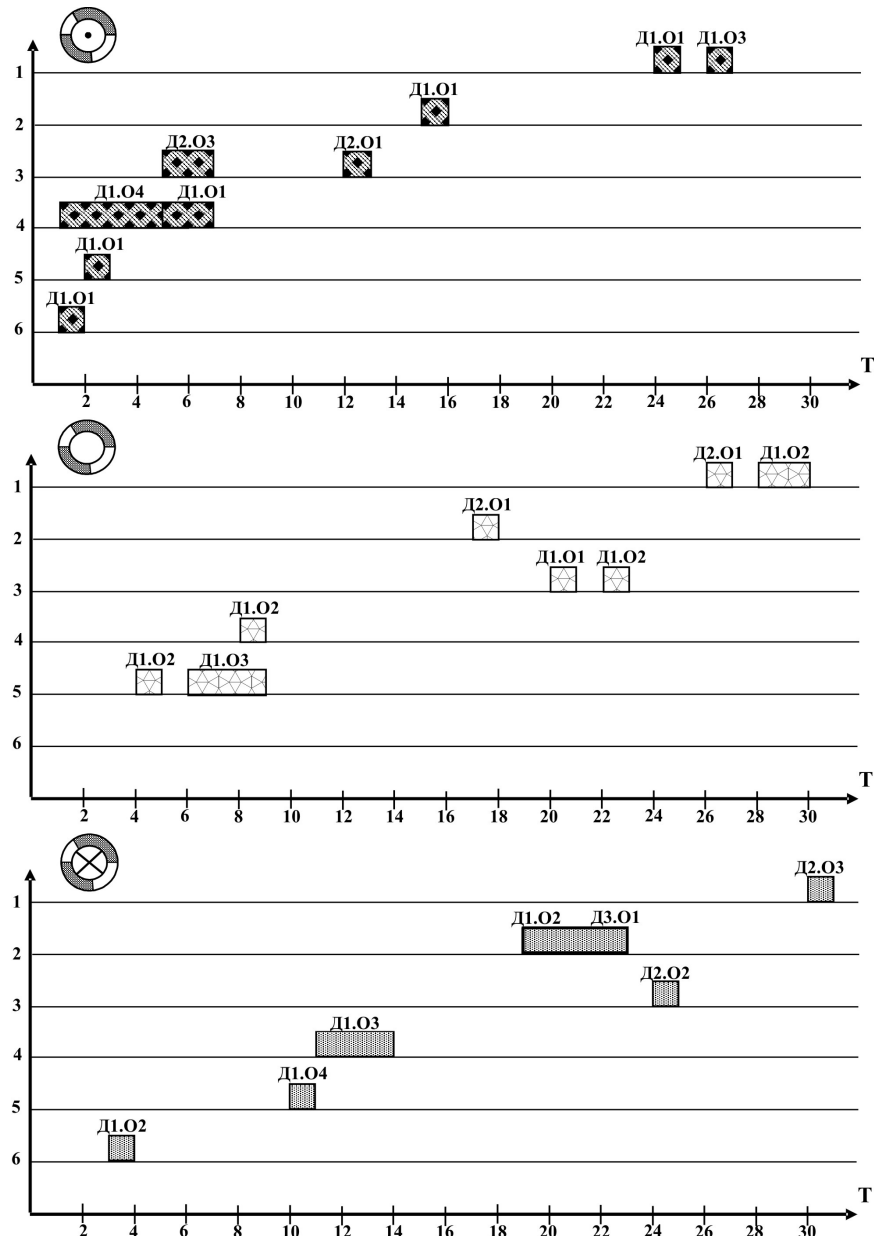


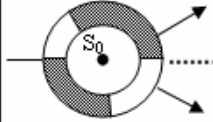
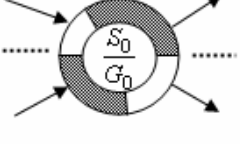
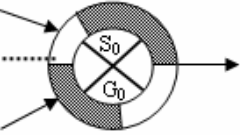
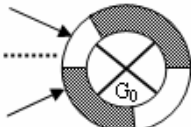
Рис.7.8. Параметрична часова модель багаторівневої СКС.

По відношенню до існуючих однорівневих параметричних часових моделей атрибути запропонованої багаторівневої параметричної часової

моделі БДМММРД:  представлені на рис.7.8, містять додаткову інформацію про сумарні ступені використання ресурсів активних вузлів СКС по запису та читанню інформаційних потоків згідно формул табл.7.1:

Параметри потенційних ресурсів активного вузла МРД повинні відповідати умовам несуперечливості згідно нерівностей, поданих у табл. 7.3 на основі атрибутів модифікованих МРД.

Таблиця 7.3

Тип вузла матричної моделі	Символ	Умова непротиворечивості
Джерело даних		$S_0 > \sum_{i=1}^n S_i$
Пункт обробки даних		$S_0 > \sum_{i=1}^n S_i$ $G_0 > \sum_{j=1}^m S_j$
Залежний приймач даних		$S_0 > \sum_{i=1}^n S_i$ $G_0 > \sum_{j=1}^m S_j$
Незалежний приймач даних		$G_0 > \sum_{j=1}^m S_j$

Формалізація параметричної часової моделі багаторівневої СКС виконується на основі ідентифікаторів активних вузлів БДММРД представлена наступним чином:

- 6.D1O1.1.b₁₁; D1O2.3.b₁₂;
- 5.D1O1.1.b₁₁; D1O2.2.b₁₂; D1O3.2.b₇; D1O4.3.b₁₄;
- 4.D1O1.1.b₁₁; D1O4.1.b₁₄; D1O2.2.b₁₂; D1O3.3.b₇;
- 3.D2O1.1.b₂₁; D2O3.1.b₂₃; D1O1.2.b₁₁; D1O2.2.b₁₂; D2O2.3.b₂₂;
2. D1O1.1.b₁₁; D2O1.2.b₂₁; D3O4.3.b₃₄; D1O2.3.b₁₂;
1. D1O1.1.b₁₁; D1O3.1.b₇; D2O1.2.b₂₁; D1O2.2.b₁₂; D2O3.3.b₂₃,

де символи 1, 2, 3 перед ідентифікатором часової тривалості виконання операцій b_{ij} , відповідно ідентифікують атрибути: джерело, пункт обробки та пункт приймання.

Впорядкована таблиця атрибутів згідно часової причинності формування даних джерелами інформації, обробки даних в активних вузлах системи та архівації і використання даних приймачами інформаційних потоків приведена до вигляду:

6.D1O1.1. b_{11} ;	5.D1O2.2. b_{12} ;	6.D1O2.3. b_{12} ;
5.D1O1.1. b_{11} ;	5.D1O3.2. b_7 ;	5.D1O4.3. b_{14} ;
4.D1O1.1. b_{11} ;	4.D1O2.2. b_{12} ;	4.D1O3.3. b_7 ;
4.D1O4.1. b_{14} ;	3.D1O1.2. b_{11} ;	3.D2O2.3. b_{22} ;
3.D2O1.1. b_{21} ;	3.D1O2.2. b_{12} ;	2.D3O4.3. b_{34} ;
3.D2O3.1. b_{23} ;	2.D2O1.2. b_{21} ;	2.D1O2.3. b_{12} ;
2.D1O1.1. b_{11} ;	1.D2O1.2. b_{21} ;	1.D2O3.3. b_{23}
1.D1O1.1. b_{11} ;	1.D1O2.2. b_{12} ;	
1.D1O3.1. b_7 ;		

Згідно ідентифікаторів активних вузлів багаторівневої МРД побудована відповідна параметрична часова модель.

Таким чином, розроблена вдосконалена формалізація та технологія побудови параметричних часових моделей багаторівневих СКС суттєво покращує її інформаційні характеристики, в тому числі враховує новий, по відношенню до існуючих моделей, параметр інтегрального використання часових ресурсів в активних вузлах МРД, а також враховує часові зміщення термінів формування, обробки та використання даних в багаторівневих СКС.

Структурно-часова модель багаторівневої СКС.

Формалізація параметрів структурно-часової моделі для багаторівневої СКС, представлена на рис.7.3, записується у вигляді логічного рівняння:

$$D_i O_{j.1} : D_i O_{j.2} \wedge (D_i O_{j.1} \wedge \dots D_i O_{j.2} : D_i O_{j.2}) : D_i O_{j.3} : D_i O_{j.3},$$

де $\wedge$ - символ кон'юнкції Булевої алгебри логіки.

Структурно-часова модель багаторівневої СКС описується логічним рівнянням (7.3) та системою рівнянь, яка відображає диференційовані цикли руху даних (7.4). Дана модель (рис.7.9) відображає часову послідовність (причинність) системних функцій в активних вузлах БММРД і дозволяє на стадії проектування або модернізації СКС розкрити часові неузгодження руху даних та скоректувати ресурси мережі відповідно з вдосконаленою структурою руху даних.

$$\begin{aligned}
 & (6.D1O1.1:6.D1O2.3:3.D2O3.1 \wedge (5.D1O1.1:5.D1O2.2:5.D1O3.2.A_1 : \\
 & :5.D1O4.3:3.D2O1.1) \wedge (5.D1O3.2.A \wedge 4.D1O1.1:4.D1O2.2 \wedge 4.D1O4.1) : \\
 & :4.D1O3.3:2.D1O1.1:2.D2O1.2.B:3.D1O2.3)) : 3.D1O1.2) : 3.D1O3.2 : \\
 & :3.D2O3.3:1.D1O3.1.C \wedge (2.D2O1.2.B:2.D3O2.3:1.D1O1.1:1.D2O1.2) : \\
 & :1.D1O2.2 \wedge 1.D1O3.1.C : 1.D2O3.3.
 \end{aligned} \tag{7.3.}$$

$$\begin{aligned}
 & (6.D1O1.1.a_{11} : 6.D1O2.3.a_{12} : 3.D2O3.1.a_{23} : 3.D1O2.2.a_{12}) \wedge 3.D1O1.2.a_{12}; \\
 & 5.D1O1.1.a_{11} : 5.D1O2.2.a_{12} : 5.D1O3.2.a_{13}; \\
 & (5.D1O3.2.a_{13}.A_2 \wedge 4.D1O1.1.a_{11} : 6.D1O2.2.a_{12} \wedge 4.D1O4.1.a_{14}) : 4.D1O3.3.a_{13}; \\
 & (5.D1O3.2.a_{13}.A_1 : 5.D1O4.3.a_{14} : 3.D2O1.1.a_{11}) \wedge \\
 & \wedge (2.D2O1.2.a_{21}.B_1 : 3.D1O2.3.a_{12}) : 3.D1O1.1.a_{11}; \\
 & (3.D1O2.2.a_{12} : 3.D2O2.3.a_{22} : 1.D1O3.1.a_{13}.C; \\
 & (2.D2O1.2.a_{21}.B_2 : 2.D3O2.3.a_{32} : 1.D1O1.1.a_{11} : 1.D2O1.2.a_{21}) \wedge \\
 & \wedge 1.D1O3.1.a_{13}.C_2 : 1.D1O2.2.a_{12} : 1.D1O2.2.a_{12}; \\
 & 1.D1O3.1.a_{13}.C_1 \wedge 1.D1O2.2.a_{12} : 1.D2O2.3.a_{23}.
 \end{aligned} \tag{7.4}$$

В приведеній на рис.7.9 багаторівневій структурно-часовій моделі запропоновано використати модифіковану систему атрибутів вершин, яка дозволяє в значній мірі покращити ергономічну якість відображення злиття та розгалуження інформаційних потоків в СКС з ідентифікацією конкретних атрибутів МРД типу джерело інформації, пункт обробки та пункт приймання даних у відповідних в активних вузлах БММРД.

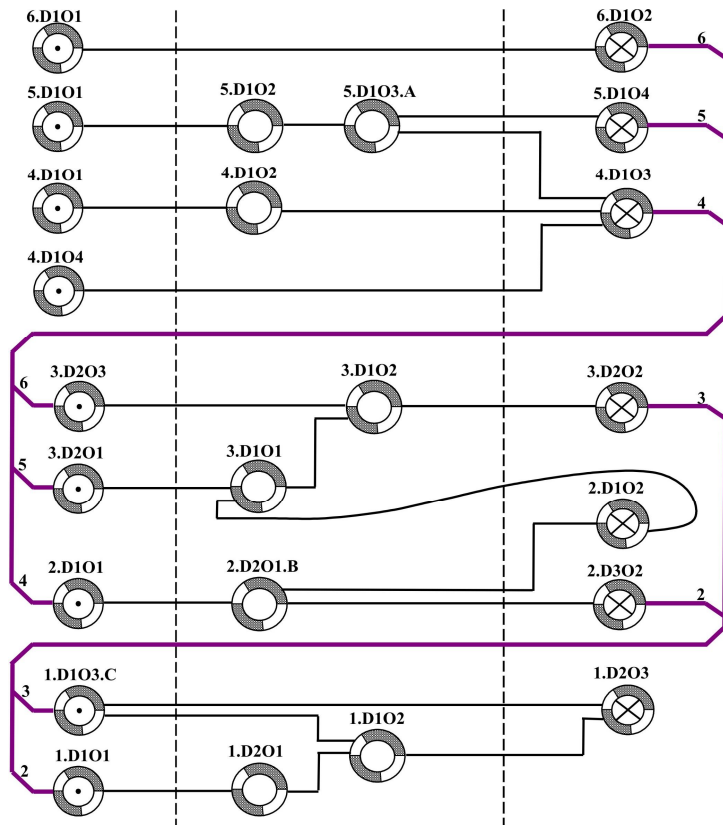


Рис.7.9. Структурно-часова модель багаторівневої СКС.

Дослідження ефективності способу представлення багаторівневих структурно-часових моделей по відношенню до існуючих методів, подано в розділі 7.12.

Багаторівнева модель "мережевий графік".

Формалізація багаторівневої моделі "мережевий графік" (рис.7.10) виконується згідно з існуючою методикою побудови описується масивом ідентифікаторів початку виконання операцій в активних вузлах моделі (7.5) та впорядкованою таблицею активних атрибутів з ознакою початку виконання операції на різних рівнях СКС (7.6):

$$\begin{aligned}
 &6.D1O1.1.a_{11}; D1O2.3.a_{12}; \\
 &5.D1O1.1.a_{11}; D1O2.2.a_{12}; D1O3.2.a_7; D1O4.3.a_{14}; \\
 &4.D1O1.1.a_{11}; D1O4.1.a_{14}; D1O2.2.a_{12}; D1O3.3.a_7; \\
 &3.D2O1.1.a_{21}; D2O3.1.a_{23}; D1O1.2.a_{11}; D1O2.2.a_{12}; D2O2.3.a_{22}; \quad (7.5) \\
 &2. D1O1.1.a_{11}; D2O1.2.a_{21}; D3O2.3.a_{34}; D1O2.3.a_{12}; \\
 &1. D1O1.1.a_{11}; D1O3.1.a_7; D2O1.2.a_{21}; D1O2.2.a_{12}; D2O3.3.a_{23}.
 \end{aligned}$$

$$\begin{array}{lll}
6.D1O1.1.a_{11}; & 5.D1O2.2.a_{12}; & 6.D1O2.3.a_{12}; \\
5.D1O1.1.a_{11}; & 5.D1O3.2.a_7; & 5.D1O4.3.a_{14}; \\
4.D1O1.1.a_{11}; & 4.D1O2.2.a_{12}; & 4.D1O3.3.a_7; \\
4.D1O4.1.a_{14}; & 3.D1O1.2.a_{11}; & 3.D2O2.3.a_{22}; \\
3.D2O1.1.a_{21}; & 3.D1O2.2.a_{12}; & 2.D3O2.3.a_{32}; \\
3.D2O3.1.a_{23}; & 2.D2O1.2.a_{21}; & 2.D1O2.3.a_{12}; \\
2.D1O1.1.a_{11}; & 1.D2O1.2.a_{21}; & 1.D2O3.3.a_{23}. \\
1.D1O1.1.a_{11}; & 1.D1O2.2.a_{12}; & \\
1.D1O3.1.a_7; & &
\end{array} \quad (7.6)$$

Таблиця диференційованих направлених бінарних зв'язків від джерел до приймачів:

$$\begin{array}{ll}
6.D1O1.1.a_{11}: 6.D1O2.2.a_{12}; & \\
5.D1O1.1.a_{11}: 5.D1O2.2.a_{12}; & 3.D2O2.3.a_{22}: 3.D1O2.2.a_{12}; \\
4.D1O1.1.a_{11}: 4.D1O2.2.a_{12}; & 3.D2O1.1.a_{21}: 3.D1O1.2.a_{11}; \\
4.D1O4.1.a_{14}: 4.D1O3.3.a_7; & 2.D1O1.1.a_{11}: 2.D2O1.2.a_{21}; \\
5.D1O2.2.a_{12}: 5.D1O3.2.a_7.A_1; & 3.D1O1.2.a_{11}: 3.D1O2.2.a_{12}; \\
5.D1O3.2.a_7.A_1: 5.D1O4.3.a_{14}; & 3.D1O2.2.a_{12}: 3.D2O2.3.a_{22}; \\
5.D1O3.2.a_7.A_2: 4.D1O3.3.a_7; & 3.D1O2.2.a_{12}: 3.D1O1.2.a_{11}; \\
4.D1O2.2.a_{12}: 4.D1O3.3.a_7; & 2.D2O1.2.a_{21}.B_1: 3.D1O2.2.a_{12}; \\
6.D1O2.3.a_{12}: 3.D2O3.1.a_{23}; & 2.D2O1.2.a_{21}.B_2: 2.D3O2.3.a_{32}; \\
5.D1O4.3.a_{14}: 3.D2O1.1.a_{21}; & 3.D2O2.3.a_{22}: 1.D1O3.1.a_7.C; \\
4.D1O3.3.a_7: 2.D2O1.2.a_{21}; & 2.D3O2.3.a_{32}: 1.D1O1.1.a_{11}; \\
\\
1.D1O3.1.a_7.C_1: 1.D2O3.3.a_{23}; & 1.D2O1.2.a_{21}: 1.D1O2.2.a_{12}; \\
1.D1O3.1.a_7.C_2: 1.D1O2.2.a_{12}; & 1.D1O2.2.a_{12}: 1.D2O3.3.a_{23}. \\
1.D1O1.1.a_{11}: 1.D2O1.2.a_{21}; &
\end{array}$$

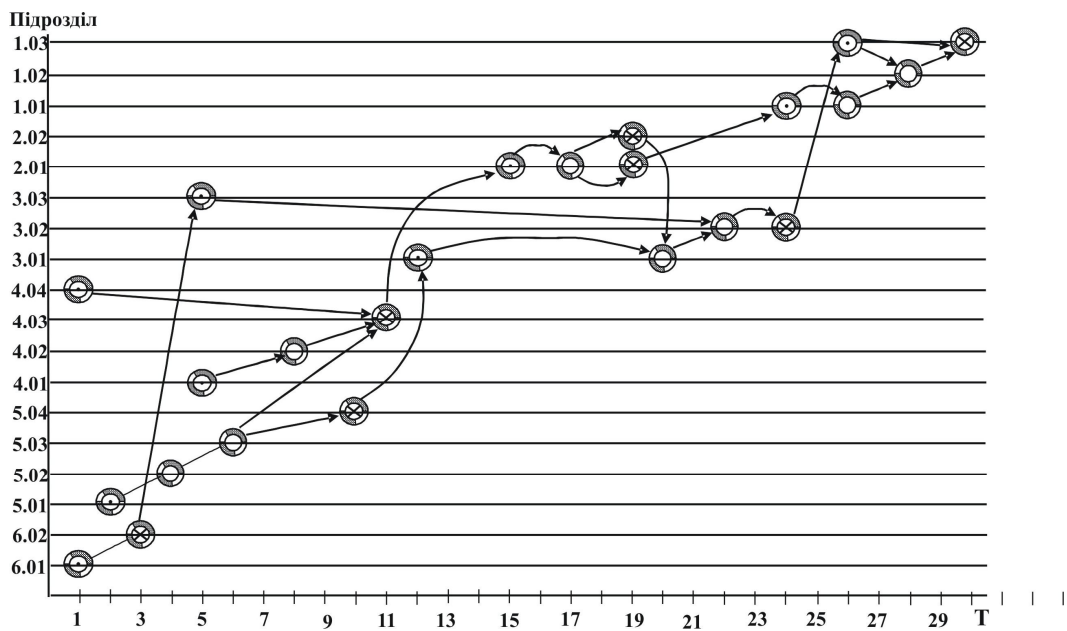


Рис.7.10. Модель "мережевий графік" руху даних багаторівневої СКС.

По відношенню до існуючої методики побудови моделі – "мережевий графік" однорівневої СКС в математичному описі даної моделі багаторівневих СКС вилучена таблиця направлених зв'язків від джерел до приймачів, оскільки вона може бути адекватно представлена для простих архітектур СКС, а при зростанні складності архітектури, особливо для багаторівневих СКС, число таких шляхів мультиплікативно-комбінаторно зростає в залежності від сумарного числа джерел, проміжних пунктів розгалуження та об'єднання інформаційних потоків та сумарного числа приймачів інформації. Крім того, новизна запропонованого представлення моделі "мережений графік" полягає у використанні атрибутів ММРД , які несуть додаткову інформацію про ступінь використання ресурсів в активних вузлах КС. Оцінка графа структурної складності такої моделі, у порівнянні з іншими моделями, приведена в розділі 7.12.

Модель "суміщений часовий граф" багаторівневої СКС.

Формалізація багаторівневої моделі "суміщений часовий граф" описується функціоналом (7.7) та представлена на рис.7.11.

$$f_i = K.D_i O_j .d.(a_{ij} + b_{ij}), \quad (7.7)$$

де K – номер рівня СКС; D_iO_j – ідентифікатор активного вузла БММРД; d – ідентифікатор джерела, пункту обробки та пункту приймання даних; a_{ij} , b_{ij} – відповідно початок та тривалість виконання системних функцій f_i .

Реалізація моделі "суміщений часовий граф" та таблиця ідентифікаторів функції f_i згідно функціоналу (7.7) для багаторівневої СКС (рис.7.3) приведена на рис.7.11.

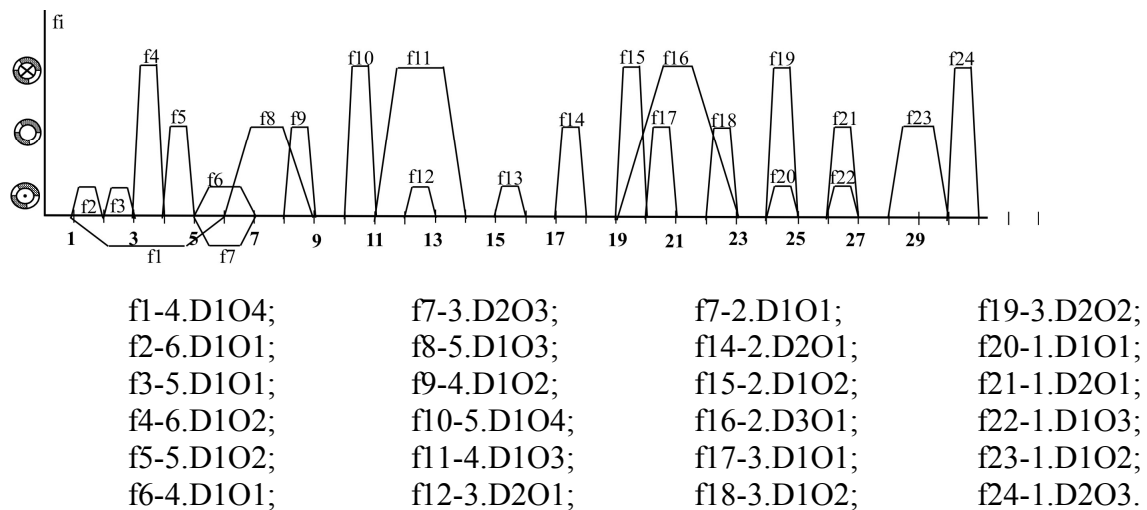


Рис.7.11. Модель "суміщений часовий граф" руху даних багаторівневої СКС.

Розроблена формалізація та графічне представлення даної моделі для багаторівневих СКС характеризується новизною, підвищеною інформативністю та розширеними функціональними можливостями, суть якої полягає в тому, що в моделі проведена диференціація системних операцій згідно ідентифікатора d , який визначає тип активного вузла архітектури СКС. Це дозволяє підвищити коректність та достовірність аналізу адекватності даної моделі реальній архітектурі проектованої СКС.

Модель "блок-схема алгоритму" руху даних багаторівневої СКС

Модель блок-схеми алгоритму обробки даних для БДММРД будується згідно системи нерівностей.

$$f_{i,1} = \begin{cases} f_{1,1} < T < 6; \\ f_{2,1} < T < 2; \\ f_{3,2} < T < 3; \\ f_{6,5} < T < 7; \\ f_{7,5} < T < 7; \\ f_{12,12} < T < 13; \\ f_{13,15} < T < 16; \\ f_{20,24} < T < 25; \\ f_{22,26} < T < 27; \end{cases} \quad f_{i,2} = \begin{cases} f_{5,4} < T < 5; \\ f_{8,6} < T < 9; \\ f_{9,8} < T < 9; \\ f_{14,17} < T < 18; \\ f_{17,20} < T < 21; \\ f_{18,22} < T < 23; \\ f_{21,26} < T < 27; \\ f_{23,28} < T < 30; \end{cases} \quad f_{i,3} = \begin{cases} f_{4,3} < T < 4; \\ f_{10,10} < T < 11; \\ f_{11,11} < T < 14; \\ f_{15,19} < T < 20; \\ f_{16,19} < T < 23; \\ f_{19,24} < T < 25; \\ f_{24,30} < T < 31. \end{cases}$$

Реалізація логічного графа алгоритму руху даних БДММРД, який є основою для побудови адекватної моделі "блок-схема алгоритму", побудованого згідно методики, приведена на рис.7.12.

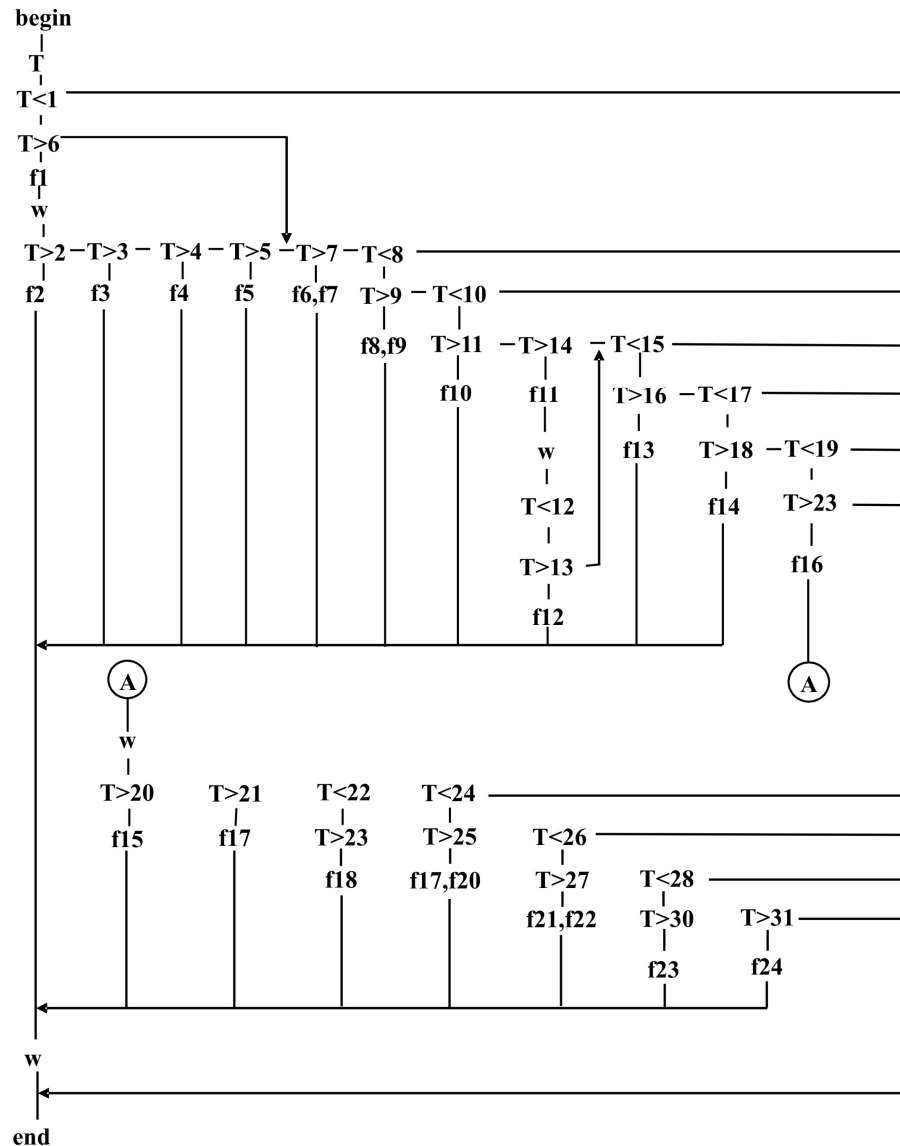


Рис.7.12. Логічний граф руху даних та виконання системних функцій багаторівневої СКС.

Модель "блок-схема алгоритму" повністю має структуру аналогічну структурі логічного графа і виконується формальним шляхом згідно стандартних атрибутів і представлена на рис.7.7.

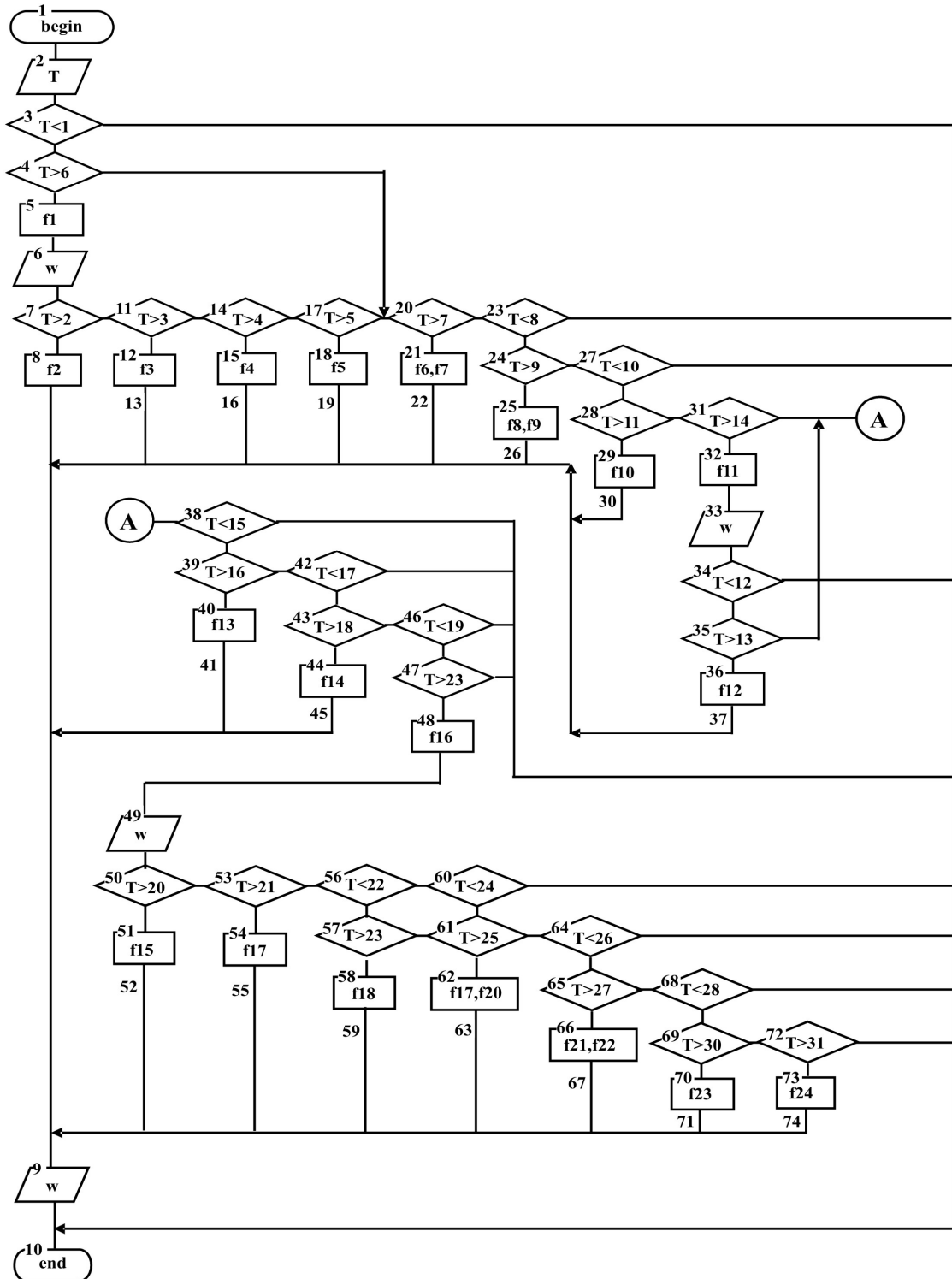


Рис.7.7. Модель "блок-схема алгоритму" обробки даних багаторівневої СКС.

Модель "блок-схема алгоритму" обробки даних в багаторівневих СКС є принципово важливою, оскільки враховує процеси розпаралелення та об'єднання інформаційних потоків на відповідних рівнях та міжрівневих інформаційних зв'язках, що дозволяє значно підвищити оперативність діагностики регламентності виконання системних функцій в реальному масштабі часу досліджуваних або проєктованих СКС.

Дана технологія побудови моделі "блок-схеми алгоритму" для систем реального часу дозволяє формалізовано створити програмне забезпечення на будь-якій мові високого рівня, оскільки характеризується мінімальним числом операторів. При чому:

- нумерація операторів програмного забезпечення виконується простим способом шляхом їх нумерації по вертикальних фрагментах моделі "блок-схема алгоритму" з необхідною вставкою після виконання відповідних функцій (f_i);

- об'єднання інформаційних потоків вставкою номера оператора безумовного переходу "Go to", який не має графічних позначень на блок-схемах, передбачених стандартами;

- при виконанні умови в умовному операторі логічний граф поширюється вправо, а в протилежному випадку поширюється вниз.

Даний клас існуючих похідних моделей, які вдосконалені на основі запропонованої диференціації інформаційних потоків, достатньо повно описує інформаційні процеси в багаторівневих СКС, але в той же час не відображає параметрів (C_k та M_k) функціоналу (7.1), які несуть інформацію про типи виконуваних операцій, фізичні носії даних, моделі джерел інформації та типи використовуваних каналів зв'язку в СКС. Тому актуальною задачею є розширення сукупності існуючих похідних моделей руху даних в складних багаторівневих СКС на основі побудови важливих класів моделей типу:

- циклів руху даних;

- епюр собівартості циклів руху даних;
- епюр ступеня використання ресурсів в активних вузлах СКС;
- граф-алгоритмічних моделей СКС.

Граф-алгоритмічні моделі багаторівневої СКС.

Побудова граф-алгоритмічної моделі, яка запропонована як розширення сукупності моделей руху даних, визначається функціоналом F_4 :

$$F_4[\dot{A}DM_1, \ddot{A}\ddot{A}, \dot{A}\dot{D}\ddot{A}\ddot{D}\ddot{A}\ddot{A}, \dots, \dot{A}(\dot{I}_n + \ddot{A}\dot{I})],$$

де BPM_1 – багаторівнева матрична модель (типу рис.7.3);

ДД – дифенційовані дані;

Існуюча технологія побудови граф-алгоритмічних моделей характеризується наступними недоліками:

- обмежені функціональні можливості, які не дозволяють їх використати для побудови відповідних моделей багаторівневих СКС;
- відсутня можливість відображення моделей джерел інформації, передбачена функціоналом (7.1), та аналітики цифрової обробки даних у відповідних активних вузлах СКС;
- обмежене число атрибутів ліній зв'язку, яке не дозволяє відобразити сучасні Ethernet-технології передавання даних.

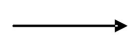
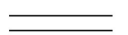
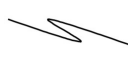
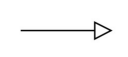
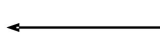
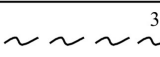
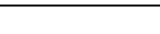
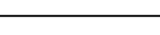
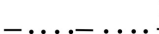
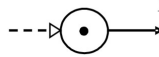
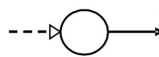
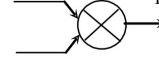
З метою розширення функціональних можливостей та підвищення адекватності відображення руху даних в складних багаторівневих СКС на основі граф-алгоритмічних моделей запропоновано модифікацію таблиці системи атрибутів даного класу моделей (табл.7.4).

Формалізація граф-алгоритмічної моделі виконується згідно параметрів циклів руху даних та атрибутів (с) багаторівневої матричної моделі, символи яких вибираються згідно номерів з табл.11.1 та параметрів функціонала (7.1), а символ моделі вибирається з функціонала та табл.7.1. При відсутності реалізації алгоритму формування конкретної моделі ОУ в активному вузлі БММРД символ моделі не включається у формалізований опис граф-алгоритмічної моделі.

Таблиця 7.4

№ п/п	Позначення	Зміст позначення
1	 6	Неавтономна пам'ять
2	 9	Автономна пам'ять
3	 8	Тверда копія документа
4	 19	Звуковий ввід/вивід
5	 6	Мишка
6	 14	Магнітно оптичний диск
7	 13	Магнітна дискета
8	 4	Оптичний диск
9	 13	Автономний сенсор
10	 21	Архів
11	 12	Магнітна карта
12	 25	Модем
13	 15	Дисплей
14	 12	Процес
15	 12	Рішення
16	 18	Модифікація
17	 22	Конкретизований процес
18	 12	Ручна операція
19	 20	Допоміжна операція
20	 12	Ручний ввід
21	 3	Оптичний канал
22	 12	Ввід/ вивід
23	 4	Пуск/зупинка
24	 18	Ручний документ
25	 12	Оператор
26	 10	Джерело-приймач
27	 15	Злиття
28	 15	Виділення
29	 15	Групування
30	 13	Сортування
31	 1	Сторінковий з'єднувач
32	 15	Міжсторінковий з'єднувач

Продовження табл.7.4

33		1	Безпосередня передача
34		2	Інформаційний потік
35		2	Дублювання передачі
36		7	Канал зв'язку
37		12	Матеріальний потік
38		18	Розшифрування
39		16	Кодування
40		13	Копіювання
41		12	Автономна обробка
42		3	Інтернет
43		18	Мобільний зв'язок
44		4	Супутниковий зв'язок
45		3	Зверх високочастотний зв'язок
46		3	Зворотній зв'язок інтерактивного управління
47		3	Езернет – 10 Мбіт/с
48		3	Езернет – 100 Мбіт/с
49		3	Інфрачервоний канал зв'язку
50		3	Волоконно-оптичні лінії зв'язку
51		11	Степінь використання лінії зв'язку $C=0.1, 0.2, \dots, 1.0$
52		18	Джерело з інтерактивним управлінням
53		17	Інтерактивно-керований пункт обробки даних
54		31	Інтерактивно-керований пункт приймання даних
55		13	Джерело міжрівневих зв'язків
56		12	Пункт приймання з міжрівневими зв'язками
57		17	Пункт обробки з міжрівневими зв'язками
58		7	Джерело з ознаками використання ресурсів
59		6	Пункт обробки з ознаками використання ресурсів
60		19	Пункт приймання з ознаками використання ресурсів
61		10	Неінтерактивне джерело
62		17	Пункт обробки даних
63		16	Незалежний приймач
64		18	Залежний приймач

Дана таблиця розширена від 41 існуючого числа атрибутів до 64 символів, що передбачає їх подальше розширення та 8-бітове кодування, аналогічне кодуванню алфавітно-цифрових даних. В основу здійсненого розширення числа атрибутів граф-алгоритмічних моделей покладено:

- вилучення зі списку атрибутів морально застарілих носіїв інформації типу магнітний диск та ін.;
- введення символів новітніх засобів реєстрації, вводу-виводу та дистанційного передавання даних типу мишка, оптичний диск, модем та ін. (4-9);
- суттєве розширення символів сучасних засобів зв'язку типу (Інтернет, мобільний, супутниковий та надвисокочастотний зв'язок, інфрачервоний та волоконно-оптичний канали зв'язку, 10 Мбіт/с та 100 Мбіт/с Ethernet) (42-50);
- степінь використання ресурсів ліній зв'язку $C=0.1, 0.2, \dots, 1.0$;
- додатково введені символи інтерактивно-керованих джерел, пунктів обробки та приймання даних (52-54);
- джерела, пункти обробки, пункти приймання даних для організації міжрівневих зв'язків (55-57);
- неінтерактивні джерела, пункти обробки та приймачі з ознаками ступеня використання ресурсів (58-60) та без ознак використання ресурсів (61-64).

На рис.7.14 приведений варіант побудови багаторівневої ГАМ для архітектури СКС, представлені БММРД (рис.7.3).

$6.D_1O_1.12:6.D_1O_2.30:3.D_2O_3.8;6.D_1O_2.30;$

$5.D_1O_1.3:5.D_1O_2.25:5.D_1O_3.11;$

$4.D_1O_1.9:4.D_1O_2.14:4.D_1O_3.39;$

$5.D_1O_3.11:5.D_1O_4.29:3.D_2O_1.2:3.D_1O_1.13;$

$4.D_1O_4.9:4.D_1O_3.39;$

$4.D_1O_3.39:2.D_1O_1.3:2.D_2O_1.B.9;$

$5.D_1O_3.A_2.11:4.D_1O_3.39;$

$2.D_2O_1.B_1.9:2.D_1O_2.40:3.D_1O_1.13;$

$3.D_1O_1.13:3.D_1O_2.4;$

$3.D_1O_2.4:3.D_2O_2.43:1.D_1O_3.C.26;$

запропоновано розширення змістової частини параметру C_{ij} відповідно до типу активного вузла ММРД:

- джерело інформації описується

$$X_{Oy} = F(S_i : X(t) + TEД, M_x, D_x, \sigma_x, R_{xx}, R_{xy}, M_{ij}, S(w), K_{ij}, LCIM, I_x, ICD),$$

в якому СД формується згідно відповідних алгоритмів;

- пункт обробки даних описується диференційованими даними функціоналу F_4

$$F_4[\Delta M_1, \Delta \ddot{A}, \Delta \ddot{A} \ddot{I} \ddot{I} \ddot{D} \ddot{A}, \dots, \ddot{A}(\ddot{I}_n + \ddot{A} \ddot{I} \ddot{I})],$$

де ДД - диференційовані дані згідно табл.7.1 та функціоналу (7.1);

- пункт приймання даних описується програмним забезпеченням згідно функціоналу F_5 та F_6 , в якому розраховуються диференційовані цикли руху даних, диференційовані епюри руху даних та глобальна оцінка ефективності КС F_6 .

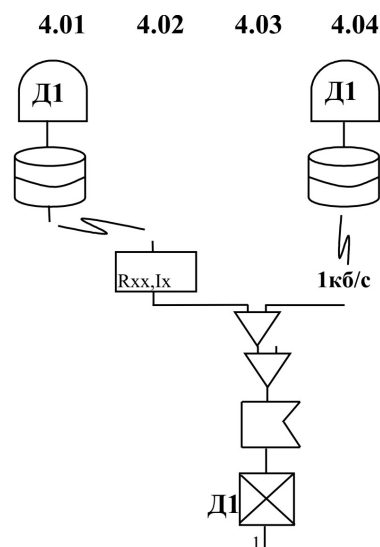


Рис.7.15. Компонент розподіленої ГАМ, в якому формуються СД.

Компонент структури розподіленої ГАМ, який показаний на рис.7.15, демонструє наявність мобільного абонентського пункту, який ідентифікується символом кодування інформації, реалізує дистанційний безпроводний збір телеметричних даних $X(t)$ двох сенсорів та об'єднання їх інформаційних потоків з потоком ТЕД, які формуються оператором і у

вигляді СД генеруються приймачем в комп'ютерну мережу на основі ВОЛЗ 1 Гб/с на більш високі рівні розподіленої СКС.

Епюри руху даних багаторівневих СКС.

Для побудови ЕРД використовується оцінка ефективності реалізації процесів формування, цифрової обробки, зберігання та використання даних в активних вузлах різних рівнів БМРД:

$$K \cdot E = \frac{P_{ij} - V_{ij}}{T_{ij}}, \quad (7.8)$$

де K - ідентифікатор рівня;

E - собівартісний показник руху даних;

P_{ij} - сумарний дохід від реалізації функцій активного вузла МРД;

V_{ij} - програмно-апаратні затрати на постановку задач, запуск функцій та експлуатаційних витрат в активному вузлі МРД;

$T_{ij} = b_{ij}$ - регламентні затрати часу на реалізацію функцій вузла МРД ($T_1 < T_{ij} < T_2$);

$i = 1, 2, \dots, n$ - число документів (D_i) МРД;

$j = 1, 2, \dots, m$ - число підрозділів (O_j) МРД.

Показник E представляє собою питому оцінку прибутків та витрат, отриманих в активному вузлі БМРД на інтервалі регламентного часу T_{ij} .

Сумарна собівартість руху даних на інтервалі одного циклу та питому собівартість можна розрахувати згідно виразів:

$$S_{KL} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (P_{ij} - V_{ij}); \quad S_{KS} = \frac{S_{KL}}{\sum_{i=1}^N \Delta T_{ij}} \quad (7.9)$$

У загальному випадку для всієї структури комп'ютерної системи оцінка S_{KL} може бути розрахована на основі аналітичного виразу:

$$S_{KM} = \sum_{i=1}^M \sum_{P=1}^M [F_1(P_{ij}) - F_2(V_{ij})], \quad (7.10)$$

де $[F_1(P_{ij}), F_2(V_{ij})]$ - відповідні аналітичні вирази, що описують часові характеристики затрат та отриманих прибутків при реалізації функцій в активних вузлах БМРД.

Графік сигнальної ЕРД, яка відповідає описаній архітектурі багаторівневої системи руху даних, представлений на рис.7.16.

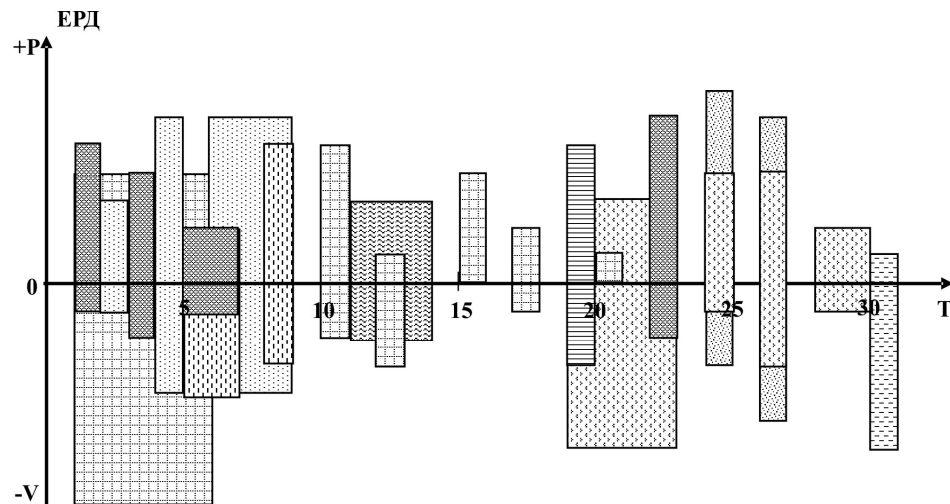


Рис.7.16. Сигнальна ЕРД багаторівневої СКС.

Побудова диференціальної ЕРД виконується на основі диференціації собівартісних показників $\Delta \dot{A} \dot{D} \ddot{A} = P_{ij} - V_{ij}$ (рис.7.17).

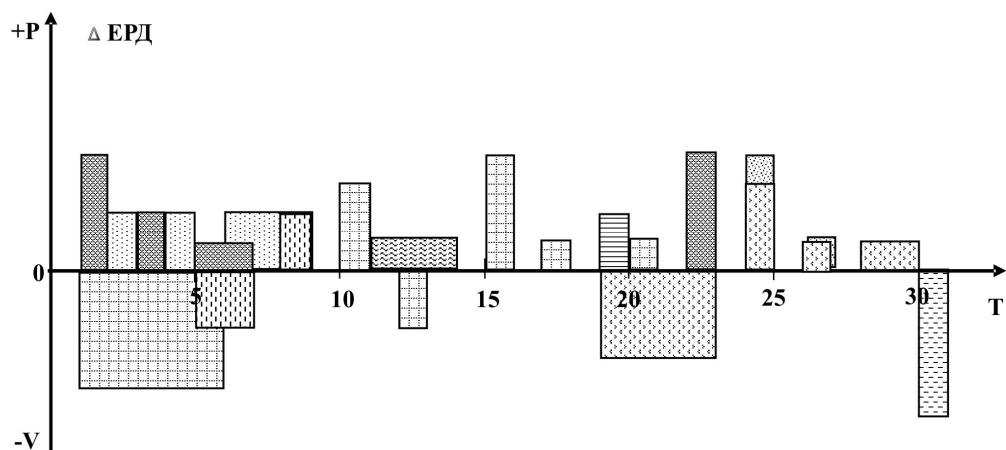


Рис.7.17. Сумарна сигнальна ЕРД багаторівневої СКС.

Часова характеристика сумарної диференціальної ЕРД розраховується шляхом сумування параметрів $\Delta EРД$ на протязі всього інтервалу часу (T) руху даних в діагностованій або проектованій СКС (рис.7.18).

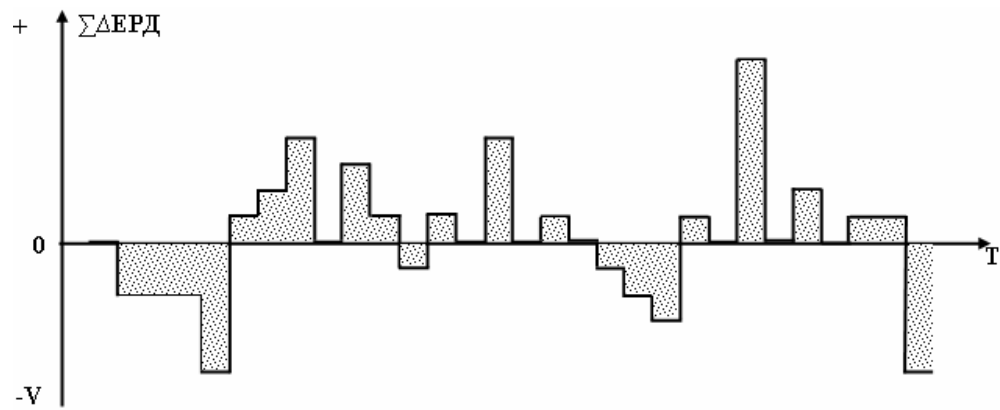


Рис.7.18. Сумарна дифенціальна ЕРД багаторівневої СКС.

Розрахунок характеристики інтегральної ЕРД (рис.7.19) виконується шляхом інтегрування по похідній реального часу (Т) параметрів $\Sigma \Delta EPRD$ згідно аналітичного виразу:

$$G_{\hat{E}\tilde{N}} = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n \int \Sigma \Delta \dot{EPRD} dt}{N} \rightarrow \max ,$$

де n – число часових інтервалів ковзної вибірки, N – загальне число часових інтервалів, max – критерій максимуму позитивних собівартісних показників руху даних.

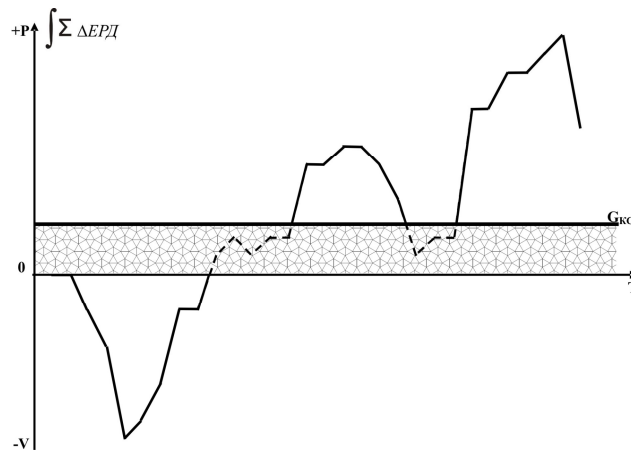


Рис.7.19. Інтегральна сумарна дифенціальна ЕРД багаторівневої СКС.

Викладені теоретичні основи, методи та інформаційні технології побудови епюр собівартості руху даних в багаторівневих СКС дозволяє суттєво підвищити точність, а також розширити функціональні можливості аналізу та діагностування ефективності діючих КС. Розроблена інформаційна

технологія є ефективним інструментальним засобом програмного проектування складних СКС з високим рівнем диференціації системних операцій, розпаралелення та інтеграції інформаційних потоків в реальному масштабі часу.

ЛЕКЦІЯ 8

Закони економічної доцільності КС

Під законами доцільності розуміють ряд критеріїв доцільності, які описуються системою характеристичних функцій:

- закон фрактальності;
- закон Гроша;
- закон тах прибутку;
- закон якості;
- закон собівартості.

1. Закон фрактальності, застосований до архітектури РКС, встановлює співвідношення між системою і підсистемою, РКС і її компонентами і описується рівнянням

$$\Phi = \frac{\Phi_{i+1}}{\Phi_i} = const,$$

де Φ_{i+1} , Φ_i – відповідно – системні характеристики на границі двох рівнів комп'ютерної мережі.

На рис. 8.4 показаний приклад реалізації закону фрактальності в РКС.

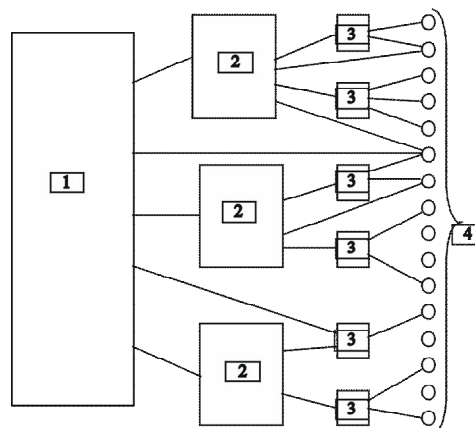


Рис.8.4. Характеристика закону фрактальності при проектуванні комп'ютерних систем: 1 – глобальна мережа; 2 – локальна мережа; 3 – низова комп'ютерна мережа; 4 – користувач (компонент системи).

Виконання закону фрактальності передбачає не тільки ієрархію архітектури комп'ютерної системи, але й можливість безпосереднього зв'язку користувача з глобальною мережею.

2. Закон Гроша встановлює співвідношення між системними характеристиками проектованої комп'ютерної системи та системними характеристиками діючих РКС і виражається умовою:

$$G_{i+1}(T > T_0) \geq 2G_i(T > T_0),$$

де G_{i+1} G_i – відповідно – системні характеристики проектованої та діючих комп'ютерних систем.

На рис.8.5 показаний приклад реалізації закону Гроша, де T_0 – момент часу зміни системних характеристик РКС; $B(T)$ – епюра економічних затрат, необхідних для покращення характеристик комп'ютерної системи.

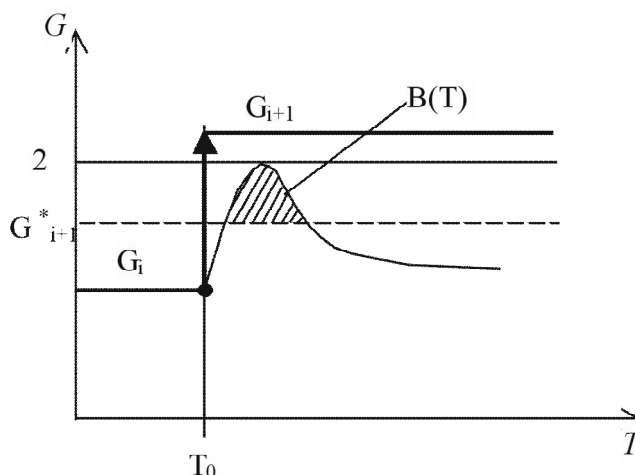


Рис.8.5. Характеристика закону Гроша

З рис.8.5 видно, що якщо G_{i+1} не задовільняє вираз, що показано пунктиром, G_{i+1}^* , то економічні затрати будуть перевищувати прибуток і така

зміна системних характеристик є економічно недоцільною і може привести до деградації комп'ютерної системи та банкрутства фірми-виробника.

3. Закон max прибутку характеризує часові характеристики та конкуренцію впровадження проектованої комп'ютерної системи, представлений на рис.8.6 і виражається рівняннями:

$$P(T_1)_{\max} > P(T_{i+1})_{\max} ; P(T_i)_{\max} = \int_{T_0}^{\infty} P(T) dT .$$

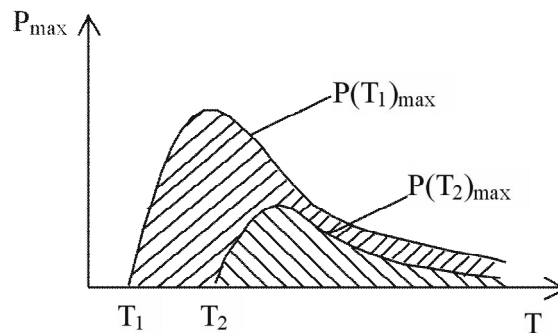


Рис.8.6. Характеристика закону max прибутку при однаковій потужності виробників нових засобів комп'ютерних систем.

Дана характеристика закону max прибутку відповідає умовам обмеженої, приблизно однакової, потужності проектних організацій та організаторів масового випуску комп'ютерних систем.

Зниження прибутків пропорційно часовому параметру відповідно моральному старінню комп'ютерного обладнання та ін.

При різній потужності проектних організацій та відповідних підприємств тиражування закон max прибутку має інший характер, який представлений на рис.8.7 та описується системою рівнянь:

$$\begin{cases} P(T_1)_{\max} < P(T_2)_{\max} = const; \\ P(T_1)_{\max} = \int_{T_1}^{\infty} P(T_1) dT; \\ P(T_2)_{\max} = \int_{T_2}^{\infty} P(T_2) dT - \int_{T_2}^{\infty} P(T_1) dT. \end{cases}$$

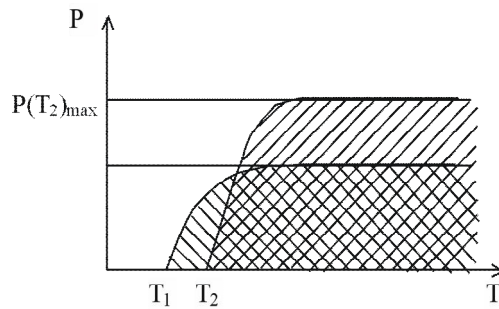


Рис.8.7. Характеристика закону max прибутку при різній потужності проєктантів комп'ютерних систем.

4. Закон якості характеризує показники комп'ютерних систем на етапах їх розробки, освоєння виробництва, гарантійної експлуатації та післягарантійного використання. Даний закон відповідає розподілу Вейбула [44], який описує характеристики надійності комп'ютерної системи, представлений на рис.8.8, і описується системою рівнянь:

$$\begin{cases} Y(T_1) - Y^* = \min; \\ Y(T_1) > Y^*; \\ Y(T_1) - Y(T_2) = \min; \\ T(T > T_2) = \text{var}. \end{cases}$$

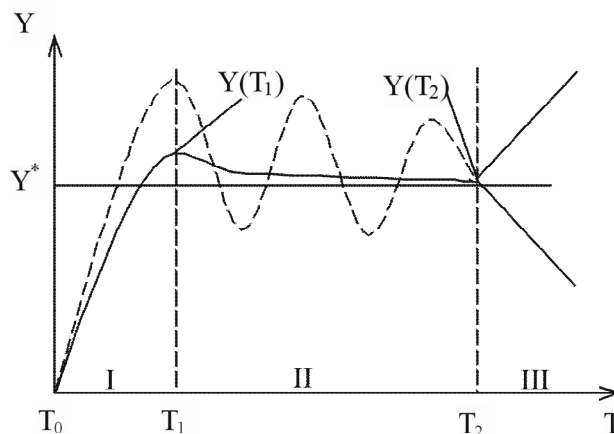


Рис.8.8. Характеристика закону якості.

На рис.8.8: I, II, III – відповідно функції якості на етапах проектування, гарантійної та післягарантійної експлуатації комп'ютерної мережі.

Пунктиром показано характеристики підтримки якості при ремонтах та відновленні гарантійних функцій комп'ютерної системи.

Суть закону якості полягає в тому, що на етапі проектування, освоєння виробництва нової комп'ютерної мережі, її системні характеристики повинні перевищувати світовий рівень якості на міні величину, при цьому повинно забезпечуватися міні перевитрат виробництва, а на етапі гарантійної експлуатації забезпечуватися міні зниження базових характеристик комп'ютерної системи. В післягарантійний період характеристики РКС не регламентуються.

Закон собівартості визначає характер зміни собівартості створення та впровадження нових РКС в залежності від умов зміни їх системних характеристик. В першому варіанті задається умова підтримки заданих системних характеристик РКС при нарощуванні її виробництва та тиражуванні.

Собівартість виробництва розраховується згідно виразу:

$$C_T = \sum_{i=1}^m C_i N_i ,$$

де m - кількість видів продукції підприємства;

C_i - повна собівартість i -го виду продукції підприємства;

N_i - обсяг випуску продукції i -го виду в натуральному вираженні.

На рис.8.9 показаний приклад реалізації закону собівартості.

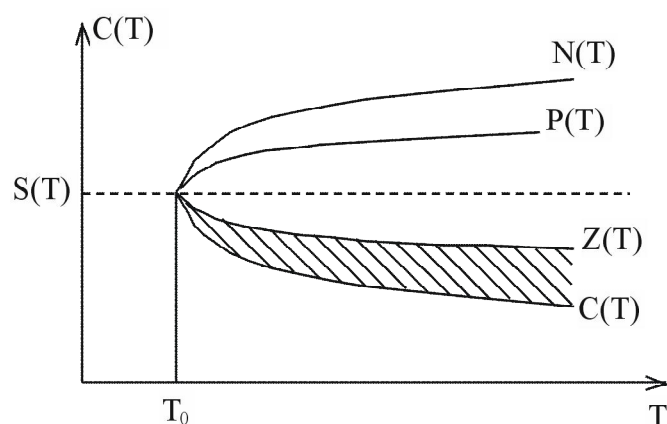


Рис.8.9. Характеристика закону собівартості (перша модифікація): $S(T)$ – системні характеристики РКС; $N(T)$ – об’єм виробництва; $P(T)$ – прибутки; $Z(T)$ – вартість РКС; $C(T)$ – собівартість виробництва.

Другий варіант закону собівартості (рис.8.10) визначається на основі проєктованого покращення системних характеристик створюваних РКС при незмінному об’ємі випуску і описується рівняннями:

$$\begin{cases} N(T) = \text{const}; \\ S(T) = \text{var}; \\ P(T) = (Z(T) - C(T)) * N(T). \end{cases}$$

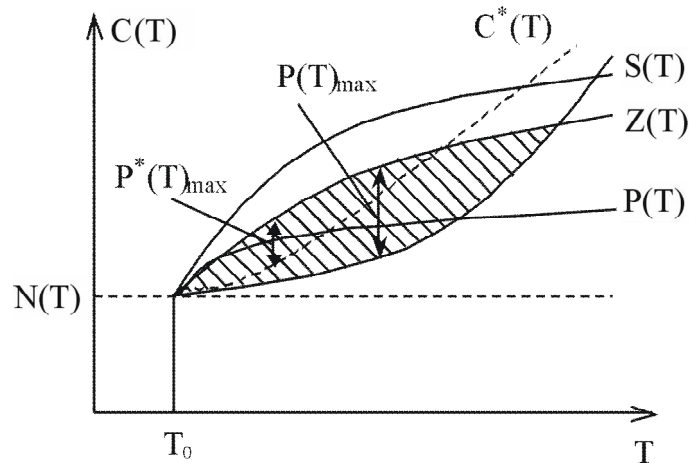


Рис.8.10. Демонстрація закону собівартості (друга модифікація).

З рис. 8.10 видно, що $\max$ прибуток виникає при $\max$ різниці між вартістю продажу і собівартістю виробництва комп’ютерної мережі. Очевидно, що при відсутності досконалої технології виробництва відмічається суттєве зростання собівартості виробництва $C(T)$, що показано на рисунку пунктиром. При цьому $\max$ прибутки $P^*(T)$ набагато менші від прибутків, досягнутих за рахунок досконалої технології, тобто $P^*(T)_{\max} \ll P(T)_{\max}$. Крім того, виробництво з низьким рівнем технології в принципі не може проєктувати та випускати комп’ютерні системи з високим рівнем системних характеристик, інакше воно буде збитковим.

Слід зауважити, що впровадження нових технологій виробництва за рахунок винаходів та “ноу-хау” на рис.8.10 штрих-пунктир $C^*(T)$, то прибутки $P^*(T)$ будуть набагато більші по відношенню до $P(T)_{\max}$ і комп’ютерна система буде характеризуватися досконалими системними характеристиками.

ЛЕКЦІЯ 9

СИСТЕМНІ ВЛАСТИВОСТІ ОБ’ЄКТІВ УПРАВЛІННЯ СКС

9.1. Класифікація системних характеристик об’єктів управління СКС

Найчастіше СКС проектуються на основі проблемної орієнтації до характеристик та системних властивостей реальних об’єктів управління (ОУ). Таким чином, систематизація характеристик об’єктів управління на основі системних принципів є важливим фактором оптимізації відповідних параметрів та характеристик комп’ютерної системи.

Розрізняють наступні системні властивості об’єктів управління:

- | | |
|------------------------|-------------------|
| - складність; | - стаціонарність; |
| - ділимість; | - замкнутість; |
| - полікритеріальність; | - динамічність; |
| - кібернетичність; | - стійкість; |
| - ієрархічність; | - адаптивність; |
| - емерджентність; | - післядія. |

9.2. Складність ОУ СКС.

За складністю ОУ поділяються на три категорії: прості; складні; надскладні.

До простих об’єктів відносяться:

- один технологічний параметр;

- одна людина.

Складними об'єктами є:

- технологічний процес;
- група людей;
- технологічна установка;
- цех.

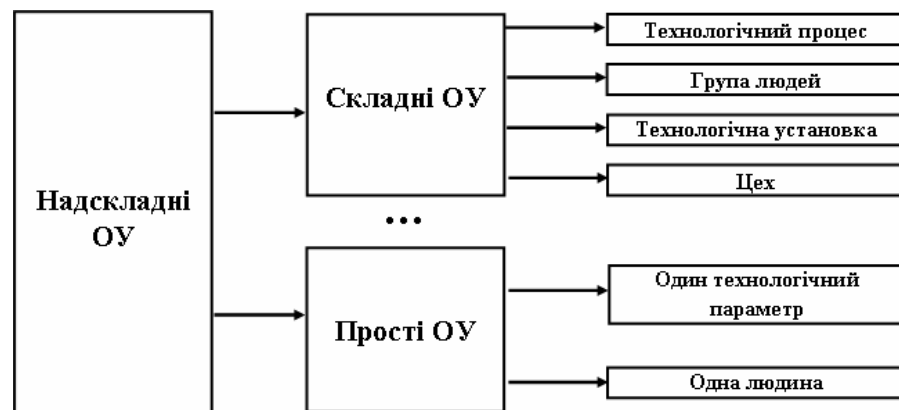


Рис.9.1. Класи ОУ СКС.

Надскладним об'єктом вважається система взаємодії великої кількості людей та технологічних процесів, тобто мобільний об'єкт, підприємство, завод, фірма, район, область, держава.

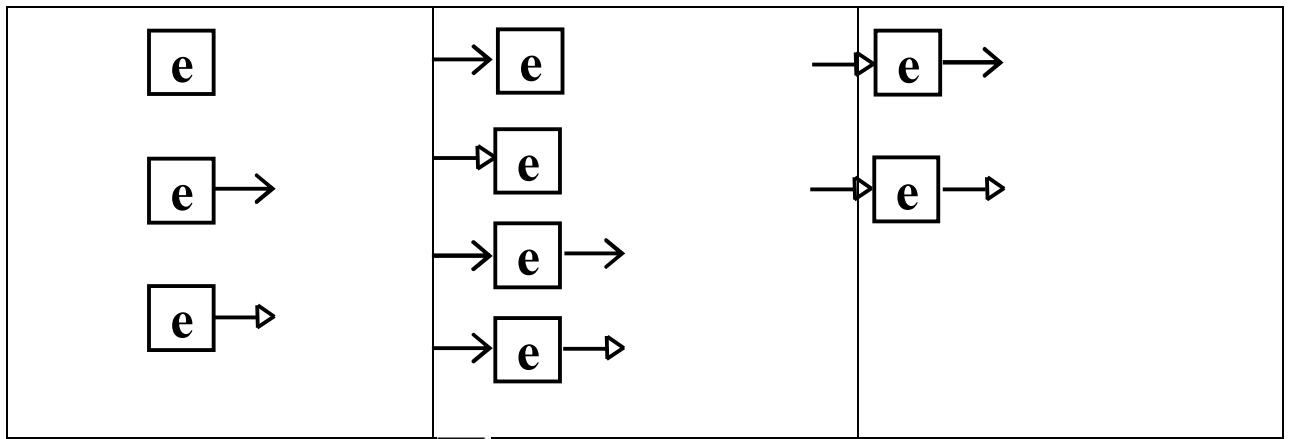
9.3. Ділимість ОУ СКС.

За ознаками ділимості ОУ класифікуються, як елементи, підсистеми і системи.

Елементом вважається компонент підсистеми, який може мати не більше одного входу та одного виходу. При чому входи та виходи можуть бути двох типів: інформаційний $\longrightarrow$ та матеріальний $\longrightarrow \triangleright$.

Класифікація ОУ типу елемент подана в табл.9.1.

Таблиця 9.1.

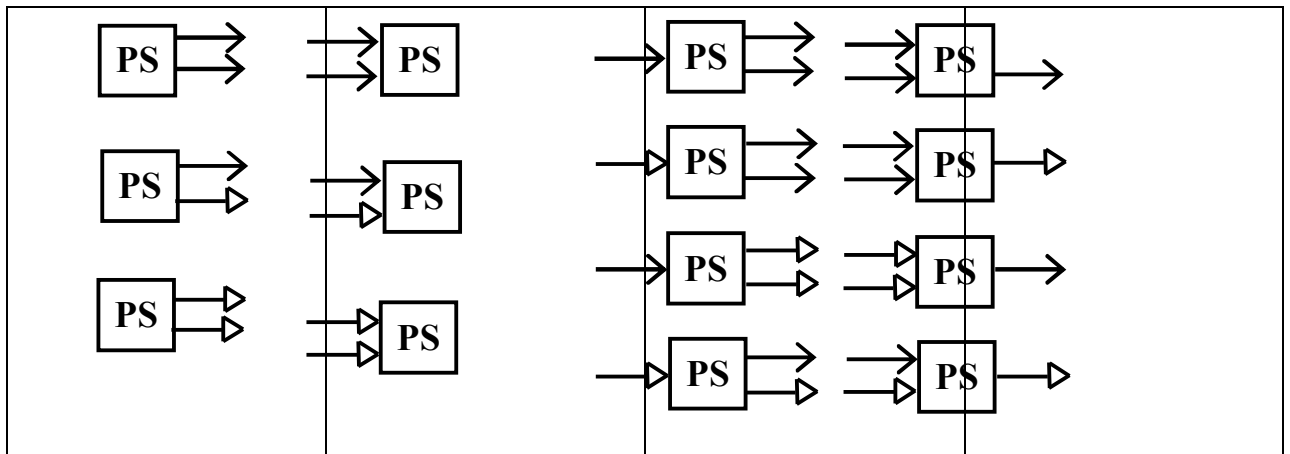


В табл.9.1 елемент  вважається вільним. Вільними елементами ОУ можуть бути невикористовувані технологічні параметри, люди, не задіяні в технологічному процесі, процесори гарячого резерву, пошкоджений компонент мікроелектроніки, елемент мікроелектроніки, що вийшов з ладу та ін.

Підсистема – це структура, яка складається з елементів, може мати не більше двох входів та двох виходів, але характеризується відсутністю зворотніх зв’язків (табл.9.2).

Таблиця 9.2.

Класифікація підсистем



Система – це сукупність елементів та підсистем, які доцільно взаємодіють між собою на основі системи організаційних зв’язків. Система обов’язково має зворотні зв’язки (рис.9.2)

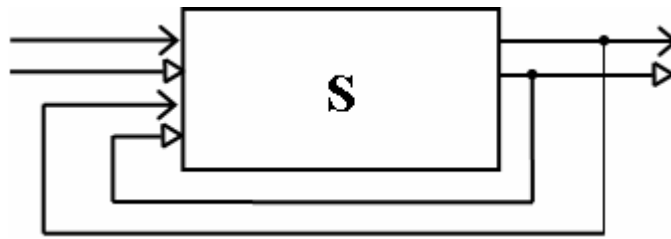


Рис.9.2. Макромодель системи.

9.4. Полікритеріальність ОУ СКС.

Полікритеріальність визначається властивістю ОУ невідповідності критеріїв доцільності елементів та підсистем об'єкта головному напрямку доцільності ОУ, як системи (рис.9.3).

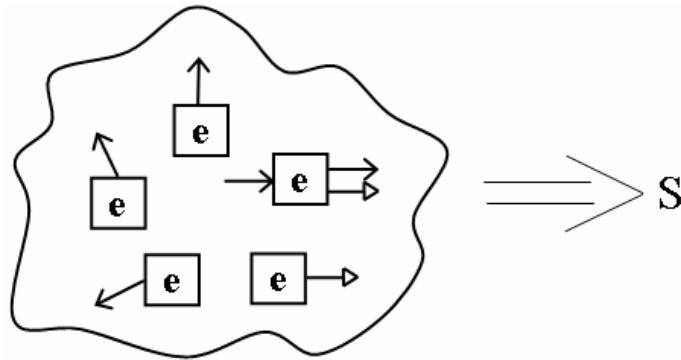


Рис.9.3. Приклад полікритеріального ОУ як системи.

Наприклад, при проектуванні максимально надійної комп'ютерної системи або процесора частина елементів або підсистем можуть не характеризуватися максимальною надійністю, яка може досягатися шляхом резервування, розпаралелення та ін.

9.5. Кібернетичність ОУ СКС.

Кібернетичність визначається наступними моделями кібернетичних об'єктів:

- "чорна скринька";
- "сіра скринька";
- "прозора скринька".

Особливістю моделі кібернетичної системи "чорна скринька" (рис.9.4), яка була запропонована Н. Віннером, є відсутність необхідності вивчення внутрішньої структури та компонентів системи, яка може бути достатньо складна для оперативного аналізу. Перевагою такої моделі, як об'єкта управління КС, є можливість доцільного керування системою шляхом подання на її входи функціональних або тестуючих сигналів та аналізу вихідної реакції системи на зовнішні збурення. В той же час суттєвими недоліками застосування такої моделі є неможливість вдосконалення її архітектури, доцільного розділення на окремі компоненти, а також оптимізація її функцій.

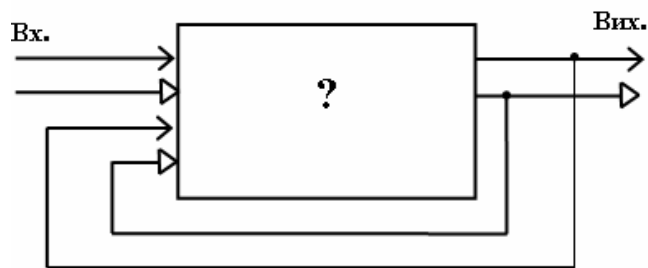


Рис.9.4. Модель КС "чорна скринька".

Модель кібернетичної системи "сірий ящик", запропонована Робертом Мак-Класкі, представлена на рис.9.5.

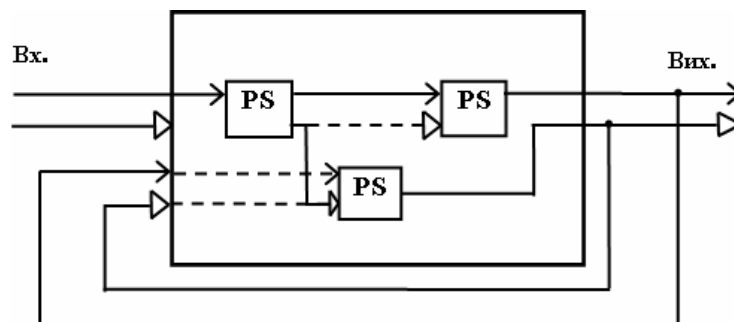


Рис.9.5. Модель КС "сіра скринька".

Особливістю моделі "сіра скринька" є необхідність отримання знань про її внутрішню структуру та функції її підсистем. Така кібернетична система абсолютно керована, може бути доцільно розділена на компоненти. В той же час внаслідок відсутності знань про наявність та функції вільних

елементів в межах системи не дозволяє оптимізувати її характеристики шляхом зовнішніх впливів.

Модель кібернетичної системи "прозора скринька", запропонована російським вченим О.П.Шишкіним, представлена на рис.9.6.

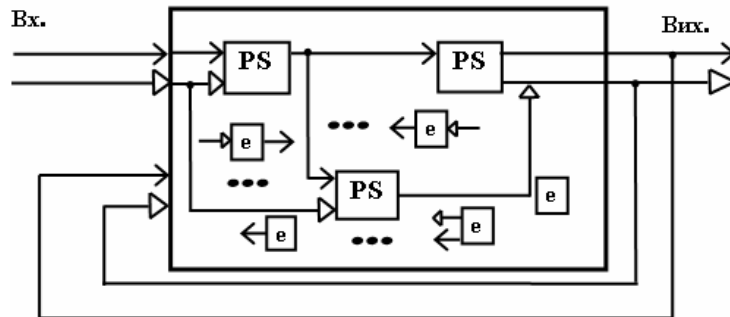


Рис.9.6. Модель КС "прозора скринька".

Особливістю моделі "прозора скринька" є достатньо велика складність отримання знань про внутрішню структуру, функції підсистем, а також наявність функціонально незадіяних вільних елементів з полікритеріальними характеристиками, які доволі часто можуть бути пасивними або антагоністичними до основних функцій системи. В той же час, після детального аналізу, система може бути оптимально доцільно розділена на підсистеми, додатково можуть бути використані ресурси вільних елементів, змінені їх полікритеріальні характеристики, а також реалізовані критерії проблемної орієнтації системи: підвищення швидкодії, надійності, стійкості, розширення функціональних властивостей та ін.

9.6. Замкнутість ОУ СКС.

Замкнутість визначається характером взаємодії та системою зв'язків з ресурсами та інформаційними або матеріальними зв'язками та споживачами інформаційних або матеріальних результатів функціонування системи.

Існують три класи систем по ознаці замкнутості:

- відкрита система;
- напіввідкрита система;
- замкнута система.

Відкрита система характеризується всією повнотою інформаційних та матеріальних зв'язків з ресурсами та споживачами результатів її функціонування (рис.9.7)

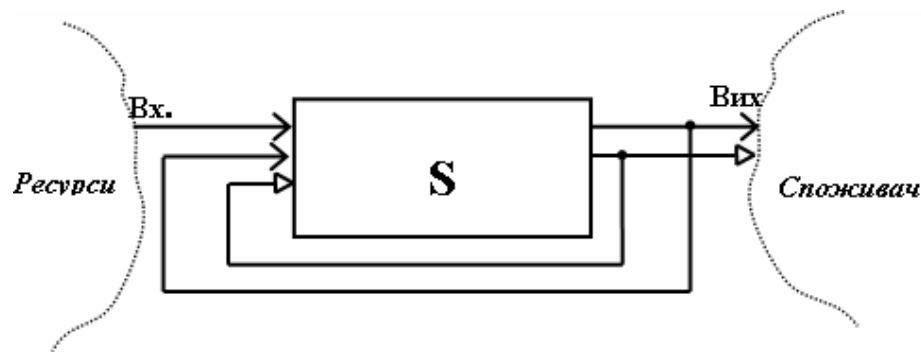


Рис.9.7. Відкрита система.

Особливістю відкритої системи є обов'язкова наявність всіх зв'язків з зовнішнім середовищем. Така система характеризується необмеженим часом існування, може самовдосконалюватися, розвиватися, оптимізуватися та доцільно дробитися на підсистеми.

Напіввідкрита система характеризується відсутністю окремих зв'язків з ресурсами та споживачами (рис.9.8 (а)).

На рис.9.8 (б) показані напіввідкриті системи з обмеженими функціями споживання результатів роботи. Такі системи можуть бути керовані на рівні інформаційних або матеріальних вхідних потоків, можуть існувати необмежено в часі, а також оптимізовані. В той же час відсутність зв'язків на рівні споживачів результатів діяльності тенденційно приводить до їх деградації та виникає необхідність в їх ліквідації з боку ресурсів, оскільки вони не генерують ні інформаційних, ні матеріальних потоки, тобто стають недоцільними.

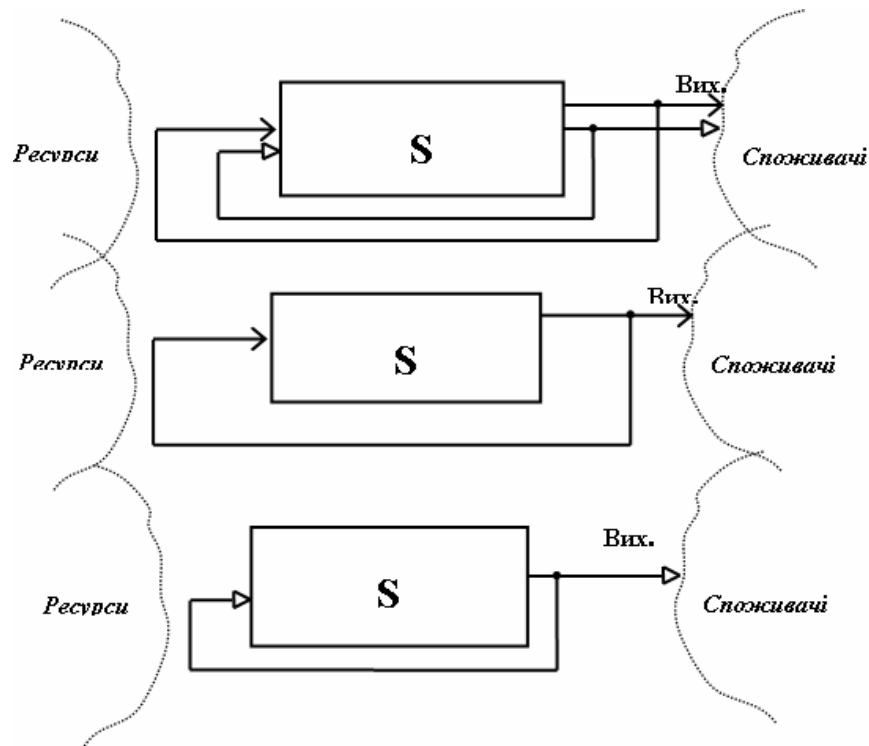


Рис.9.8 (а). Напіввідкриті системи з обмеженими ресурсами.

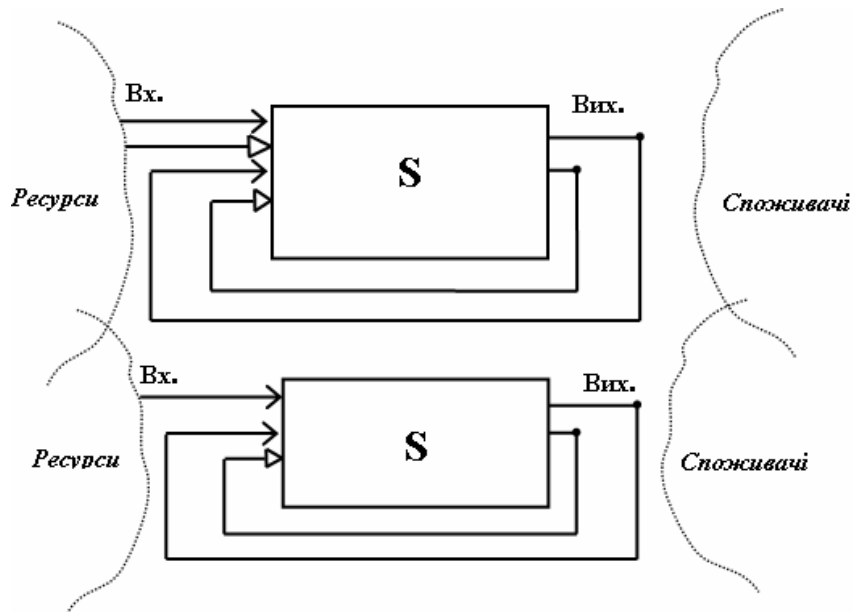


Рис.9.8(б). Напіввідкриті системи з обмеженими функціями.

Особливістю таких систем є відсутність окремих інформаційних або матеріальних зв'язків з зовнішнім середовищем. Такі системи можуть генерувати інформаційні або матеріальні потоки до моменту вичерпання власних ресурсів. В той же час вони не можуть бути керованими з боку зовнішнього середовища, оптимізовані або доцільно роздроблені.

На рис.9.9 показано клас напівзамкнутих систем з виродженими інформаційними або матеріальними зв'язками. Такі системи не можуть бути оптимізаційно керовані, а також характеризуються тенденціями до деградації та недоцільного існування з обмеженим часом.

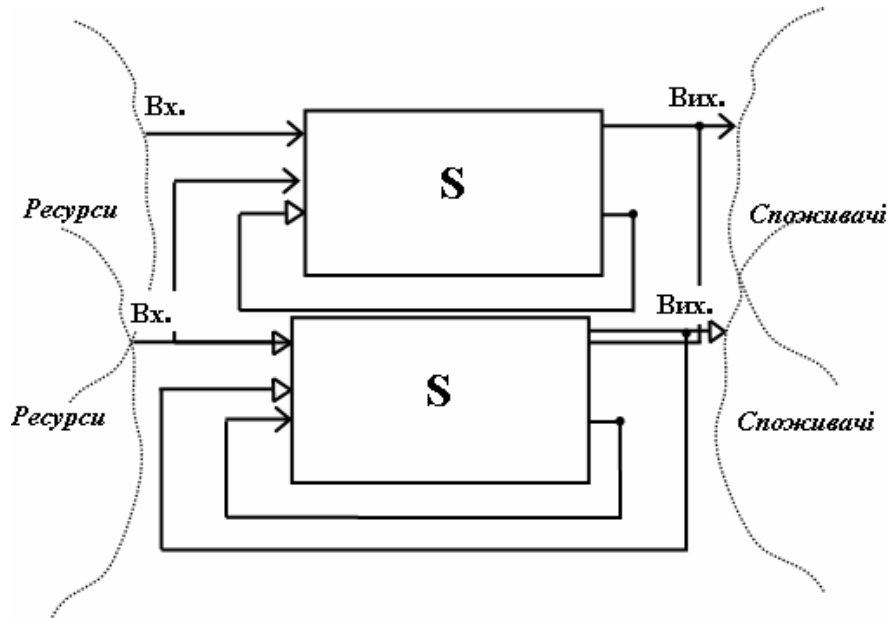


Рис.9.9. Напівзамкнуті системи з виродженими зв'язками.

Замкнуті системи (рис.9.10) характеризуються відсутністю інформаційних та матеріальних зв'язків з навколишнім середовищем. Тому вони підкоряються постулату: завжди прямуй до самознищення.

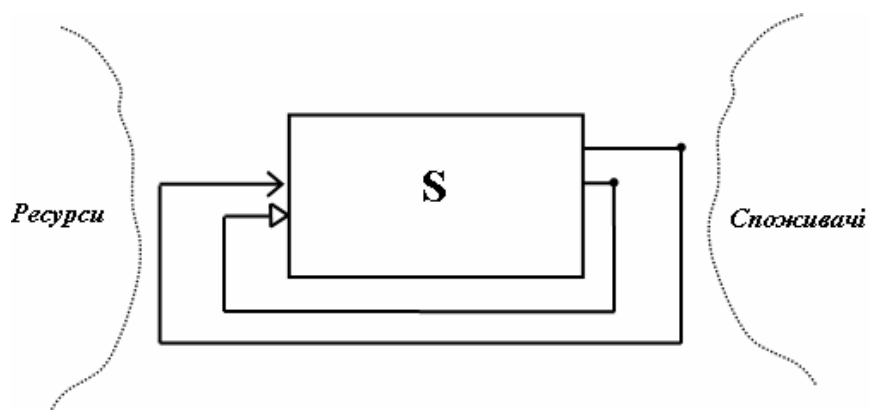


Рис.9.10. Замкнуті системи.

9.7. Ієрархічність ОУ СКС.

Існують два класи систем по ознаці ієрархічності:

- 1). Гантельні.
- 2). Пірамідальні.

Архітектура систем з "гантельними" характеристиками показана на рис.9.11.



Рис.9.11. Архітектура системи з “гантельними” характеристиками.

Особливістю таких систем є певна системна складність верхнього рівня управління, відносно вузькі функції комунікаційного середовища та велике число виконавчих органів та механізмів з окремими виробничими, алгоритмічними, соціальними функціями.

Архітектура класу пірамідальних систем показана на рис.9.12.



Рис.9.12. Архітектура системи з “пірамідальними” характеристиками.

Особливістю такої архітектури є наявність монопольного органу управління, який однозначно характеризується низьким системним інтелектом і відносно великим комунікаційним середовищем, яке, виконуючи службові функції, поглинає значну частину ресурсів системи, суттєво знижуючи ефективність її функціонування. Важливим атрибутом

характеристик пірамідальної архітектури є ізоморфність при її трансформації, тобто така система завжди переходить сама в себе.

Позитивними характеристиками гантельної архітектури є високий рівень інтелекту системи управління і велика стійкість системи за рахунок потужного фундаменту виконавчих органів та механізмів. В той же час дана система неізоморфна, оскільки при її трансформації по вертикалі чи по горизонталі, її функції швидко руйнуються і деградують, оскільки вона переходить в стан полікритеріальної системи, з якого вона сама без зовнішнього впливу не може відновитися.

Пірамідальна архітектура характеризується ізоморфністю, абсолютною керованістю та стійкістю. До суттєвих недоліків пірамідальної архітектури слід віднести:

- низький системний інтелект, обумовлений монопольним управлінням;
- катастрофічне розмноження помилок при руху інформацій зверху вниз;
- зростання ваги і ціни помилок при руху пошкодженої інформації знизу вверху;
- некібернетичність, оскільки зворотні зв'язки існують тільки всередині системи.

Тому найбільш перспективними, як в технічному так і в соціальному аспектах, за архітектурними ознаками є системи з гантальною структурою, незважаючи на їх вразливість відносно процесів трансформації, вплив якої можна зменшити організацією черезрівневих інформаційних чи матеріальних зв'язків. Системи з пірамідальною архітектурою є доцільними на низових рівнях, як підсистеми, внаслідок характеристики абсолютної керованості.

9.8. Емерджентність ОУ СКС.

Характеристика емерджентності системи визначає ступінь складності, архітектурної досконалості та її інтелекту. Оцінка емерджентності визначається за формулою

$$k_e = \frac{N_\zeta}{N_a},$$

де N_ζ – число інформаційних зв'язків,

N_e – число компонентів системи.

За означенням, система вважається емерджентною, тобто характеризується високими інформаційно-інтелектуальними властивостями, при умові, коли $k_e \geq 2$.

Для пояснення характеристики емерджентності розглянемо приклади:

1. Нехай система складається з двох, трьох та більшої кількості елементів, які інформаційно зв'язані між собою ієрархічною архітектурою (рис.9.12). З рисунка видно, що ієрархічна система при будь-якому числі рівнів та розгалуженості наближається до 1. Тобто вона не може бути емерджентною.

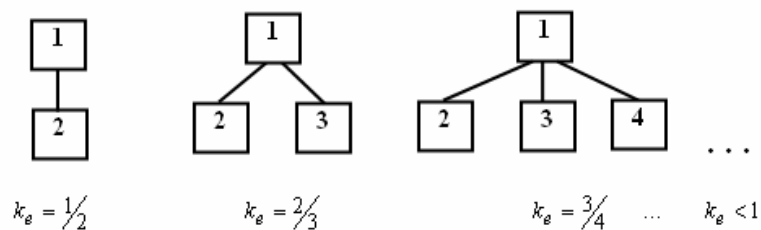


Рис.9.13. Архітектура ієрархічної системи.

2. Нехай система складається з наростаючого числа елементів, які інформаційно зв'язані між собою мережно-ієрархічною архітектурою (рис.9.14). З рисунка видно, що коефіцієнт емерджентності більше 1 і наближається до 2. Тобто система також не є емерджентною.

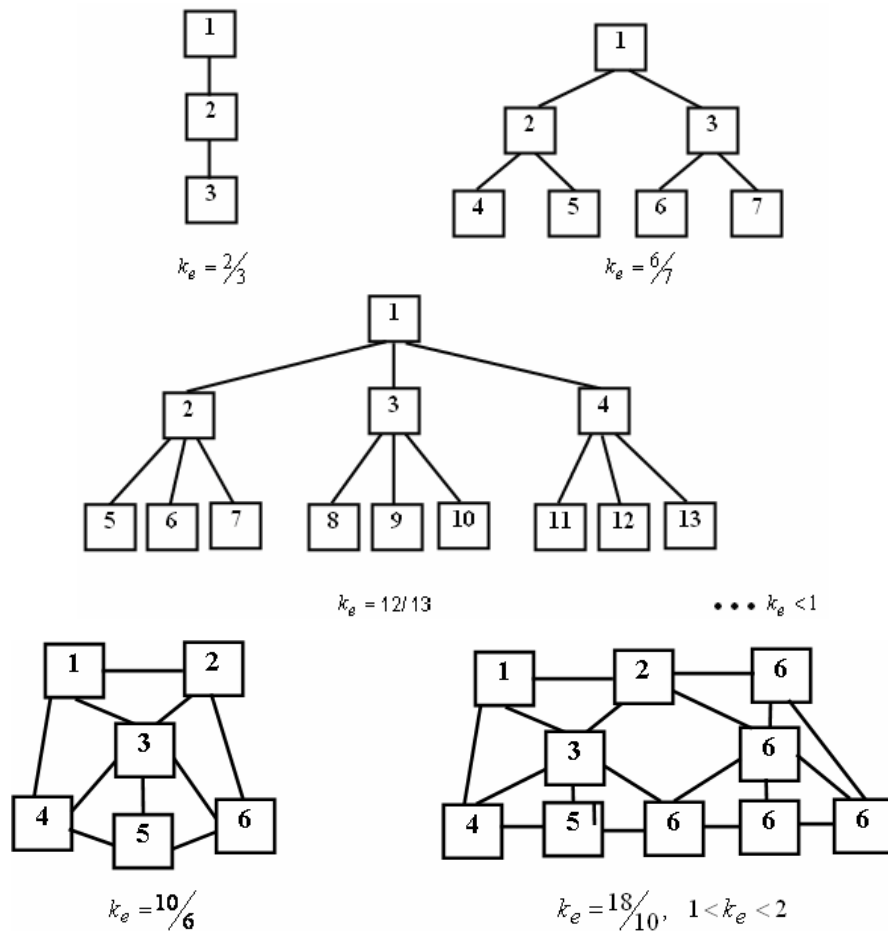


Рис.9.14. Архітектура мережно-ієрархічної системи

3. Нехай система з наростаючим числом компонентів характеризується систолічною архітектурою, тобто кожен з кожним (рис.9.14.). Такі системи, як видно з рисунка, є емерджентними, оскільки коефіцієнт емерджентності більше 2.

Очевидно, що максимально емерджентними є нейромережеві архітектури та біологічні нейронні системи.

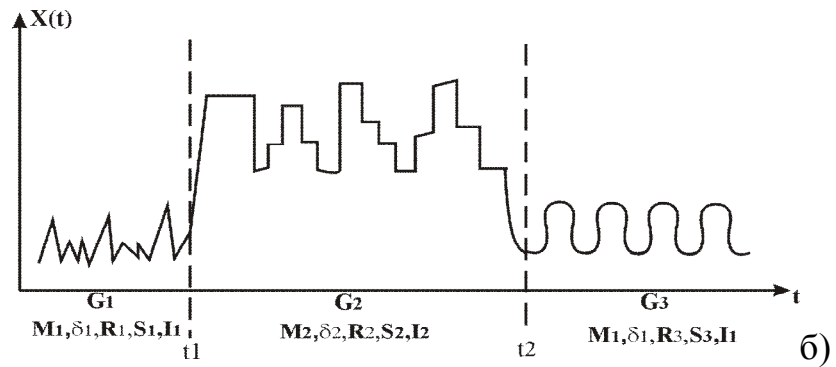
9.9. Стаціонарність ОУ СКС.

Згідно класифікації характеристик системи по ознаках стаціонарності існують три класи системи:

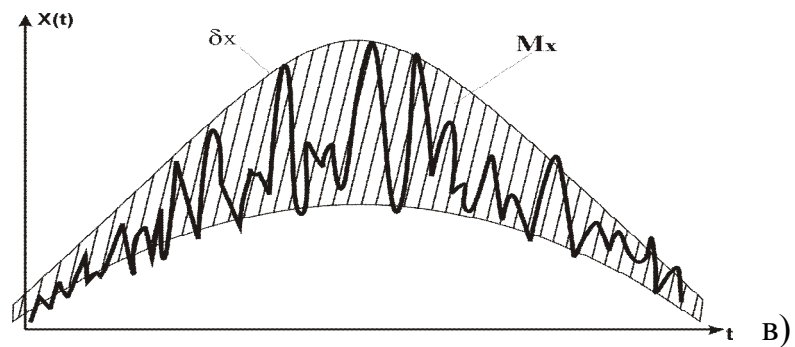
1. Стаціонарні (рис.9.15а);
2. Квазістаціонарні (рис. 9.15б);
3. Нестационарні (рис. 9.15в).



$$X(t) = F[\bullet] = \text{const}$$



$$X(t) = F[\bullet] = \text{const}(t_j - t_i)$$



$$X(t) = F[\bullet] = \text{var}$$

Рис.9.15. Продукційні часові моделі подання знань об'єктів різних класів стаціонарності ($F[\bullet]$ - компоненти характеристичного функціоналу).

Характеристика стаціонарності системи визначається незмінністю компонентів функціоналу $F[\bullet]$, який описує стани системи на певному інтервалі часу.

$$X(t) = F[x(t), M_x, M_j, M_v, D_x, \delta_x, R_{xx}, S(\omega), I_x], \quad (9.1)$$

де $X(t)$ - сигнальна модель станів системи;

$$M_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i - \text{вибіркове математичне сподівання};$$

$$M_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1+j}^{n+j} x_{i+j} - \text{ковзне математичне сподівання};$$

$$M_v = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{i-j} \cdot x_{i+j} - \text{вагове математичне сподівання}$$

$$D_{xj} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{i+j} - M_x)^2 - \text{дисперсія};$$

$$\delta_{xj} = \sqrt{D_x} - \text{середньоквадратичне відхилення};$$

$$R_{xx}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \dot{x}_i \cdot \dot{x}_{i+j} - \text{мультиплікативна автокореляційна функція}$$

(існує 8 автокореляційних функцій, які описуються різними рівняннями);

$$S_{(\omega)} = \sum_{j=1}^m (\rho_{xx}, W_j) - \text{спектральні характеристики сигнальної моделі } X(t)$$

(дана характеристика може бути розрахована в різних теоретико-числових базисах: Фур'є, Хаара, Радемахера, Крестенсона, Уолша та Галуа),

де $\rho_{xx}(j) = \frac{R_{xx}(j)}{D_x}$ - нормована автокореляційна функція сигнальної моделі,

W_j - ортогональна функція відповідного ТЧБ;

$$I_x = \hat{E}[\log_2 A];$$

$$I_x = \sum_{i=1}^n P_i \cdot \log_2 \left(\frac{1}{P_i} \right);$$

$$I_x = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \log_2 (D_x^2 - R_{xx}^2) - \text{оцінка ентропії станів системи на основі}$$

сигнальної моделі.

Дана оцінка може бути обчислена згідно інформаційної міри Хартлі, Шеннона, Колмогорова, Боюна, Николайчука, Олівера та ін.

9.10. Динамічність ОУ СКС.

Характеристика динамічності визначається реакцією об'єкта управління на зовнішнє збурення, яке представляється функцією Дірака. Класифікують об'єкти управління за двома ознаками динамічності:

- нединамічні;
- динамічні.

Характеристика реакції нединамічного об'єкта на зовнішнє стрибкоподібне збурення описується трьома перехідними функціями: 1, 2, 3 (рис.9.16):

- першого порядку;
- другого порядку;
- другого порядку з транспортним запізненням.

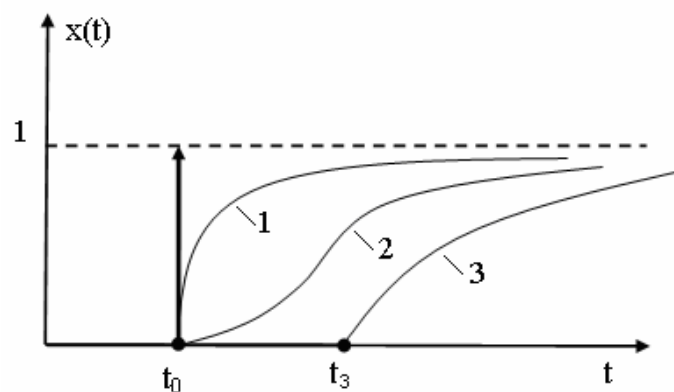


Рис.9.16. Реакція нединамічного ОУ на зовнішнє збурення (t_0 – момент дії зовнішнього впливу, t_3-t_0 – транспортне запізнення)

Як видно з рис.9.16, характеристика реакції нединамічного ОУ, ніколи не досягає рівня зовнішнього збурення.

Динамічні об'єкти характеризуються перехідними процесами, які описуються рівняннями Бесселя і можуть перевищувати рівень зовнішнього збурення (рис.9.17).

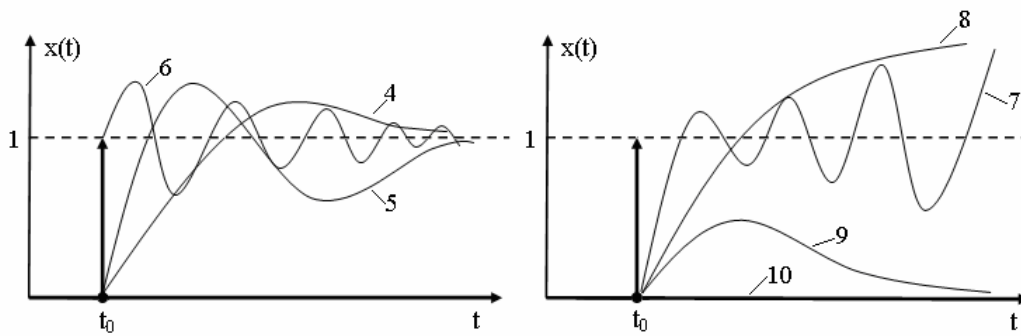


Рис.9.17. Реакція динамічних ОУ на зовнішнє збурення.

9.11. Стійкість ОУ СКС.

Стійкість об'єктів управління визначається на основі теорії управління і охоплює наступні класи об'єктів: абсолютно стійкі; стійкі; нестійкі; пасивні.

Абсолютно стійкі ОУ відповідають характеристикам нединамічних об'єктів (рис.9.16)

Об'єкти, перехідні характеристики яких при зростанні часу асимптотично наближаються до рівня зовнішнього збурення, належать до класу стійких (рис.9.17).

Об'єкти, характеристики яких описуються функціями Бесселя з додатними коефіцієнтами або розподілом Релея, належать до класу нестійких.

Пасивні об'єкти характеризуються відсутністю реакції на зовнішній вплив. Такі об'єкти можуть знаходитись в станах відключення, несправності, перед аварійних чи аварійних станах. Окремим випадком об'єктів з такими характеристиками є адаптивні ОУ.

9.12. Адаптивність ОУ СКС.

Об'єкти, які характеризуються властивостями адаптивності мають внутрішню пам'ять для реєстрації передісторії, а також наявність штучного чи природного інтелекту.

На рис.9.18 показані часові перехідні характеристики адаптивних об'єктів.

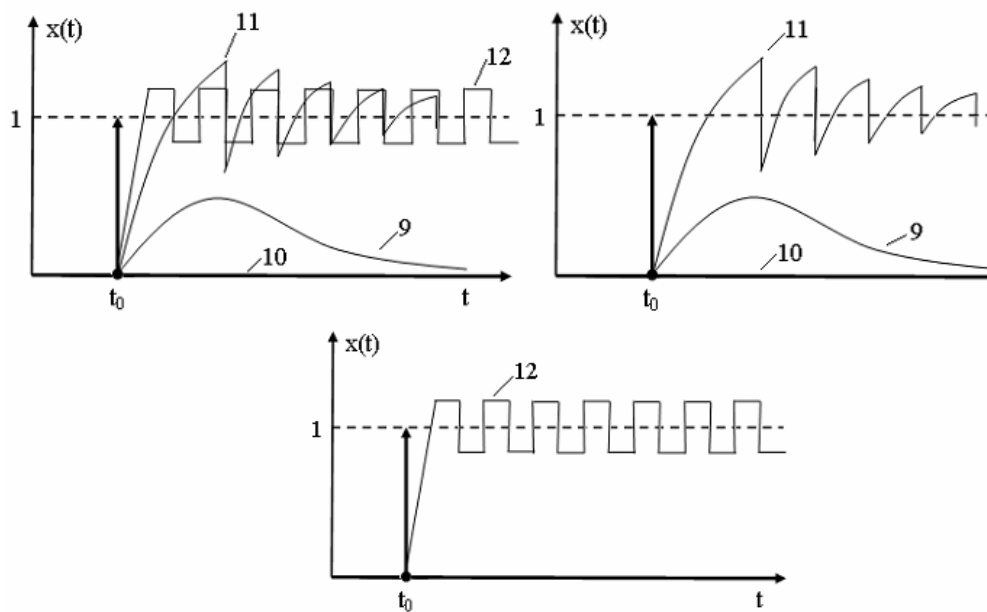


Рис.9.18. Перехідні характеристики адаптивних об'єктів.

Адаптивні об'єкти характеризуються особливими перехідними характеристиками при багаторазовому повторенні знакозмінних зовнішніх впливів (рис.9.19).

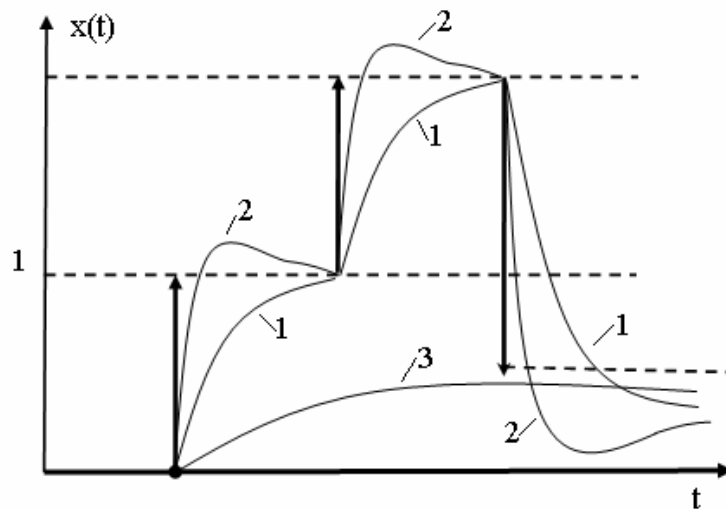


Рис.9.19. Перехідні характеристики адаптивних ОУ при багаторазових зовнішніх збуреннях.

З рис.9.19 видно, що характеристика 1 відповідає нединамічному абсолютно стійкому класу об'єктів, характеристика 2 відповідає динамічному стійкому об'єкту, характеристика 3 може бути однією з реалізацій реакції адаптивного ОУ.

Очевидно, що з часом характеристики ОУ можуть змінюватися, тобто переходити з одного класу в інший і за часовими показниками, і за амплітудою зовнішнього впливу.

9.13. Післядія ОУ СКС.

Дана характеристика визначає реакцію об'єкту після припинення дії зовнішнього впливу (рис.9.20). На рис.9.20 видно, що об'єкти можуть характеризуватися інвертованими характеристиками абсолютно стійких та нестійких об'єктів, динамічністю або пасивністю та різними характеристиками стійкості.

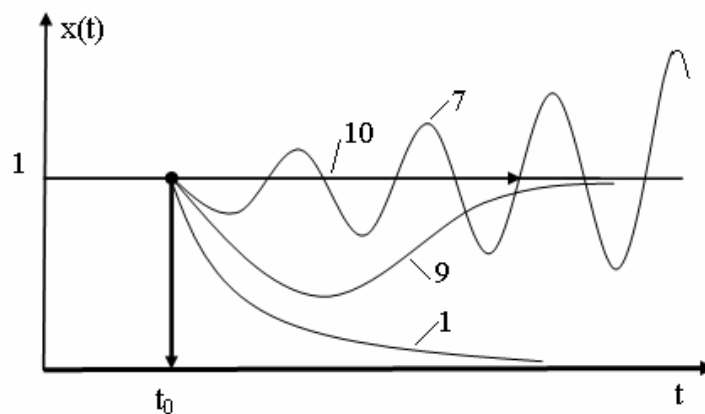


Рис.9.20. Реакція об'єкта після припинення дії зовнішніх впливів.

При цьому саме об'єкти з нестійкими характеристиками можуть найкраще функціонувати в умовах припинення дії зовнішніх впливів за рахунок наявності позитивних зовнішніх зворотніх зв'язків.